



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**DISEÑO DE UN HORNO INDUSTRIAL PARA EL SECADO
DE TAPAS ROSCADAS EN LA EMPRESA
MANN-HUMMEL, VENEZUELA**

Autor: Luis E. Zambrano C.

C.I. 23.487.086

**Urb. Yuma II, Calle N° 3, Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (Master) - Fax: (0241) 871239**



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

**DISEÑO DE UN HORNO INDUSTRIAL PARA EL SECADO
DE TAPAS ROSCADAS EN LA EMPRESA
MANN-HUMMEL, VENEZUELA**

Informe de Pasantías para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO.

Empresa:
MANN-HUMMEL

Autor:
Br. Luis Zambrano
C.I: 23.487.086
Tutor:
Ing. Donato Romanello

San Diego, Febrero 2018

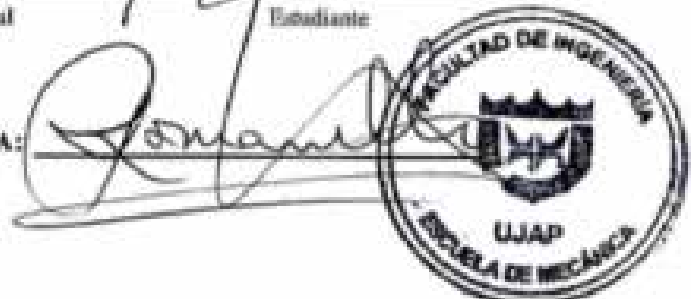


DESCRIPCIÓN DEL PLAN DE TRABAJO DE PASANTÍA

DATOS DEL ESTUDIANTE	Apellidos y nombre: ZAMBRANO COLINA LUIS ENRIQUE		
	Cédula de identidad: 23 487 086	Teléfonos: 0414-5744333	
	Facultad: MECÁNICA		Facultad: INGENIERÍA
	Inicio de la pasantía: 13/02/2017		Final de la pasantía: 15/05/2017
	Tiempo completo: <input checked="" type="checkbox"/>		Medio tiempo: <input type="checkbox"/>
DATOS DE LA EMPRESA	Nombre: MANN - HUMMEL FILTRATION TECHNOLOGY		Teléfono: 0241-3002000
	Dirección: AVENIDA IRIBARRÉN BORGES, VALENCIA, CARABOBO, VENEZUELA.		
	Actividad económica: DISEÑO, FABRICACION Y VENTA DE FILTROS AUTOMOTRICES		
	Departamento donde realizará la pasantía: INGENIERIA		
DATOS DE LOS TUTORES	Tutor Académico: NILO ESPINOZA		Teléfono: 0413-1470406
	Tutor Empresarial: ANTONIO GONZALEZ		Departamento: INGENIERIA
	Cargo: INGENIERO DE PROCESOS	Teléfono: 0414-4019320	

TRABAJO DE PASANTÍA

Título de la pasantía: DISEÑO DE UN HORNO INDUSTRIAL PARA EL SECADO DE TAPAS ROSCADAS EN LA EMPRESA MANN-HUMMEL, VENEZUELA	
Identificación del problema o situaciones problemáticas: El siguiente proyecto tiene como objetivo el diseño de un horno industrial para solucionar el problema presentado en la empresa MANN-HUMMEL, el cual es la falta de un horno en la línea de roscado, haciendo el uso de dos líneas separada y para elementos filtrantes diferentes, haciendo el uso de mayor tiempo de fabricación, personal encargado, tiempos y costos por demora debido al almacenamiento y utilización de dos líneas independientes.	
Formulación del problema: De qué manera se podrá diseñar un horno industrial en la línea de Roscado para el secado de tapas roscadas que satisfaga la necesidad de la empresa MANN-HUMMEL.	
Objetivo general: Diseño de un horno Industrial para el secado de tapas Roscadas en la empresa MANN-HUMMEL, Venezuela	Objetivos específicos: Determinar los parámetros del proceso para la fabricación de Tapas Roscadas. Realizar el diseño térmico y mecánico del Horno Industrial.



Materias o áreas del conocimiento del Pensum que intervienen en la realización del Proyecto (Enumérelas)

TERMODINÁMICA I Y II

TRANSFERENCIA DE CALOR

ELEMENTOS DE MAQUINA I Y II

AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

MECÁNICA DE LOS FLUIDOS I Y II

SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE DISEÑO MECÁNICO

Línea de Investigación:

Informe de Pasantía



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

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Nilo Espinoza, portador de la cédula de identidad N° 9.025.913, hace constar que ha leído el Proyecto del Trabajo de Grado, presentado por la ciudadano Luis Enrique Zambrano colina, portador(a) de la cédula de identidad N° 23.487.086, titulado **“Diseño de un horno industrial para el secado de tapas roscadas en la empresa MANN-HUMMEL, Venezuela.”**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico, y acepta la tutoría del mencionado Proyecto durante su etapa de desarrollo hasta su elaboración y evaluación; según las condiciones de la Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad José Antonio Páez y sus correspondientes Reglamentos.

En San Diego, a los quince días del mes de junio del año dos mil diecisiete.

Ing. Nilo Espinoza

C.I. 9.025.913

DEDICATORIA

*Ante todo a Dios todo poderoso y a mis hermanos
que hacen fe en la Santa Iglesia Católica*

A mis Padres y hermanos por todo el apoyo brindado

A mis amigos por siempre estar ahí como una familia unida.

*A toda el resto de mi familia por ser parte de mi vida y
brindarme su amor incondicional.*

AGRADECIMIENTO

En primer lugar le doy las gracias a dios por permitirme realizar todas las metas y también por ayudarme a superar todas las etapas que hasta los momentos he logrado. Le doy las gracias por la sabiduría y el conocimiento que he aprendido a lo largo de mis estudios y de la vida, y esperamos seguir aprendiendo cada día.

También les doy las gracias a mi Padre y Madre que son un ejemplo a seguir. Les doy gracias por confiar siempre en mí y apoyarme en todas las decisiones y metas. A mis hermanos por el apoyo mutuo que nos tenemos y todos esos días en los que me apoyaron en mi crecimiento personal.

Les doy las gracias a todos mis amigos por estar siempre conmigo en las buenas y en las malas, por ser siempre un grupo tan unido desde el principio hasta el final de nuestros estudios. Por ser todos comprensivos y buenos compañeros

Les agradezco a mis tutores Donato Romanello, Nilo Espinoza, Antonio González y Alicia de Pizzella por ser parte de este trabajo y por apoyarme en cada etapa de la realización del mismo. Y por toda esa ayuda brindada en el desarrollo del trabajo de investigación.

Por último le agradezco al personal y directiva de la Universidad “José Antonio Páez” como también a la colaboración por parte de la empresa MANN-HUMMEL que gracias a sus disposiciones se pudo realizar este proyecto de investigación.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	IV
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO	
I LA EMPRESA	
1.1 Misión.....	2
1.2 Visión.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.4 Pasantía.....	3
II EL PROBLEMA	
2.1 Planteamiento del problemática.....	4
2.2 Objetivos	
2.2.1 Objetivo general.....	5
2.2.2 Objetivos específicos.....	5
2.4 Justificación.....	6
2.5 Limitaciones.....	6
2.6 Alcance.....	6
2.6 Delimitación de espacio.....	7
III FUNDAMENTOS TEÓRICOS	
3.1 Antecedentes de la investigación.....	9
3.2 Bases teóricas	
3.2.1 Hornos Industriales.	10
3.2.2 Materiales de Aislamiento Térmico.	12
3.2.3 Fundamentos de la Termodinámica.	13
3.2.4 Transferencia de Calor.	15
3.2.5 Leyes de la Termodinámica.	17
3.2.6 Mecanismos de la Transferencia de Calor.	18
3.2.7 Conducción en régimen Transitorio.	21
3.2.8 Números Adimensionales.....	24
3.2.9 Análisis de la Convección.....	26
3.2.10 Resistencia térmica de Paredes compuestas.	29
3.2.11 Humedad.....	30
3.2.12 Ventiladores.....	32
3.2.13 Esfuerzos.....	34
3.3 Definición de términos.....	35

IV FASES METODOLÓGICAS	
4.1 Fases.....	39
V RECURSOS	
5.1 Recursos físicos.....	45
5.2 Recursos humanos.....	45
5.3 Institucionales.....	46
5.4 Materiales.....	46
5.5 Presupuesto.....	46
Cronograma de Actividades	47
Referencias bibliográficas	48

ÍNDICE IMAGENES

Isometría del Diseño del Horno de Secado realizado en Inventor	71
Isometría del Diseño del Horno de Secado realizado en Inventor.	71
Isometría con Corte Longitudinal al Diseño del Horno de Secado realizado en Inventor	72
Vista Lateral del Diseño del Horno de Secado realizado en Inventor.	72
Isometría con Corte Longitudinal del Diseño del Horno de Secado realizado en Inventor y Exportado a Ansys.	73
Se muestra el mallado cubico y las configuraciones de mallado (Elementos y nodos) para este diseño.	
Simulación Estructura Estática en Ansys. Resultados de la Deformación. Isometría del Diseño del Horno de Secado	74
Simulación Estructura Estática en Ansys. Resultados de la tensión elástica. Isometría del Diseño del Horno de Secado	74
Simulación Estructura Estática en Ansys. Resultados del esfuerzo (VonMises). Factor de Seguridad 4.8. Isometría del Diseño del Horno de Secado	75
Simulación Estructura Estática en Ansys. Resultados del esfuerzo (VonMises). Factor de Seguridad 4.8. Isometría con corte longitudinal del Diseño del Horno de Secado	75

ÍNDICE TABLAS

Parámetros de Proceso de las Tapas Roscadas.....	52
Sistema Actual de Fabricación de las Tapas Roscadas.....	53
Propiedades Térmicas del Aire a 410°C. Resultados obtenidos del Análisis Térmico.....	55
Propiedades del Aire a 330.5 K.....	56
Tabla 5.4: Resultados obtenidos del Análisis Térmico.....	57
Flujos Másicos.....	57
Propiedad del Acero.....	58
Propiedades del Agua.....	58
Potencia absorbida por elemento.....	58
Tabla de Propiedades del Aire a $T = 308\text{ K}$	60
Resultados de Nusselt y h convectivo externo a Temperatura ambiente.....	61
Tabla de Combustión del Metano.....	63
Entalpia del Aire a $T = \text{K}$	64
Resultados del diseño de Conductos.....	66
Resultados del diseño de Conductos	66
Resultados del diseño de Conductos Chimeneas.....	67
Valores Seleccionados.....	69
Valores Seleccionados Para Factores de Trabajo.....	69
Selección de Elementos.....	70
Selección de Equipos para la Automatización.	77



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

**DISEÑO DE UN HORNO INDUSTRIAL DE GAS NATURAL EN LA LÍNEA
DE ROSCADO PARA EL SECADO DE TAPAS ROSCADAS EN LA
EMPRESA MANN-HUMMEL**

Autor: Luis E. Zambrano C.

Tutor: Ing. Donato Romanello.

Fecha: Febrero 2018

RESUMEN INFORMATIVO

El presente informe de pasantía exhibido por el autor, está destinado a solventar un problema a beneficio de la empresa MANN-HUMMEL, productora de filtros de aire, aceite y de combustible, el cual tiene como objetivo general el diseño de una horno para la línea de roscado, con la intención de innovar y automatizar parte del proceso de fabricación de los elementos metálicos denominados Tapas Roscadas, eliminando la falta de líneas de procesos separadas, condiciones y limitaciones actuales del proceso de fabricación de las tapas roscadas. En el texto se muestra una investigación explicativa del proceso a diseñar, como una modalidad de proyecto factible y nivel descriptivo, representando el proceso de la situación actual, las variables del proceso a considerar, consideraciones del diseño a implementar. Para cumplir con los objetivos propuestos de una manera ordenada el proyecto se estructura en cinco (4) fases específicas las cuales son: identificación de los parámetros que intervienen en el proceso de secado de las tapas roscadas, determinación de la capacidad de la estación de secado a diseñar, dimensionamiento y/o selección de los elementos que conformaran la propuesta de la estación de secado; de acuerdo con los parámetros se obtuvo una producción de tapas de 30tapas/min, con una temperatura final de 110°C, lo cual dio como resultado un quemador de 1MW, además de 3 ventiladores centrífugos con capacidad de 8.5m³/s y 4.25m/s con temperatura de trabajo de 200°C, para un horno con aislamiento de 4pulg de fibra de vidrio y una automatización de nivel Semiautomático. Lo cual satisfizo la necesidad de la empresa.

Descriptores: Diseño, horno, industrial, gas, secado.

INTRODUCCIÓN

En busca de la mejora continua las empresas para elevar su eficiencia, reducir tiempos de operación, disminuir costos y aumentar la calidad de sus productos surge el propósito de este proyecto final de pasantías, el cual se enfoca en el **“Diseño de un horno industrial para el secado de tapas roscadas en la empresa MANN-HUMMEL, Venezuela.”** con el fin de demostrar como la ingeniería mecánica da una solución factible a problemas presentados en una empresa, la cual a través de conocimientos adquiridos durante el proceso de desarrollo, se pueden dar soluciones a problemas basados en el diseño mecánico, estructural, termodinámico y de transferencia de calor, demostrando la solución más adecuada para el problema presentado.

A continuación se presenta la estructura del informe final de pasantía, la cual está conformada por los siguientes capítulos:

Capítulo I: Reseña de la empresa donde se elaboró la pasantía, mostrando su misión, valores, objetivos y la labor que se realizó en la pasantía.

Capítulo II, donde se expone el análisis del problema que se plantea, su justificación, objetivos a alcanzar por medio de la investigación, limitaciones y el alcance que este conlleva.

Capítulo III, se muestra el marco teórico el cual presenta los antecedentes de investigaciones previas de algunos autores que llevan una relación con relación al presente trabajo, las bases teóricas que fundamentan la definición de términos clave a usar en este trabajo.

Capítulo IV, marco metodológico, en él se presentan las bases metodológicas utilizadas para la realización de la investigación, tales como el tipo de diseño. Asimismo, las fases que se realizaron para alcanzar los objetivos establecidos.

Capítulo V, presenta los resultados, conclusiones y recomendaciones los cuales fueron obtenidos para el presente trabajo.

CAPÍTULO I

LA EMPRESA

El **+Hummel Grupo Mann** es una empresa de fabricación alemana con sede en Ludwigsburg dentro del área metropolitana de Stuttgart. La empresa desarrolla, produce y distribuye sistemas líquidos y filtro de aire, sistemas de admisión y filtros de cabina. Productos adicionales incluyen componentes del tren motriz y de plástico del motor, tales como colectores, conductos y tapas de culata con las funciones integradas para la industria del automóvil, y elementos filtrantes del mercado de accesorios para el mantenimiento y reparación de vehículos de motor con varias marcas (MANN-FILTER, Filtros WIX, Filtron, Purolator). Posee sede en, Avenida Ernesto Branger con Avenida Iribarren Borges. Zona Industrial Sur II. Valencia – Estado Carabobo. **Venezuela.**

En 1939, Filtros WIX fue fundada por John Doan “Jack” Wicks y Paul G. Crawshaw y se basó en la idea de que fabricar repuestos para filtros debería simplificar el proceso del cambio de los mismos. En esa época, WIX estaba enfocada en fabricar los primeros repuestos cubiertos por medias para los filtros de aceite populares que eran económicos y altamente eficientes en la industria de las **granjas.**

WIX posee 3 fábricas en USA, una en Polonia, una en Brasil, una en Ucrania y una en México. Para 1982 WIX inicia la fabricación de sus productos en **Venezuela.**

Tras su reciente incorporación a la familia de MANN+HUMMEL en 2016, la unidad de negocio Wix-Filtron aporta un reconocido liderazgo en productos de repuesto de filtración con marcas líderes en el sector como WIX Filters y FILTRON. Nuestra línea de productos abarca: filtros para aceite, aire, interiores de habitáculos, combustible, refrigerante, cajas de cambios, así como filtros **hidráulicos.** Además

Suministran un amplio abanico de sectores, como los de automoción, agrícola, vehículos para carretera y campo, marítimo, industrial y aplicaciones de fabricación.

1.1 Misión

Persiguen un objetivo claramente definido: mantener y ampliar su posición como líder del mercado de la filtración durante los próximos años basándonos en productos de calidad superior, servicio de primera clase y tecnología innovadora.

Para ello, se basan en los valores corporativos, que nos proporcionan las directrices y los principios básicos para relacionarnos con sus clientes, empleados, con la sociedad o con el medio ambiente. Estos valores son: En **Fo**que, **I**ntegridad, **L**iderazgo, **T**rabajo en equipo, **E**xcelencia, **R**espeto.

1.2 Visión

El mayor empeño es el de ofrecer a sus clientes filtros de calidad Premium diseñados para superar sus requisitos en cuanto a prestaciones. Sus equipo cuentan con la mayor dedicación para ofrecer al mercado de piezas de repuesto un servicio de atención al cliente excepcional, una amplia cobertura, unos plazos ágiles y un alto grado del servicio. Su estructura también incorpora una extensa red de distribución, un rápido lanzamiento de productos nuevos y un compromiso con la formación a nivel de tienda. Como resultado, somos la marca privada de muchos de los líderes clave del sector a los que se sirve.

1.3 Objetivos

WIX® Filters ha sido un innovador en productos de filtración. WIX diseña, fabrica y distribuye productos para la industria automotriz, diesel, los mercados industriales y especialidades agrícolas.

1.4 Pasantías

Se realizó en el departamento de ingeniería en el área de Procesos, en la cual se realizó proyectos de mejoras continuas de procesos actuales y nuevos, para optimizar y simplificar operaciones de fabricación de productos.

CAPÍTULO II

EL PROBLEMA

2.1 Planteamiento del Problema

La empresa MANN-HUMMEL, desarrolla, produce, fabrica y distribuye filtros automotrices e industriales. En el proceso de fabricación de filtros se requiere diferentes elementos (Bazo Metálico, válvula, Tapas metálicas, papel filtrante, resortes, adhesivos, espiro tubo, Polímeros, entre otros componentes.) para fabricar filtros de aceite, combustible y aire. Los cuales requieren procesos de fabricación muy rigurosos debido a su importancia en los procesos que se utilizan, debido a ello, Filtros Wix garantiza el 100% de la calidad de sus filtros, haciéndose responsable en caso de alguna falla debida al proceso de fabricación del filtro.

En el proceso de fabricación de Filtros, se requiere un elemento metálico cilíndrico-convexo llamado Tapa Roscada, la cual se encuentra en la parte superior del filtro, la función de este elemento es permitir el flujo de aceite desde el exterior (Carter) del elemento a su interior, para luego salir del filtro (el cual ha sido filtrado por sus elementos internos) e ir al sistema que conforma. Al ser un elemento fundamental del filtro requiere tanto de sus propiedades mecánicas correctas como de sus características estéticas al estar en la parte exterior del filtro. Por esta razón el proceso de fabricación de este elemento no solo parte del troquelado, sino posterior a este se le hacen una serie de procesos para adecuar la tapa para llegar a su estado final, el cual consta del roscado, luego de un baño en líquido anticorrosivo para posterior ser secado en un horno.

Actualmente la línea de roscado no cuenta de un horno para el secado de las tapas, por cuyo caso las tapas tienen que ser almacenadas de acuerdo a su clasificación, en contenedores de aproximadamente 1m^3 para luego llevarlas a un horno de secado y luego a la línea de ensamblaje, esto lleva consigo retardos en la

producción, aumento de personal en la línea y de empleo de montacargas; alargando el tiempo en el proceso de producción.

Considerando la situación problemática presente en la empresa MANN-HUMMEL, se plantea la siguiente interrogante

2.2 Formulación del problema

“De qué manera se podrá diseñar un horno industrial en la línea de Roscado para el secado de tapas roscadas que satisfaga la necesidad de la empresa MANN-HUMMEL.”

2.3 Objetivos de la Investigación

2.3.1 Objetivo General

Diseñar un horno industrial para el secado de tapas roscadas en la empresa MANN-HUMMEL, Venezuela.

2.3.2 Objetivo Especifico

- Determinar los parámetros del proceso para la fabricación de Tapas Roscadas.
- Proponer posibles soluciones al problema planteado.
- Realizar el diseño térmico y mecánico del Horno.
- Seleccionar y/o diseñar los componentes según la propuesta de solución.

2.4 Justificación de la Investigación

Esforzarse por la excelencia es un valor corporativo esencial en MANN+HUMMEL, siendo el líder en tecnología para filtración. La calidad de sus productos es un factor crucial de su éxito. Su sistema de gestión garantiza que se cumpla e incluso se sobrepase la calidad exigida por sus clientes.

Como socios de desarrollo y suministrador de sistemas para las industrias de la automoción y la ingeniería mecánica internacionales, estar cerca de los clientes es un factor esencial para el éxito. MANN+HUMMEL va, por tanto, de la mano con las ideas y las soluciones que los clientes necesitan, sin importar donde estén con más de

70 plantas en los cinco continentes. Esto llevado de la mano del mejoramiento continuo de los sistemas actuales.

La elaboración de este informe final de pasantía permite en primer lugar brindar una solución a la problemática presente en la empresa, en cuanto a la disminución del tiempo de producción de las tapas roscadas, así como la reducción del personal y recursos necesario para la producción de las mismas, debido al uso de dos líneas de producción separadas y de elementos de producción diferentes, además de la necesidad de la logística, almacenamiento y control de proceso de las líneas individuales para la producción de las tapas roscadas; lo cual permitirá tener una sola línea de producción automatizada y la utilización de los recursos necesarios de forma local en la misma línea para la producción de forma rápida y eficiente.

Este estudio contribuirá a aportar información en el área de diseño de sistemas de secado de tapas metálicas, para el proceso continuo de una planta de fabricación de filtros automotrices e industriales; completar conocimientos generales de diseño, sistemas de combustión, procesos térmicos, entre otros, por medio de la obtención de la experiencia obtenida en el desarrollo del proyecto de esta investigación.

2.5 Limitaciones

Para la elaboración del diseño del sistema de secado para las tapas roscadas considera las siguientes limitaciones:

El espacio físico para la realización del diseño del sistema de secado deberá ser en donde se encuentra la línea de roscado actual, el cual es de 14x 4 x 3,5m disponible.

Poca información e indisponibilidad de instrumentos de medición de variables requeridas para el diseño, además de requerimientos de producción de las tapas roscadas y exigencias provistas por la empresa.

Los recursos económicos que deba suministrar la empresa para la obtención de la información necesaria para el desarrollo del proyecto.

2.6 Alcance

El presente Informe de Pasantías tiene por finalidad diseñar y/o seleccionar los elementos necesarios que cumplan con las exigencias requeridas para el horno de secado de las tapas roscadas; así como también contempla la elaboración de los planos necesarios para la futura implementación de la mencionada estación de secado y funcionamiento de la misma, en conjunto de la incorporación y unión con los procesos actuales de las línea de roscado. La construcción de la estación de secado, de algún prototipo de ella o de una de sus partes, no forma parte de este Trabajo Especial de Grado.

2.7 Delimitación de espacio (geográfico)

La investigación se desarrollara en las instalaciones de la empresa de fabricación de filtros automotrices e industriales MANN-HUMMEL. (FILTROS WIX), ubicada en Avenida Ernesto Branger con Avenida Iribarren Borges. Zona Industrial Sur II. Valencia – Estado Carabobo. Venezuela.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes de la investigación.

Rebolledo E (2016), realizó un trabajo de investigación en la Universidad de Carabobo titulado: “**Diseño de una estación para el secado de los bobinados en transformadores de distribución**”. En él se tomaron en consideración aspectos importantes como. Identificación de las variables que intervienen en el proceso de secado, tomando en cuenta las exigencias y requerimientos por parte de la empresa. Los factores principales que afectaron la selección del método de secado, la fuente de energía, la temperatura que interviene y el modo en que se da el intercambio de calor con el conjunto Núcleo-Bobina. El sistema diseñado permitió incrementar el rendimiento de secado de los bobinados, el cual pudo pasar de 4 a 8 bobinas por turno, lo que podrá generar una mayor fluidez en el proceso productivo; y por último la instalación de la nueva estación de secado, podrá generar un importante ahorro energético, ya que el alto consumo de electricidad será disminuido al ser suplantado en método de suministro de calor, mediante vapor de agua, proveniente de una caldera.

Esta Tesis dejó conocimientos en la aplicación en el área de la humedad, el cual además de utilizar el análisis de humedad para la extracción de la humedad del núcleo bobina, permitió conocer cómo realizar el estudio para recirculación de aire.

Así mismo, Pinto J. (2009), realizó un trabajo de investigación en la Universidad de Carabobo titulado: “**Rediseño de un horno para el curado de carrocería en una empresa ensambladora de vehículos**”. En él, tenía como objetivo rediseñar un horno de curado para un recubrimiento aplicado por electrodeposición a carrocerías en una empresa automotriz, con el fin de aumentar su potencia térmica, evitar los altos costos por mantenimiento a la empresa y de garantizarle al cliente una protección anticorrosiva de la carrocería por diez años.

Para lograr los objetivos propuestos, fue necesario realizar un análisis donde se involucran los diferentes fenómenos de transferencia de calor que ocurren dentro del horno, con el fin de realizar un modelo matemático que prediga el comportamiento de la temperatura en la carrocería dentro del horno cuando se aumenta la potencia entregada por los hogares de calor, y dado que tres de ellos no cuentan con los equipos para este aumento de potencia térmica, se realizó un nuevo diseño de los hogares de calor que fueron sustituido por los que están presentaban problemas.

Este trabajo de investigación dejó conocimientos en el análisis de sistemas de calentamiento de hornos industriales, además de la evaluación de los sistemas actuales y los sistemas aplicados para protección anticorrosiva por electro deposición.

Por último, López A. (2000), realizó un trabajo de investigación en la Universidad de Carabobo titulado: **“rediseñar el sistema de precalentamiento de pailas de aluminio primario para una empresa laminadora de aluminio”**, en el cual se elaboró un trabajo especial de grado que permitió en primer lugar brindar una solución al problemática presente en la empresa, en cuanto a la disminución o eliminación del riesgo de posibles accidentes laborales como la explosión que pudiese ocasionar la presencia de humedad en las pailas de aluminio al ser introducidas a los hornos de fusión, así como la reducción de la exposición al excesivo calor al cual está sometido el operario de dicha área, presentando así unas favorables condiciones ambientales y la utilización eficiente de los recursos energéticos como el gas natural lo que generará un ahorro energético disminuyendo así los gastos operativos y el impacto ambiental.

El trabajo dejó conocimientos sobre los sistemas de precalentado, además de los análisis térmicos y mecánicos que fueron realizados para la construcción de horno, los cuales permitieron anticipar situaciones en el momento de su desarrollo y construcción.

3.2. Bases teóricas.

En esta etapa se mencionan los conceptos más importantes que fundamentan teóricamente este trabajo de investigación.

3.2.1 Hornos Industriales.

Los hornos industriales son aquellos equipos o instalaciones que operan, en todo o en parte del proceso, a temperatura superior a la ambiente, realizándose el calentamiento de forma directa sobre las piezas (inducción, pérdidas dieléctricas, resistencia propia) o de forma indirecta por transmisión de calor de otros elementos (resistencias eléctricas, tubos radiantes eléctricos o de combustión, hornos de llamas, entre otros.). Esta transmisión de calor puede realizarse por llamas, convección (hornos con fuerte recirculación de los humos, del aire o de la atmósfera protectora sobre las piezas) y radiación (de resistencias, de tubos radiantes, de llamas o de las paredes refractarias interiores).

Ø Clasificación de hornos.

Las operaciones industriales abarcan una amplia gama de temperaturas, las cuales dependen del material a calentar y también (para un material dado) del objeto del proceso de calentamiento y de las operaciones a realizar. Así, atendiendo al tipo de efecto que el horno produce en el producto, se pueden tener:

Hornos para producir efectos físicos en el producto, que a su vez pueden dividirse en:

- Hornos de calentamiento.
- Hornos de fusión.

Hornos para producir efectos químicos en el producto (reducción sin fusión, fusiones reductoras, sinterización, calcinación, volatización reductora, entre otros).

La energía calórica requerida para el calentamiento de los hornos puede proceder de:

- a) **Gases calientes (llama):** producidos en la combustión de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos que calientan las piezas por contacto directo entre

ambos o indirectamente a través de paredes o tubos radiantes o intercambiadores en general.

b) **Energía eléctrica** en diversas formas:

- Arco voltaico de corriente alterna o continua.
- Inducción electromagnética.
- Alta frecuencia en forma de dielectricidad o microondas.
- Resistencia óhmica directa de las piezas.
- Resistencias eléctricas dispuestas en el horno que se calientan por efecto Joule y ceden calor a la carga por las diversas formas de transmisión de calor.

La forma de calentamiento da lugar a la clasificación de los hornos en dos grandes grupos, con diversos tipos:

Hornos de llama:

- a) **Hornos verticales o de cuba.** Es un horno a combustión y continuó, que funciona en contracorriente entre la carga de sólidos que desciende y el gas reductor que asciende. Es el horno destinado dentro de la siderurgia a realizar la primera transformación de los minerales de hierro hacia su forma de productos semielaborados de acero.
- b) **Hornos rotatorios.** El horno rotativo, es un horno continuo, a calentamiento externo y llama libre, cuyo uso principal es en la fabricación del cemento, también se utiliza en la fabricación de cal, aluminio, hierro esponja, entre otros
- c) **Hornos de túnel.** En el horno túnel los productos a cocer van avanzando progresivamente hacia la zona de cocción y para ello, precisa que el horno tenga la forma de un túnel de bastante longitud, en el que se efectúa la calefacción por gas o aire caliente. Por excelencia éste es un horno a contracorriente, las piezas pasan en una dirección mientras que los gases circulan en dirección contraria.

Hornos eléctricos.

- a) **Hornos de resistencia.** Se definen como hornos de resistencia aquellos que utilizan el calor disipado por efecto Joule en una resistencia ohmica, que puede estar constituida por la carga misma a ser calentada (hornos de calentamiento directo) o por resistencias adecuadas independientes de la carga (hornos de calentamiento indirecto), por las cuales circula corriente eléctrica.
- b) **Hornos de arco.** Para la fabricación de aceros, el horno de arco es el tipo más utilizado, El horno de arco eléctrico consiste en un recipiente refractario alargado, refrigerado por agua para tamaños grandes, cubierto con una bóveda también refractaria y que a través de la cual uno o más electrodos de grafito están alojados dentro del horno..
- c) **Hornos de inducción.** El calentamiento por inducción utiliza las propiedades del campo magnético para la transferencia de energía eléctrica en energía calorífica, sin recurrir al contacto directo. La bobina de los hornos de inducción es de cobre. Se consigue un mayor rendimiento en la calentamiento del material, producto del campo eléctrico, cuanto más delgada sea la pared refractaria.

3.2.2 Materiales de aislamiento térmico

El campo de los aislantes térmicos en hornos industriales es amplio. Aparentemente, su único objeto es aislar el interior de los hornos, pero a su vez éste cumple un doble propósitos; reducir las pérdidas de calor y conseguir que las condiciones ambientales en el exterior sean suficientemente aceptables, pero realmente, la condición en el interior puede ser tal que cada capa interna del aislante térmico deba ser capaz de soportar el ambiente del horno (humos, aire en circulación gases, entre otros). El aislamiento térmico, además de sus características de aislamiento debe tener resistencia a los ataques químicos y a la abrasión, entre otras.

Ø Clasificación de los materiales de aislamiento térmico en función de la temperatura máxima de utilización de los materiales de aislamiento.

Productos refractarios densos:

- Arcillas refractarias.
- Silicatos (de aluminio y otros).
- Óxidos tales como sílice, magnesia, cromita, entre otros.

Productos aislantes no refractarios (hasta 1000 °C):

- Sílice fósil o diatomita y los materiales derivados.
- Carbonato de magnesio y sus derivados.
- Fibras minerales (lana de vidrio, de escoria, de rocas).
- Silicato de calcio.

La máxima temperatura que puede soportar la cara interior del revestimiento aislante de la cámara de calefacción, determina la naturaleza del material a emplear como aislante.

Ø **Propiedades de los materiales de aislamiento térmico.**

Una de las propiedades más importantes de los aislantes, naturalmente, es la baja conductividad térmica y la capacidad de retención de calor.

· **Lanas minerales (fibra de vidrio).**

A partir del vidrio fundido, las rocas naturales fundidas y escorias metalúrgicas (con aditivos necesarios para rectificar su composición) se fabrican las fibras o lanas correspondientes. Las fibras así obtenidas, pueden tener, además de un alto contenido de sílice, una buena resistencia a la corrosión química y soportar temperaturas relativamente elevadas (700 °C).

Las lanas minerales, cuyas cualidades han mejorado enormemente en los últimos años, constituyen hoy uno de los mejores productos de aislamiento: elástico, químicamente neutro. Además de sus propiedades térmicas, tienen las ventajas de su incombustibilidad y su capacidad de aislamiento sónico.

3.2.3 Fundamentos de la Termodinámica

La termodinámica se puede definir como la ciencia de la energía. Aunque todo el mundo tiene idea de lo que es la energía, es difícil definirla de forma precisa. La energía se puede considerar como la capacidad para causar cambios.

El término termodinámica proviene de las palabras griegas *therme* (calor) y *dynamis* (fuerza), lo cual corresponde a lo más descriptivo de los primeros esfuerzos por convertir el calor en energía. En la actualidad, el concepto se interpreta de manera amplia para incluir los aspectos de energía y sus transformaciones, incluida la generación de potencia, la refrigeración y las relaciones entre las propiedades de la materia.

Una de las más importantes y fundamentales leyes de la naturaleza es el principio de conservación de la energía. Éste expresa que durante una interacción, la energía puede cambiar de una forma a otra pero su cantidad total permanece constante. Es decir, la energía no se crea ni se destruye.

El cambio en el contenido energético de un cuerpo o de cualquier otro sistema es igual a la diferencia entre la entrada y la salida de energía, y el balance de ésta se expresa mediante la ecuación (1):

$$E_{entrada}$$

Ø **Sistemas Cerrados y Abiertos**

Un sistema se define como una cantidad de materia o una región en el espacio elegida para análisis. La masa o región fuera del sistema se conoce como alrededores. La superficie real o imaginaria que separa al sistema de sus alrededores se llama frontera. La frontera de un sistema puede ser fija o móvil. Note que la frontera es la superficie de contacto que comparten sistema y alrededores. En términos matemáticos, la frontera tiene espesor cero y, por lo tanto, no puede contener ninguna masa ni ocupar un volumen en el espacio.

Los sistemas se pueden considerar *cerrados o abiertos*, dependiendo de si se elige para estudio una masa fija o un volumen fijo en el espacio. Un *sistema cerrado* (conocido también como una masa de control) consta de una cantidad fija de masa y ninguna otra puede cruzar su frontera. Es decir, ninguna masa puede entrar o salir de un sistema cerrado. Pero la energía, en forma de calor o trabajo puede cruzar la frontera; y el volumen de un sistema cerrado no tiene que ser fijo. Si, como caso especial, incluso se impide que la energía cruce la frontera, entonces se trata de un *sistema aislado*.

Un *sistema abierto, o un volumen de control*, como suele llamarse, es una región elegida apropiadamente en el espacio. Generalmente encierra un dispositivo que tiene que ver con flujo másico, como un compresor, turbina o tobera. El flujo por estos dispositivos se estudia mejor si se selecciona la región dentro del dispositivo como el volumen de control. Tanto la masa como la energía pueden cruzar la frontera de un volumen de control.

3.2.4. Fundamentos de la transferencia de calor

Ø **Calor (Q).**

El calor está definido como la forma de energía que se puede transferir entre dos sistemas o entre un sistema y sus alrededores debido a una diferencia de temperatura, es decir, una interacción de energía es calor sólo si ocurre debido a una diferencia de temperatura.

· **Razón de transferencia de calor.**

Representa la cantidad de energía en forma de calor transferida por unidad de tiempo. Tal como lo expresa la ecuación (2).

$$Q = \frac{t_2}{t_1} \quad (2)$$

Dónde:

- Q : Razón de transferencia de calor (W).
- Q : Transferencia total de calor (J).
- dt : Diferencial de tiempo (s).

Cuando Q permanece constante durante un proceso, la ecuación (1) se simplifica como muestra la ecuación (3).

$$Q = Q \cdot t \quad (3)$$

Dónde:

- t : Cambio de tiempo (s).

Ø **Flujo de calor.**

Se define como la razón de transferencia de calor por unidad de área perpendicular a la dirección de esa transferencia. La ecuación (4) expresa el flujo de calor.

$$= \frac{Q}{A} \quad (4)$$

Dónde:

- qa : Razón de flujo de calor (W/m^2).
- A : Área de sección transversal de transferencia de calor (m^2).

Ø **Calor específico.**

Se define como la energía requerida para elevar en un grado la temperatura de una unidad de masa de una sustancia. En general, esta energía depende de la manera en que se ejecuta el proceso, por lo tanto existe la posibilidad de definir más de un calor específico.

Los calores específicos de uso común para fluidos homogéneos son:

- **Calor específico a volumen constante.**

Se puede considerar como la energía requerida para elevar en un grado la temperatura de una unidad de masa de una sustancia cuando el volumen se mantiene constante. Considerando una masa fija en un sistema cerrado estacionario experimentando un proceso a volumen constante.

- **Calor específico a presión constante.**

Se puede considerar como la energía requerida para elevar en un grado la temperatura de una unidad de masa de una sustancia cuando la presión se mantiene constante. Este término siempre es mayor debido a que a presión constante se permite que el sistema se expanda y la energía para este trabajo de expansión también debe ser suministrada al sistema.

§ **Calor sensible**

Se define como la parte de la energía interna de un sistema que está asociada con la energía cinética de las moléculas. La transferencia de calor a un sistema en el que no existen transiciones de fase, reacciones químicas y ningún cambio en la composición, hace que la temperatura del sistema cambie.

§ **Calor latente**

Es la energía interna asociada con el cambio de fase de un sólido o un líquido a ser gas. Estos efectos caloríficos se conocen como calor latente de vaporización o calor latente de fusión, la característica principal de estos procesos es la coexistencia de dos fases.

3.2.5 Leyes de la Termodinámica.

- **Balance de energía.**

Corresponde a las formas de energías que se pueden transferir como resultado de una diferencia de temperatura. La ecuación (3.5) expresa la forma general de un balance de energía.

$$Q_{entrada} - Q_{salida} + E_{gen} = E_{termica/sistema} \quad (5)$$

Dónde:

- Q_{ent} : Transferencia de calor total de entrada (kJ).
- Q_{sal} : Transferencia de calor total de salida (kJ).
- E_{gen} : Energía generada (kJ).
- $E_{termica/sistema}$: Cambio de la energía térmica del sistema (kJ).

· **Balance de energía para sistemas de flujo estacionario.**

La cantidad de energía que entra a un volumen de control en todas las formas (calor, trabajo, transferencia de masa) para un proceso de flujo estacionario debe ser igual a la cantidad de energía que sale de él. Las expresiones (6) y (7) representan el flujo másico y flujo volumétrico respectivamente.

El gasto másico, flujo másico o caudal másico es la magnitud física que expresa la variación de la masa con respecto al tiempo en un área específica. Se expresa mediante la siguiente expresión (6):

$$m = \rho V_{flujo} Ac \quad (6)$$

Dónde:

- m : Flujo másico (kg/s).
- ρ : Densidad del fluido (kg/m^3).
- V_{flujo} : Velocidad promedio de flujo (m/s).
- Ac : Sección transversal de flujo (m^2)

El caudal volumétrico o tasa de flujo de fluidos es el volumen de fluido que pasa por una superficie dada en un tiempo determinado. Se expresa mediante la siguiente expresión (7):

$$V = VAc = \frac{m}{\rho} \quad (7)$$

Dónde:

- V : Flujo volumétrico (m^3/s).

El flujo másico que fluye en un conducto permanece constante durante el flujo estacionario. Sin embargo, éste no es el caso para el flujo volumétrico, a menos que la densidad del flujo permanezca constante.

Cuando los cambios en la energía cinética y potencial son despreciables, y no se tiene interacción de trabajo, el balance de energía para tal sistema de flujo estacionario sería como representa la ecuación (8).

$$Q = m \Delta h = m C_p \Delta T \quad (8)$$

Dónde:

- Δh : Cambio de entalpía específica (kJ/kg).
- ΔT : Cambio de temperatura (K).

3.2.6 Mecanismos de transferencia de calor.

El calor se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación. Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que poseen la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja.

Ø **Transferencia de calor por convección.**

Es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y un fluido adyacente que está en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos, la convección se puede clasificar en dos tipos en función de cómo se lleve a cabo el movimiento del fluido adyacente al sólido.

· **Convección forzada.**

Se considera convección forzada cuando el fluido es obligado a fluir sobre la superficie mediante la interacción de medios externos como un ventilador, una bomba o el viento, este movimiento del fluido no es propio de la variación de densidad presente en el cambio de temperatura del fluido.

· **Convección natural.**

Si el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje que son inducidas por las diferencias de densidad debidas a la variación de la temperatura en ese fluido es considerado convección natural, los coeficientes de transferencia de calor de la convección natural son menores a los coeficientes obtenidos en un proceso de convección forzada. A pesar de la complejidad de la convección, se observa que la

rapidez de la transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa en forma conveniente por la ley de Newton de enfriamiento, ecuación (9).

$$Q = h A_s (T_s - T_\infty) \quad (9)$$

Dónde:

- h : Coeficiente convectivo del medio ($W/m^2 K$).
- A_s : Área superficial expuesta al medio de convección (m^2).
- T_s : Temperatura de la superficie expuesta al fluido (K).
- T_∞ : Temperatura del medio (K).

Ø Transferencia de calor por conducción.

La conducción es un proceso mediante el cual fluye el calor desde una región de temperatura alta a una región de temperatura baja dentro de un medio (sólido y/o fluido) o entre medios diferentes por medio de contacto intermolecular. La relación básica para la transferencia de calor por conducción es la Ley de Fourier y se expresa para una pared plana unidimensional, la cual tiene una distribución de temperatura (x) y una sección de área A , como se muestra a continuación:

Entonces el flujo de calor por conducción queda definido a través de la ecuación (10):

$$Q = -k A \frac{dT}{dx} \quad (10)$$

Dónde:

- k : Conductividad térmica del material ($W/m K$).
- dT/dx : Gradiente de temperatura en el espesor de la pared (K/m).

En condiciones de estado estable la distribución del gradiente de temperatura a través del sólido desde la región de alta temperatura a la región de baja temperatura es lineal y lo expresa la ecuación (11):

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (11)$$

Dónde:

- T_1 : Temperatura menor (K).
- T_2 : Temperatura mayor (K).
- L : Longitud de la transferencia de calor (m).

· **Conductividad térmica.**

La conductividad térmica k es una propiedad del material e indica la cantidad de calor que fluirá a través de un área unitaria si el gradiente de temperatura es la unidad. Los materiales que tienen una alta conductividad térmica se llaman conductores, mientras que los materiales de baja conductividad térmica se conocen como aislantes. La variación de la conductividad térmica con la temperatura puede despreciarse si la escala de temperatura no es grande, o si la dependencia de la conductividad con la temperatura no muy rigurosa.

Ø **Transferencia de calor por radiación.**

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor.

3.2.7 Conducción de calor en régimen transitorio.

Si un cuerpo sólido es sometido, en forma rápida, a un cambio en su medio ambiente, debe transcurrir un cierto tiempo antes de que en el cuerpo se imponga la condición de la temperatura de equilibrio, este proceso se conoce como *régimen transitorio*. Se transfiere energía por convección y radiación desde la superficie hasta los alrededores. La energía que se transfiere por conducción también ocurre desde el interior del sólido hasta la superficie, y la temperatura en cada punto del cuerpo disminuye hasta que se alcanza el estado estable. Para determinar la dependencia temporal de la distribución de temperaturas dentro de un sólido durante un proceso transitorio cuando la resistencia conductiva interna del sistema es tan pequeña comparada con la resistencia convectiva externa, que la temperatura dentro del sistema es sustancialmente uniforme en cualquier instante, se utiliza el método

denominado de la *resistencia interna despreciable*. Esta suposición implica que los gradientes de temperatura dentro del sólido son insignificantes. De acuerdo a la ley de Fourier, la conducción de calor en ausencia de un gradiente de temperatura implica la existencia de una conductividad térmica infinita. Esta conducción es claramente imposible. Sin embargo, aunque la condición nunca se satisface de forma exacta, se acerca mucho a ello si la resistencia a la conducción dentro del sólido es pequeña comparada con la resistencia a la transferencia de calor entre el sólido y sus alrededores. Al no tomar en cuenta los gradientes de temperatura dentro del sólido, ya no es posible considerar el problema desde dentro del marco de la ecuación de difusión de calor. En su lugar, la respuesta de temperatura transitoria se determina realizando un balance global de energía en el sólido. Este balance debe relacionar la velocidad de pérdida de calor en la superficie con la rapidez de cambio de energía interna. Al aplicar la ecuación (3.8) y tomando como volumen de control el sólido, éste requerimiento se describe como: La transferencia de calor hacia el sólido durante el dt es igual al incremento en la energía del sólido durante dt y es expresado por la ecuación (12)

$$-hA(T - T_\infty)dt = mC_p dT \quad (12)$$

Dado que $m = \rho V$ y $dT = (T - T_\infty) - (T - T_\infty) = -dT_\infty$, la ecuación (12) se pueden reagrupar los términos como se muestra en la ecuación (13).

$$\frac{dT - T_\infty}{(T - T_\infty)} = \frac{hA}{\rho C_p V} dt \quad (13)$$

Al integrar la ecuación (13) desde $t = 0$, en el cual $T = T_i$, hasta cualquier instante t , en el cual $T = (t)$, resulta en la ecuación (14)

$$\ln \frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty} = \frac{-hA}{\rho C_p V} t \quad (14)$$

Al tomar exponencial de ambos miembros y reacomodar, se obtiene la ecuación (15), tal ecuación permite determinar la temperatura (t) en el instante $t = 0$, de modo alternativo, el tiempo t requerido para alcanzar el valor específico (t) .

$$\frac{T(t) - T_\infty}{T_i - T_\infty} = e^{-\tau t} \quad (15)$$

Dónde:

- (t) : Temperatura en función del tiempo (K).
- T_i : Temperatura inicial del sólido (K).
- t : Tiempo (s).
- τ : Constante de tiempo (s).

Se define la constante de tiempo a través de la ecuación (16). La temperatura de un cuerpo se aproxima a la del medio ambiente (T) en forma exponencial. Al principio, la temperatura del cuerpo cambia con rapidez pero, posteriormente, lo hace

temperatura del medio ambiente en un tiempo corto. Entre mayor sea el valor del exponente τ mayor será la velocidad de decaimiento de la temperatura. Note que τ es proporcional al área superficial, pero inversamente proporcional a la masa y al calor específico del cuerpo. Esto no es sorprendente, ya que tarda más tiempo en calentarse o enfriarse una masa grande, en especial cuando tiene un calor específico grande.

$$\tau = \frac{h A s}{\rho C_p V} \quad (16)$$

Dónde:

- V : Volumen del cuerpo (m^3).

Para desarrollar un criterio adecuado considere la conducción en estado estable a través de una pared plana de área A . Una superficie se mantiene a $T_{s,1}$ y la otra se expone a un fluido de temperatura $T < T_{s,1}$. La temperatura de esta última superficie será algún valor intermedio, $T_{s,2}$ para el que $T < T_{s,2} < T_{s,1}$. De aquí, en condiciones de estado estable, el balance de energía de la superficie se reduce a la expresión (17).

$$\frac{kA}{L_c} (T_{s,1} - T_{s,2}) = h A (T_{s,2} - T_{\infty}) \quad (17)$$

Dónde:

- L_c : Longitud característica del sólido (m).
- $T_{s,1}$: Temperatura de superficie 1 (K).

- $T_{s,2}$: Temperatura de superficie 2 (K)

Reacomodando y simplificando la ecuación (17), se tiene que el número de Biot queda definido a través de la ecuación (18).

$$Bi = \frac{h Lc}{K} \quad (18)$$

La cantidad (L/k) es un parámetro adimensional y se denomina número de Biot; este número proporciona una medida de la caída de temperatura en el sólido en relación con la diferencia de temperaturas entre la superficie y el fluido. Entonces si $Bi \gg 1$, la resistencia a la conducción dentro del sólido es mucho menor que la resistencia a la convección a través de la capa límite del fluido; en consecuencia, es razonable la suposición de una distribución de temperatura uniforme. Por sencillez, se acostumbra a definir la longitud característica del cuerpo a través de la ecuación (19).

$$Lc = \frac{V}{A} \quad (19)$$

Finalmente, se observa que, con sustituir la ecuación (3.16) en el exponente de la ecuación (15) se puede expresar y simplificar el exponente de dicha ecuación de la siguiente manera, obteniendo la ecuación (20).

$$\frac{h A_s t}{\rho V c_p} = Bi \cdot Fo \quad (20)$$

Dónde:

- Bi : Número de Biot (*Adimensional*).
- Fo : Número de Fourier (*Adimensional*).

Finalmente se puede expresar la ecuación (21) que proporciona información de la relación de temperaturas para un instante de tiempo (t).

$$\ln\left(\frac{T(t)-T_\infty}{T_i-T_\infty}\right) = -Bi \cdot Fo \quad (21)$$

Y el número de Fourier queda definido por la ecuación (22).

$$Fo = \frac{\alpha t}{Lc^2} \quad (22)$$

Dónde:

- α : Difusividad térmica del sólido (m^2/s).

Quedando definida la difusividad térmica mediante la ecuación (23) como:

$$\alpha = \frac{k}{C_p \rho} \quad (23)$$

3.2.8 Números Adimensionales.

En el análisis de la convección es práctica común quitar las dimensiones a las expresiones físico-matemáticas que modelan el mecanismo y agrupar las variables, dando lugar a los números adimensionales. En el estudio de convección se utilizarán los siguientes números adimensionales:

Ø Número de Reynolds.

Representa la relación que hay entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas que actúan sobre un elemento de volumen de un fluido. Es un indicativo del tipo de flujo del fluido, laminar o turbulento. Se expresa como:

$$Re = \frac{V L}{\nu} = \frac{(m/Ac) D}{\mu} \quad (24)$$

Donde

- V = Velocidad del fluido en la superficie obtenida con el velocímetro (m/s)
- L = Longitud de la pared plana análoga (m)
- ν = Viscosidad Cinemática (Kg/m³*s)
- μ = Viscosidad dinámica (Kg/m*s)
- Re = Número de Reynolds (adimensional)
- ν = Viscosidad Cinemática (Kg/m*s)

Y depende también del diámetro hidráulico el cual se expresa mediante la ecuación (24a):

$$D_h = \frac{4 Ac}{p} \quad (24a)$$

- Dh =Diámetro hidráulico (m)
- Ac =Área de la sección transversal de flujo (m²)

Ø Número de Nusselt.

Representa la relación que hay entre el calor transferido por convección a través del fluido y el que se transferiría si sólo existiese conducción. En general:

$$Nu_l = \frac{hc L}{K} \quad (25)$$

Donde

- Pc = Longitud característica (m)
- h = Coeficiente convectivo local ($W/m^2.K$)
- k = Conductividad térmica del cuerpo ($W/m.K$)
- Nu_l = Número de Nusselt (adimensional)

Ø Número de Prandtl

Representa la relación que hay entre la difusividad molecular de la cantidad de movimiento y la difusividad molecular del calor o entre el espesor de la capa límite de velocidad y la capa límite térmica:

$$Pr = \frac{c_p u}{K} = \frac{v}{\frac{K}{\rho c_p}} = \frac{v}{\alpha} \quad (26)$$

Donde

- C_p = Calor específico del cuerpo ($J/Kg.K$)
- k = Conductividad térmica del cuerpo ($W/m.K$)
- μ = Viscosidad dinámica ($Kg/m.s$)
- Pr = Número de Prandtl (adimensional)

Ø Número de Rayleigh.

Es un número adimensional asociado con la transferencia de calor en el interior del fluido, y es el producto del número de Grashof y el número de Prandtl. Para el caso de convección natural en una pared vertical el número de Rayleigh se define como:

$$Ra = \frac{\beta \Delta T g L^3}{\nu \alpha} \quad (27)$$

Dónde:

- Ra = Número de Rayleigh (adimensional).
- g = Gravedad específica (m/s^2).
- ΔT = T Diferencial de temperatura.
- L_c = Longitud característica.(m).
- ν = Viscosidad cinemática (m^2/s).

- Difusividad térmica (m^2/s).
-

3.2.9 Análisis de la Convección.

La transferencia de calor a través de un sólido siempre es por conducción, dado que las moléculas de un sólido de este tipo permanecen en posiciones relativamente fijas. Sin embargo, la transferencia de calor a través de un líquido o gas puede ser por conducción o convección, dependiendo de la presencia de algún movimiento masivo del fluido. La transferencia de calor a través de un fluido es por convección cuando se tiene un movimiento masivo de este último y por conducción cuando no existe dicho movimiento. Por lo tanto, la conducción en un fluido se puede concebir como el caso límite de la convección, correspondiente al caso de fluido en reposo.

La transferencia de calor por convección es complicada por el hecho de que comprende movimiento del fluido así como conducción del calor. El movimiento del fluido mejora la transferencia de calor, ya que pone en contacto porciones más calientes y más frías de ese fluido, iniciando índices más altos de conducción en un gran número de sitios. Por lo tanto, la velocidad de la transferencia de calor a través de un fluido es mucho más alta por convección que por conducción. De hecho, entre más alta es la velocidad del fluido, mayor es la velocidad de la transferencia de calor.

A continuación se explica a detalle los análisis necesarios para determinar el coeficiente convectivo para diferentes situaciones.

Ø Convección forzada

Los flujos forzados pueden ser internos o externos. En un flujo interno, el flujo es forzado por medio de un ventilador si el fluido es un gas, o por una bomba si se trata de un líquido. En esta sección serán considerados únicamente flujos simples de convección forzada sobre superficies lisas.

A continuación se muestra las ecuaciones utilizadas en la convección forzada para flujo en el interior de conductos:

El número de Nusselt:

$$Nu_{Dhc} = Nu_{Dh} \quad (28)$$

$$Nu_{Dh} = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) (Re-1000) Pr}{1+12.7\left(\frac{f}{8}\right)^{\frac{1}{2}} (Pr^{\frac{2}{3}}-1)} \quad (29)$$

Donde

- Nu_{Dhc} =Número de Nusselt corregido (adimensional).
- Nu_{Dh} = Número de Nusselt (adimensional).
- f = factor de fricción (adimensional).
- Pr = Numero de Prandtl (adimensional).
- .

El factor de fricción es:

$$f = (0.790 \ln(Re) - 1.64)^{-2} \quad (30)$$

El Coeficiente de convección h local es:

$$= \left(\frac{k}{D_h}\right) Nu_{Dhc} \quad (31)$$

Ø Convección natural.

Un fluido caliente tiende a elevarse. Esto se debe a la fuerza de empuje producida por la acción conjunta de las diferencias de densidad y el campo gravitatorio terrestre. Cuando aparecen estos flujos se dice que hay convección natural, libre o por empuje. Siempre que el flujo se calienta o enfría en un campo gravitatorio, existe la posibilidad de que se produzca convección natural. Asimismo la convección natural puede ser interna o externa y está definida para diferentes superficies.

El número de Nusselt para flujo sobre una superficie vertical, la convección sobre una placa vertical forma una capa límite laminar con valores de $Ra_x < 10^9$, la cual se expresa a partir de la ecuación (32) y la transición a una capa límite turbulenta ocurre cuando el número de Ra_x alcanza un valor crítico de $Ra_x = 10^9$ y se expresa a partir de la ecuación (33). Además definimos la ecuación (34) la cual es una

expresión que depende del Pr. De lo antes expresado se presentan las ecuaciones (32) (33) y (34).

$$Nu_l = 0.68 + 0.67(Ra\varphi)^{\frac{1}{4}} \quad Ra < 10^9 \quad (32)$$

$$Nu_l = 0.68 + 0.67(Ra\varphi)^{\frac{1}{4}}(1 + 1.6 \cdot 10^{-8} Ra\varphi)^{\frac{1}{12}} \quad 10^9 < Ra < 10^{12} \quad (33)$$

$$\varphi = [1 + (\frac{0.492}{Pr})^{\frac{9}{16}}]^{-\frac{16}{9}} \quad (34)$$

El número de Nusselt para flujo sobre una superficie horizontal calentada por la cara superior. Fueron desarrolladas por Hatdild y Edward, que es válida para cualquier relación de aspecto y que permite tomar en cuenta extensiones adiabáticas, L el cual es el lado más corto y W el lado más largo, entonces, La es la expresión adiabáticas en el lado corto o laterales de la placa. Se puede presentar las siguientes para las relaciones de placas verticales calentadas por la parte superior y las ecuaciones son (35) y (36):

$$Nu_l = 6.5 \left(1 + 0.38 \frac{L}{W}\right) [(1 + X)^{0.39} X^{0.39}] Ra^{0.13} \quad (35)$$

$$X = 13.5 Ra^{-0.16} + 2.2 \left(\frac{La}{L}\right)^{0.7} \quad (36)$$

$$10^6 < Ra < 10^{10}, \quad 0.7 < Pr < 4800, \quad 0 < La/L < 0.2$$

El número de Nusselt para flujo sobre una superficie horizontal calentada por la cara inferior. Según lo expresa McAdams, recomiendan la ecuación (37) y (38) debido a su flujo inestable, donde L es la longitud de los lados en el caso de una placa cuadrada o la longitud más corto en el caso de una placa rectangular; y para un flujo turbulento irregulares sobre la placa, dando por resultado un numero de Nusselt medio que no depende del tamaño ni de la forma de la placa (38). Se presentan las dos ecuaciones anteriormente mencionadas (37) y (38):

$$Nu_l = 0.54 Ra^{1/4}, \quad 10^5 < Ra < 10^7 \quad (37)$$

$$Nu_l = 0.14 Ra^{1/3}, \quad 2 \cdot 10^7 < Ra < 3 \cdot 10^{10} \quad (38)$$

- Pr = Número de Prandtl (adimensional)
- Ra = Número de Rayleigh (adimensional)
- Nu = Número de Nusselt (adimensional)

3.2.10 Resistencia térmica de paredes compuestas.

Los circuitos térmicos para sistemas complejos, como las paredes compuestas incluyen cualquier número de resistencias térmicas en serie y en paralelo debido a capas de diferentes materiales. Para la pared compuesta en serie se tiene una resistencia térmica por cada material que compone la pared desde T_1 hasta T_4 .

Donde $T_1 - T_4$ es la diferencia total de temperatura, y la suma de cada una de estas resistencias térmicas representan una resistencia térmica equivalente para el circuito. Con sistemas compuestos suele ser conveniente trabajar con un coeficiente global de transferencia de calor U , que se define como una expresión análoga de la ley de enfriamiento de Newton a través de la ecuación (38).

$$Qx = U \cdot A \cdot T \quad (38)$$

Dónde:

- U : Coeficiente global de transferencia de calor ($W/m^2 K$).
- Qx : Pérdidas de calor (W).

Y la determinación del coeficiente global se hace a través de la ecuación (39).

$$U = \frac{1}{Rt_A} = \frac{1}{1/h_{int} A + \frac{e}{\kappa A} + 1/h_{ext} A} \quad (39)$$

Dónde:

- int : Coeficiente convectivo interno ($W/m^2 K$).
- e : Espesor de la capa de material (m).
- ext : Coeficiente convectivo del ambiente ($W/m^2 K$).

3.2.11 Ventiladores.

Es la turbomáquina que absorbe energía mecánica y restituye energía a un gas, comunicándole un incremento de presión tal que el influjo de la compresibilidad puede despreciarse; con la finalidad de mover aire a través de un sistema. Los principales elementos que lo componen son: conducto de entrada de aire, impelente, voluta, conducto de descarga, eje del ventilador, elementos de sujeción y transmisión de energía mecánica.

Ø Clasificación de ventiladores.

Los ventiladores se clasifican en función de:

Clasificación según la presión total desarrollada.

- Ventiladores de baja presión: presión total desarrollada inferior a 10 mbar.
- Ventiladores de media presión: presión total desarrollada superior a los 10 mbar e inferior a 30 mbar.
- Ventiladores de alta presión: presión total desarrollada superior a los 30 mbar e inferior a 100 mbar. (En estos últimos el efecto de la compresibilidad ya es apreciable).

Clasificación según la dirección del flujo.

- Ventiladores centrífugos: Los ventiladores centrífugos se adaptan a los tres tipos mencionados, de baja, media y alta presión; son aquellos en los cuales el flujo de aire cambia su dirección, en un ángulo de 90°, entre la entrada y salida.
- Ventiladores axiales: Son aquellos en los cuales el flujo de aire sigue la dirección del eje del mismo. Se suelen llamar helicoidales, pues el flujo a la salida tiene una trayectoria con esa forma. En líneas generales son aptos para mover grandes caudales a bajas presiones.

Ø Circulación de aire forzado.

El aire se hace circular en el interior del horno mediante un grupo motor - ventilador adecuado, a la velocidad previamente determinada a través de la carga, realizándose el calentamiento del aire, normalmente separadas de la cámara útil del

horno mediante la interposición de reflectores. Es muy importante que la distribución del caudal del aire sea uniforme dentro de la cámara, lo que obliga al constructor, a instalar los elementos adecuados en el horno, y por parte del usuario, a cargar el horno adecuadamente, sin zonas muertas que den lugar a cortocircuitos de aire, ni excesiva densidad de la carga que impida el paso del aire por falta de presión adecuada en el ventilador.

A continuación se muestran disposiciones típicas en hornos de circulación forzada:

i. Circulación vertical con ventilador centrífugo.

Típico en hornos de pozo con las piezas colgadas (se requiere deflector metálico), o en cestas que deben impedir el cortocircuito superior mediante el apoyo sobre la cesta superior de la pantalla situada debajo del ventilador.

Circulación horizontal con ventilador centrífugo en la parte superior. Esta disposición del ventilador es muy adecuada para el calentamiento de placas y chapas gruesas de aleación de aluminio. Es fundamental un reparto uniforme entre las diferentes capas de la carga, lo que se consigue ajustando los deflectores desde el exterior y colocando soportes de carga idénticos entre placas.

Los ventiladores centrífugos para circulación horizontal en la parte lateral, también son usados para el calentamiento de tubos redondos de aluminio para extrusión. Algunos constructores emplean con ventaja ventiladores axiales situados en la cámara superior del horno los cuales permiten la circulación del aire en los dos sentidos, con la consiguiente reducción del tiempo de calentamiento.

ii. Circulación horizontal-vertical con ventilador centrífugo.

En este caso la circulación del aire es horizontal hacia el interior de la cámara útil, y vertical a través de las piezas dispuestas en bandejas o contenedores. Es difícil evitar con cargas densas que las partes extremas de la bandejas tengan una circulación sensiblemente inferior a las centrales, lo que exige una carga cuidadosa de los contenedores. Casi en la mayor parte de los casos se requiere de deflectores metálicos.

iii. Ventilador axial con piezas alargadas.

Disposición característica de hornos de tratamiento de perfiles extruidos de aleación ligera. La turbina puede ser helicoidal, por la débil pérdida de carga del circuito de aire, y la circulación debe hacerse en los dos sentidos, aunque los caudales no serán idénticos. El horno puede disponerse verticalmente, colocando la carga colgada, u horizontalmente, en cuyo caso ésta debe hacerse cuidadosamente para llenar la cámara del horno.

3.2.12 Trenes de combustión para Quemadores de Gas natural.

Básicamente la función principal de un sistema de combustión es proporcionar la cantidad de calor necesario para efectuar cierto proceso. La conformación de un sistema de combustión, se encuentra integrado por:

- El equipo de combustión. (tren de regulación y quemador).
- El equipo de encendido y protección contra falla de flama.
- El equipo de control.

Este sistema se muestra a través de un esquema grafico en el Anexo 3.

Ø El tablero de control,

Es el cual sirve de enlace entre el proceso y el operario, para conocer las fallas y el estado en los que se encuentra el sistema.

Ø Quemador:

Un quemador se puede definir como un dispositivo que proporciona una flama de ciertas características preestablecidas con una mezcla de aire / combustible, de tal forma que la combustión se lleve a cabo en forma continua y eficiente.

Las funciones básicas de cualquier quemador son las siguientes:

- Dirigir la flama hacia las áreas de mayor aprovechamiento de calor.
- Iniciar y mantener una ignición continua.
- Mezclar el aire y el combustible en forma efectiva y homogénea.
- Vaporizar y atomizar los combustibles líquidos.
- Mantener la combustión con máxima seguridad.

Ø Tren de gas

La línea de gas se encuentra conformada por:

a. Regulador de presión:

Las válvulas reguladoras de presión o reguladores de presión, se utilizan para reducir la presión de suministro del combustible al nivel aceptable por el sistema de combustión y mantener esta presión constante e independiente del flujo. Los reguladores de presión ya sean para gas o para líquidos regulada o sea un funcionamiento similar, en ambos casos la presión regulada o sea después del regulador del diafragma un resorte calibrado actúa para efectuar el balance.

b. Sensores de alta y baja presión de gas:

· Switch Baja presión:

Su función constituye la de supervisar que el gas y el aire sean suministrados en el rango de presión adecuado, esta interconectado en serie con los restantes límites y al no cumplirse con el rango establecido abrirá el switch y el consecuencia el sistema mandara a paro por seguridad

· Switch alta presión

Al igual que el switch de baja presión de gas, su tarea es delimitar que el gas sea suministrado en los rangos operativos de presión requeridos por el quemador, en este caso esta calibrado para detectar alta presión, ya sea por la ruptura de los diafragmas tanto del regulador de presión, como de las válvulas de seguridad. Esta interconectado en serie con los restantes límites al control contra falla de flama.

c. Válvulas de seguridad Automático o Manual

La característica principal de estas válvulas es que son de apertura lenta y cierre rápido, estos interconectados con el control contra falla de flama y cualquier condición insegura que capte mandara cerrar las válvulas, son el corazón de la seguridad.

Manual:

Los requisitos más importantes de estas válvulas son:

- i. Deben de cerrar por medio de un resorte dentro de un periodo de 5 segundo después de la bobina ha sido des energizada.
- ii. Se requiere de un medio auxiliar para abrirlas y mantenerlas abiertas tal como la energía eléctrica o presión de aire o gas.
- iii. Su diseño es tal que no pueden bloquearlas para mantenerlas abiertas.
- iv. Después de cerrar únicamente se podrán abrir con la bobina energizada o con la presión en el diafragma. La válvula no abrirá hasta que la palanca de apertura manual sea accionada manualmente a posición abierta.
- v. Es recomendable que tenga un switch auxiliar que abra cuando la válvula este cerrada y cierre cuando la válvula este abierta

Automática

Estas válvulas tiene los mismos requisitos y características de las de restablecimiento manual, la única diferencia es que estas válvulas de seguridad son únicamente el dispositivo que sirve para cortar el suministro de combustible y por si solas no constituyen un sistema de seguridad. Las válvulas son parte de un sistema y en conjunto con los límites y los dispositivos de detección de flama, forman lo que se denomina sistemas integrados de seguridad en sistemas de combustión.

d. La válvula proporcional

Los quemadores de mezclado en boquilla deben de tener algún mecanismo que les alimente aire y combustible en las proporciones correctas para obtener la combustión en las proporciones correctas, ya sea estequiométrica, con exceso de aire (oxidante) o con exceso de combustible (reductora).

· Válvula proporcional de control

En la práctica se acostumbra instalar la toma de presión en la línea de aire, llamada línea de impulso y utilizar una válvula proporcionadora en la línea de combustible.

La válvula proporcionadora es un dispositivo que duplica la presión del aire en la línea de gas. La construcción de la válvula proporcionadora de gas es del tipo

globo en la cual el asiento esta acción motriz. La presión del aire es transmitida a la parte inferior del diafragma es la presión de retroalimentación del gas a la salida del regulador.

Cuando las presiones del gas y la del aire no están igualadas se genera una fuerza no balanceada sobre el diafragma el cual se mueve en la dirección de esta fuerza.

El diafragma mueve a su vez el asiento de la válvula, ajustando el flujo y corrigiendo la presión de salida del gas hasta que la diferencia entre las presiones del gas y del aire sea nula.

- **Sistema de Control de relación por Presiones**

Este es uno de los sistemas más comunes, sencillos y seguros de controlar la relación aire – combustible.

El principio teórico de este sistema se basa en que los orificios de aire y del combustible son de áreas constantes y los parámetros que se varían son las presiones del aire y del combustible en la entrada de su respectivo orificio.

De las formulas fundamentales se debe que el flujo a través de un orificio o una restricción constante es proporcional a la raíz cuadrada del diferencial de presión a través de un orificio, entonces si las presiones de aire y de combustible se mantienen iguales o proporcionales, los flujos de aire y de combustible también deben de conservarse proporcionales a través de todo el rango de operación.

Sistema de Control de relación por medición de flujos.

El sistema de Control de relación por medición de flujos realmente mide el flujo de aire y el flujo de combustible y controla el flujo de uno de los dos para igualar al otro según la relación que se requiera. La medición del flujo es requerido en las líneas de aire y de combustible para que el flujo se determine tomando el diferencial de presión. El diferencial de presión es transmitido a un controlador el cual a su vez compara los flujos y envía una señal a la válvula de control para que ajuste el flujo conservando así la relación.

e. Piloto.

La función de un piloto de gas es iniciar y mantener una flama pequeña y segura para encender la flama principal de un quemador de cualquier combustible. La flama de los pilotos se puede encender manualmente con una antorcha (no recomendado) o pueden ser encendidos por una bujía eléctrica.

Los pilotos recomendados por su confiabilidad y seguridad son los pilotos con mezclado tipo aspirador.

- Válvula de venteo
- Control contra falla de flama

Las dos funciones principales de un control contra falla de flama son la de suministrar un encendido lógico y seguro y como segunda función monitorear la existencia de la flama y mandar a seguridad cualquier condición que pueda provocar un siniestro.

- Sistema de encendido y seguridad de flama (SESdeF.) y su detector de flama (DdeF).
 - i. El SESdeF debe ser un elemento específicamente diseñado para combustión, lo cual debe ser certificado por el fabricante o importador del sistema de combustión.
 - ii. El SESdeF no debe permitir que puedan variarse los tiempos de pre barrido o seguridad por el usuario u operador.
 - iii. Bajo cualquier condición en que el DdeF principal detecte la llama del piloto, ésta tiene que poseer la capacidad de encender el quemador principal.
 - iv. En todos los casos, el SESdeF debe ser de seguridad positiva. Ante fallas en el circuito interno, el sistema de seguridad debe provocar el corte del suministro de gas.

3.2.14 Análisis de Esfuerzo.

Una viga es cualquier elemento que soporta cargas de manera transversal a su eje longitudinal, y puede soportar cargas también en dirección axial. Una viga puede quedar cargada con alguna combinación de fuerzas o momentos distribuidos y/o concentrados; a su vez, las fuerzas aplicadas crearán fuerzas cortantes y momentos de flexión. Un análisis de carga debe encontrar la magnitud y distribución espacial de estas fuerzas cortantes y estos momentos de flexión en la viga.

- **Tensión axial.**

La carga axial es uno de los tipos más sencillos de carga que se puede aplicar a un elemento. Se supone que la carga se aplica a través del centroide de área del elemento y que las dos fuerzas de oposición son colineales a lo largo del eje de las x.

- **Esfuerzos de flexión.**

Cuando la viga está sometida a flexión pura se puede calcular el esfuerzo máximo de flexión, el cual ocurre en las fibras exteriores de la viga.

- **Esfuerzo por corte directo.**

El corte directo ocurre en situaciones donde no hay flexión presente; comúnmente en las juntas o empotramientos.

- **Compresión axial en columnas.**

Cuando se invierte la dirección de la carga axial para colocar la viga a compresión, puede fallar por pandeo más que por compresión. Una columna corta fallará a compresión, una columna intermedia o una larga fallará por pandeo.

3.3 Definición de Términos

Termodinámica: La termodinámica es la disciplina que dentro de la ciencia madre, la Física, se ocupa del estudio de las relaciones que se establecen entre el calor y el resto de las formas de energía. Entre otras cuestiones la termodinámica se ocupa de analizar los efectos que producen los cambios de magnitudes tales como: la

temperatura, la densidad, la presión, la masa, el volumen, en los sistemas y a un nivel macroscópico.

Transferencia de Calor: La transferencia de calor es el proceso de propagación del calor en distintos medios. La parte de la física que estudia estos procesos se llama a su vez Transferencia de calor o Transmisión de calor. La transferencia de calor se produce siempre que existe un gradiente térmico o cuando dos sistemas con diferentes temperaturas se ponen en contacto. El proceso persiste hasta alcanzar el equilibrio térmico, es decir, hasta que se igualan las temperaturas.

Turbomáquinas: Es una máquina cuyo elemento principal es un rodete (rotor giratorio) a través del cual pasa un fluido de forma continua, cambiando éste su cantidad de movimiento por acción de la máquina. Se da así una transferencia de energía entre la máquina y el fluido a través del momento del rotor sea en sentido máquina-fluido (como en el caso de una bomba hidráulica) o fluido-máquina (como en el caso de una turbina).

Elementos de Maquina: Una máquina está compuesta por una serie de elementos más simples que la constituyen, pudiendo definir como elementos de máquinas todas aquellas piezas o elementos más sencillos que correctamente ensamblados constituyen una máquina completa y en funcionamiento.

Filtro o Papel Filtrante: Materia porosa, a través de la cual se hace pasar un fluido para clarificarlo o depurarlo, u objeto que sirve para separar las partes sólidas de un líquido.

Tapa Roscada: Elemento metálico de geometría cilíndrica con un radio interno de tipo convexa. El cual se encuentra en la parte superior del filtro realizando la función de permitir el flujo másico de la masa que se va a filtrar, para luego salir filtrado por sus elementos internos para su posterior introducción al sistema que pertenece.

Calor: Energía que se manifiesta por un aumento de temperatura y procede de la transformación de otras energías; es originada por los movimientos vibratorios de los átomos y las moléculas que forman los cuerpos.

Calor Específico: La capacidad calorífica específica, calor específico o capacidad térmica específica es una magnitud física que se define como la cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa de una sustancia o sistema termodinámico para elevar su temperatura en una unidad

Capacidad Calorífica: Es la cantidad de calor que permite variar, en un grado, la temperatura de un cuerpo. La capacidad calórica de una sustancia es una magnitud que indica la mayor o menor dificultad que presenta dicha sustancia para experimentar cambios de temperatura bajo el suministro de calor.

Entalpía: La Entalpía es la cantidad de energía de un sistema termodinámico que éste puede intercambiar con su entorno. Por ejemplo, en una reacción química a presión constante, el cambio de entalpía del sistema es el calor absorbido o desprendido en la reacción.

Energía Interna: La energía interna es el resultado de la contribución de la energía cinética de las moléculas o átomos que lo constituyen, de sus energías de rotación, traslación y vibración, además de la energía potencial intermolecular debida a las fuerzas de tipo gravitatorio, electromagnético y nuclear.

Viscosidad: La viscosidad de un fluido es una medida de su resistencia a las deformaciones graduales producidas por tensiones cortantes o tensiones de tracción.

Flujo Laminar: Es uno de los dos tipos principales de flujo en fluido. Se llama flujo laminar o corriente laminar, al movimiento de un fluido cuando éste es ordenado, estratificado, suave. En un flujo laminar el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse y cada partícula de fluido sigue una trayectoria suave, llamada línea de corriente.

Flujo Turbulento: al movimiento de un fluido que se da en forma caótica, en que las partículas se mueven desordenadamente y las trayectorias de las partículas se encuentran formando pequeños remolinos periódicos, (no coordinados). Debido a esto, la trayectoria de una partícula se puede predecir hasta una cierta escala, a partir de la cual la trayectoria de la misma es impredecible, más precisamente caótica.

Inventor: Autodesk Inventor es un paquete de modelado paramétrico de sólidos en 3D producido por la empresa de software Autodesk. Compite con otros programas de diseño asistido por computadora como SolidWorks, Pro/ENGINEER, CATIA y Solid Edge.

Ansys Works Bench: ANSYS Workbench es una plataforma de software desde donde se crean los proyectos de análisis CAE en diferentes disciplinas, Workbench despliega gráficamente el intento de la simulación en ingeniería y se establecen las relaciones entre fenómenos físicos y sus módulos incluyendo multi física

Diseño asistido por computadora: El diseño asistido por computadoras (diseño asistido por ordenador en España), más conocido por sus siglas inglesas CAD (computer-aided design), es el uso de un amplio rango de herramientas computacionales que asisten a ingenieros, arquitectos y diseñadores. El CAD es también utilizado en el marco de procesos de administración del ciclo de vida de productos. También se puede llegar a encontrar denotado con las siglas CADD (computer-aided design and drafting), que significan «bosquejo y diseño asistido por computadora».

Aislante: Un aislante térmico es un material usado en la construcción y en la industria, caracterizado por su alta resistencia térmica. Establece una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente tenderían a igualarse en temperatura, impidiendo que el calor traspase los separadores del sistema que interesa (como una vivienda o una nevera) con el ambiente que lo rodea.

Hogar o Calderin: La palabra hogar (como hoguera doméstica, fogón o anafre) se refiere al sitio donde se enciende fuego (con leña o algún otro combustible) en una vivienda y que ocupaba el espacio común y servía de cocina, comedor y estancia.

Quemador: Un quemador es un dispositivo para quemar combustible líquido, gaseoso o ambos (excepcionalmente también sólido) y producir calor generalmente mediante una llama.

CAPÍTULO IV

FASES METODOLÓGICAS

El presente capítulo indica el diseño de la investigación, abarcando el conjunto de fases concebidas para dar solución al problema planteado, acorde al objetivo general y los objetivos específicos establecidos, plasmados en el capítulo III.

4.1 Diseño de la investigación.

En función de las características del problema investigado y de los objetivos delimitados al inicio del mismo, el presente trabajo se desarrolla mediante un conjunto de etapas de manera secuencial, que ayudan a cumplir con el propósito general de la investigación planteada; dichas etapas son: identificación de los parámetros que intervienen en el proceso de secado de las tapas roscadas, determinación de la capacidad de la estación de secado a diseñar, dimensionamiento y/o selección de los elementos que conformaran la propuesta de la estación de secado.

✓ PASO I: Identificación de los parámetros que intervienen en el proceso de secado para las Tapas Roscadas

Para la determinación de tales parámetros es necesario realizar una inspección a los procesos de fabricación de las tapas roscadas otorgadas por la casa madre en Estados Unidos, la cual estandariza, valida y aprueba los procesos de fabricación de cada uno de los elementos que conforman a la fabricación de filtros. Además se realizara una evaluación con la finalidad de inspeccionar el proceso de secado empleado actualmente, para conocer los factores que interactúan en el sistema, ejecutar una revisión del historial de fallas del equipo, por ultimo realizar un análisis del proceso productivo; para así poseer las medidas de los requerimientos establecidos por parte de la empresa y de tal manera dar fundamento a un estudio con una metodología que garantice un proceso de secado correcto y eficiente.

Esta etapa comprende tres partes, las cuales se muestran a continuación:

Primera Paso: Se basa en la observación de los procesos que se realizan en la empresa para la fabricación de filtros Automotrices e Industriales. Además comprende entrevistas con las personas encargadas de estos departamentos, los cuales representan una potencial referencia para la consulta de información técnica, con ellos determinar los parámetros para el sistema de secado los cuales provienen de la casa Mater ubicada en Estados Unidos.

Segunda Paso: Consiste en la revisión de material bibliográfico disponible relacionado a sistemas de secado, propiedades de los aceros, análisis térmico, propiedades de los materiales refractarios y aislantes. Lo obtenido en esta fase se presenta en las bases teóricas de esta investigación.

Tercera Paso Descripción del sistema actual. Esta fase consiste en describir las condiciones operacionales en la que se encuentra trabajando actualmente el sistema; para ello se procede a realizar un listado de partes como de los componentes y equipos que conforman el sistema actual; así mismo es necesario tomar en cuenta los principales parámetros que rigen el sistema (tiempos, temperaturas, capacidad, potencia, entre otras) y que son necesarios para obtener el estado del sistema actual.

✓ **PASO II: Propuesta de diseño para la estación de secado.**

Tal etapa comprende de 2 fases:

Primera Paso: Mediante esta fase se procede al planteamiento de posibles soluciones a los problemas operacionales encontradas en el sistema, utilizando la técnica de tormenta de ideas. Para ello se toma en cuenta los requerimientos por parte de la empresa y se busca mejorar el proceso para así lograr un aumento en la eficiencia del secado de tapas roscadas.

Segunda Paso: Esta fase consiste en evaluar todas las opciones generadas en la búsqueda de soluciones según la situación problemática, y así obtener las posibles soluciones que solventen las necesidades de la empresa. Luego, a decisión de los representantes de la empresa y encargados del proceso se seleccionara la propuesta más adecuada.

✓ **PASO III: Determinación de la capacidad de la estación de secado a diseñar.**

Una vez identificados los parámetros que intervienen en el proceso de secado, se procede a realizar una inspección del proceso productivo, obteniendo así que el tipo de producción se desarrolla en la empresa y la capacidad máxima de producción de tapas roscadas por jornada de trabajo; y por tal motivo la estación de secado a diseñar según su método de operación.

DISEÑO DEL SISTEMA TERMICO

a) Tiempo y Temperatura del Horno

Se procede a calcular el tiempo de secado o de permanencia del horno, el cual va a depender de las características del material y de la temperatura del horno. A través de las ecuaciones de Régimen Transitorio se calcula:

Por la ecuación 3.18, Se calcula el número de Biot

$$Bi = \frac{h Lc}{K} \quad (3.18)$$

Donde se necesita el h convectivo del aire circundante donde, h se puede calcular por las ecuaciones 3.37 y 3.38 Numero de Nusselt para Convección Natural y luego sustituir en la ecuación 3.25.

$$Nu_l = \frac{hc L}{K} \quad (3.25)$$

El número de Nusselt para flujo sobre una superficie horizontal calentada por la cara inferior.

$$Nu_l = 0.54 Ra^{1/4}, \quad 10^5 < Ra < 2 \cdot 10^7 \quad (3.37)$$

$$Nu_l = 0.14 Ra^{1/3}, \quad 2 \cdot 10^7 < Ra < 3 \cdot 10^{10} \quad (3.38)$$

Para determinar el número de Nusselt se requiere del Número de Rayleigh, el cual se consigue de la ecuación 3.27,

$$Ra = \frac{\beta \cdot t \cdot g \cdot L^3}{\nu \cdot \alpha} \quad (3.27)$$

Donde sus valores depende de las propiedades del Fluido (Aire) circundante. Estas propiedades las obtenemos del apéndice 1, para una temperatura de bulbo o

temperatura promedio. Sustituyendo en la ecuación conseguimos el número de bulbo.

Obtenido el h_i y obtenido el número de Biot, Si el número de Biot es menor del 10% se calcula el tiempo para alcanzar la temperatura adecuada, a través de la ecuación 3.14 o 3.15.

$$\ln \frac{T(t)-T_{\infty}}{T_{\text{inicial}}-T_{\infty}} = \frac{-hA}{\rho C_p V} t \quad (3.14)$$

Siendo t el tiempo mínimo requerido para que el elemento alcance $T(t)$ temperatura y $T_{\infty,i}$ es la Temperatura en el interior del Horno, quedando definida la temperatura de trabajo.

De esta misma manera repetimos el procedimiento para calcular el tiempo necesario para que las tapas vayan de $T_{\infty,i}$ a $T_{\infty,e}$ Pero en cuyo caso se utiliza para calcular Nusselt la ecuación 3.35 y 3.36.

El número de Nusselt para flujo sobre una superficie horizontal calentada por la cara superior.

$$Nu_l = 6.5 \left(1 + 0.38 \frac{L}{W} \right) [(1 + X)^{0.39} X^{0.39}] Ra^{0.13} \quad (3.35)$$

$$X = 13.5 Ra^{-0.16} + 2.2 \left(\frac{La}{L} \right)^{0.7} \quad (3.36)$$

$$10^6 < Ra < 10^{10}, \quad 0.7 < Pr < 4800, \quad 0 < La/L < 0.2$$

Obtenido los tiempos mínimos se procese de a determinar la Velocidad del Proceso para un determinado espacio físico que se contara para la fabricación del horno. Lo cual se obtiene.

$$V_{\text{proceso}} = \frac{L_{\text{Disponible}}}{t_{\text{Total}}} \quad [\text{m/s}]$$

El tamaño mínimo del Horno sería

$$Longitud_{\text{Horno}} = t_{\text{Horno}} \times V_{\text{proceso}} \quad [\text{m}]$$

b) Cáculo de Calor Absorbido

Para que las Tapas eleven su temperatura requieren absorber calor, el cual se lo proporciona el ambiente a su alrededor. Además de la cadena y el agua que se desear evaporar.

El calor que absorbe un elemento se conoce a partir de la ecuación 3.38,

$$Q = m \Delta T = m C_p \Delta T \quad (3.8)$$

En donde a través del flujo másico y el delta de entalpia o delta de temperatura con el calor especifico del material, podemos conocer la energía necesaria para que el elemento suba cierto delta de temperatura.

Realizamos la sumatoria de la energía de las Tapas, Agua y Cadena, para conseguir los Watt necesarios para elevar su temperatura a la temperatura necesaria.

c) Selección del Aislamiento y Perdidas Térmicas por Aislamiento

Con $T_{oo,i}$ o $T_{Trabajo}$ se procese a realizar el cálculo de transferencia de calor del interior del horno al exterior o medio ambiente, lo que representara las perdidas térmicas por aislamiento.

Como no conocemos la temperatura de la pared del interior del horno se procede a realizar un criterio de diseño el cual corresponde a selección $T_{s,i} = T_{oo,i}$, lo cual se realiza para obtener una aproximación de diseño y poder estimar un estado crítico para poder obtener un espesor de aislamiento de fibra de vidrio. Este espesor se obtiene a partir la transferencia de calor por conducción q corresponde a la ecuación 3.10, donde ya integrada para una pared plana se obtiene,

$$Q/A_t = \frac{T}{Rt} = \frac{T_{s,i} - T_{oo,e}}{\left(\frac{e_{acero}}{K_{acero}}\right) + \left(\frac{e_{aislante}}{K_{aislante}}\right) + \left(\frac{e_{acero}}{K_{acero}}\right) + \left(\frac{1}{h_{oo,e}}\right)} \quad [W/m^2]$$

Para poder conocer el $e_{aislante}$ necesitamos $h_{oo,e}$, lo cual se obtine a partir de la ecuación, 3.32, 3.33, 3.35, 3.37 y 3.38 de Convección Natural. Donde se calcula cada

una de los h y se realiza una sumatoria y se promedia, teniendo así un $\overline{h_{ext}}$ promedio para el exterior del horno.

Sustituyendo los valores en la ecuación obtenemos $e_{aislante}$. Este valor es el mínimo correspondiente para que cumpla la función o característica de seguridad de $T_{s,e}$ superior a este cumple la función.

Teniendo el valor mínimo de $e_{aislante}$ se busca el mayor inmediato y se recalcula para obtener así el verdadero valor de $T_{s,e}$, donde además obtenemos Q/A_t . El cual podemos evaluar si el valor es muy alto o no, para aumentar $e_{aislante}$ y disminuir las pérdidas.

Sacando el Área en m² del Horno y el valor obtenido en el procedimiento anterior podemos conseguir las pérdidas de calor por aislamiento. Lo cual se obtiene a partir de la siguiente ecuación,

$$Q_{Aislamiento} = \frac{Q}{A_t} \cdot A_{t.Horno} \quad [W]$$

d) Potencia Térmica Final o Potencia Quemador

Para la potencia final se realiza la sumatoria de las Q o energías, entre las cuales son la energía absorbida por Tapas, Cadenas, Agua y perdidas por aislamiento.

$$Potencia Quemador = Q = Q_{Tapas} + Q_{Cadena} + Q_{Agua} + Q_{Aislamiento} \quad [W]$$

e) Flujo de Combustible y de Aire.

Para conocer el flujo de combustible necesario para proporcionar los watt necesario se obtiene a partir de las ecuaciones de entalpia de formación o de combustión.

La ecuación de combustión para el Gas natural o Metano con un 20% de Aire de exceso es,



Con la ecuación de Reacción, podemos conocer la composición de la reacción de los reactivos y de los productos, donde conociendo los elementos y su entalpía de formación o de reacción de las tablas del ANEXO (///), conocemos la energía procedente de la combustión de un combustible. A partir de la ecuación,

$$Q_{\text{combustión}} = r (h_f + (h - h^*)) - p (h_f + (h - h^*)) \quad [\text{KJ/kmol}]$$

Los productos salen a una temperatura aproximada por combustión completa con exceso de aire a unos 1950°C. Para poder disminuir la temperatura y poder transportarlo de la cámara de combustión o de calderín se debe mezclar con aire ambiente, el cual la proporción de mezcla en una cámara de mezclado abierta se consigue por la siguiente ecuación,

$$m_2 = m_1 \times \frac{h_1 - h_3}{h_3 - h_2} \quad [\text{kg/s}]$$

Conociendo la proporción de aire se saca la proporción de Aire/combustible necesaria para Q_{quemador} a través de la ecuación de conservación de energía.

$$Q_{\text{quemador}} = Q_{\text{combustión}} \times m_1 - (Q_{\text{aire}} \times m_2) \quad [\text{Watts}]$$

De aquí queda definido el flujo másico total, realizando la sumatoria de m_1 y m_2 , y los flujos parciales de cada elemento.

f) Selección del ventilador y diseño de ductos.

El ventilador requerido se debe seleccionar con el valor del flujo volumétrico, determinado previamente, el cual se utiliza para sacar el área del ducto, a partir de la siguiente ecuación 3.6,

$$m = \rho V_{\text{flujo}} A_c \quad (3.6)$$

A partir de A_c se busca en la Tabla del apéndice 10, el área igual o mayor para seleccionar el tamaño del ducto (Cuadrado o rectangular) y el diámetro equivalente. Con el diámetro equivalente vamos a la gráfica del apéndice 9, donde con el diámetro equivalente y la velocidad promedio obtenemos las pérdidas por fricción.

Teniendo definido el diseño de la tubería se procede a calcular las pérdidas a través del método de Pérdida de carga Constante para sistema de baja velocidad.

Donde las pérdidas vienen dadas en mm.c.a y se obtienen a partir de la siguiente ecuación,

$$\text{equivalente) } \times f_r \quad [\text{mm.c.a}]$$

$L_{\text{equivalente}}$ se obtienen de la tabla en los apéndice 11, donde representan las perdidas en metros de accesorios o modificaciones en las conductos.

Con el valor de las pérdidas de presión estática, es el valor que debe vencer el flujo y dicho valor luego se utiliza en la selección del ventilador en catálogos comerciales, lo cual, la unidad de ventilación que sea capaz de cumplir con los requerimientos establecido. Tanto para los ductos principales como para los secundarios como son las chimeneas, se utiliza este procedimiento.

DISEÑO DE LOS SISTEMAS MECANICOS

g) Diseño y Selección de cadena Transportadora

i. Determinar la clasificación de la cadena transportadora.

Existen diferente tipos de sistemas de transporte, los cual depende su clasificación, para el transporte por cadena se selecciona una forma de estas, las cuales se pueden ver en el apéndice 12.

ii. Estimar la fuerza de empuje de la cadena.

Se sustituye en la ecuación conociendo los valores para calcular una fuerza de empuje para poder seleccionar una cadena tentativa.

$$P_m = f_1 X (2W + M) + MY + \frac{2}{c} X$$

- f_1 = Coeficiente de fricción. Para cadenas por deslizamiento o por rodillos.
- f_2 = Coeficiente de fricción. Materiales deslizando en la cadena.
- M = Peso del material cargado por pie: $M = (\text{TPH} \times 33.3) / S$
- W = Peso de la cadena por pies.
- H = altura del material a través de la cadena.
- C = Media del tamaño de la fricción.
- P_m = Máxima carga de empuje de la cadena
- HP = Potencia requerida en el eje.
- S = Velocidad de la cadena
- TPH = Capacidad en toneladas por hora: $\text{MS} / 33.3$.

- CFH = Capacidad en pie cubico por hora
- X=Distancia horizontal
- Y=Distancia vertical.

iii. Determinar el diseño de trabajo.

El valor de Pm es para una condición estática y no incluye consideraciones dinámicas, por ellos se deben tomar factores de seguridad que representen esos factores.

$$Carga\ de\ Trabajo = Pm \times Service\ Factor \times Speed\ Factor \times \frac{1.2}{\# \text{ Cadenas}}$$

iv. Hacer una selección de cadena tentativa.

Se busca en el catalogo el catalogo una cadena donde el esfuerzo de empuje sea mayor al de nosotros y que cumpla con las condiciones de trabajo.

v. Hacer una selección tentativa de condiciones de trabajo.

vi. Verificar la selección de la carga de trabajo con la capacidad de la cadena para ver si cumple con las condiciones.

Recalcular el Pm con los valores de la cadena seleccionada, usando los valores de peso y esfuerzo de la misma, para obtener una mayor precisión y verificar que la cadena cumpla con los requisitos.

vii. Calcular la potencia requerida en el eje.

$$HP = \frac{1.15 (S) (Pm)}{33.000}$$

viii. Seleccionar el engranaje y el eje.

El cual viene establecido por los esfuerzos, potencia y tipo de cadena.

ix. Seleccionar la distancia entre los rodillos inferiores.

El pando específico (Pando de la Catenaria), según manuales recomienda que no supere los 3%.

h) Diseño Mecánico

Se realiza a través de diseño asistido por computadora, en donde se realizara las piezas y ensambles en Inventor y se le realizara estudio estructural por elemento finito al diseño final, para comprobar cargas, esfuerzos y deformaciones.

✓ FASE IV: Selección de los elementos que conformarán la propuesta de la estación de secado.

En esta sección se describe la propuesta de diseño para la estación de secado de las tapas roscadas, así como también se establece la metodología a utilizar para determinar algunos parámetros indispensables para su dimensionamiento, a saber:

a) Unidad de calentamiento.

El calentamiento del aire se debe hacer mediante un quemador, el cual tiene como función permitir la combustión de Gas combustible, el mismo se encuentra en una cámara de combustión llamada Hogar donde se aloja la flama o llama y se mezcla con aire ambientes. Su selección depende principalmente del tipo de combustible a utilizar, después de la potencia requerida y posterior sus características especiales.

b) Selección del ventilador.

El ventilador requerido se debe seleccionar con el valor del flujo volumétrico, determinado previamente y con el valor de las pérdidas de presión estática, que debe vencer dicho flujo. Luego utilizando estos requerimientos se selecciona en catálogos comerciales la unidad de ventilación que sea capaz de cumplir con lo establecido. Dicho ventilador debe cumplir con las exigencias de temperatura y otras características mencionadas, las cuales se pueden encontrar por tablas o graficas características del ventilador.

c) Elementos de control.

La temperatura de la estación de secado debe ser medida y regulada por un sistema de control instalado en la estación de secado, para así garantizar un ambiente controlado para un secado adecuado y un sistema de seguridad que permita manejar y regular el uso de gas y otros componentes.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

El presente capítulo contiene los resultados obtenidos del desarrollo de las fases metodológicas del diseño de la investigación planteado en el capítulo IV, concebidas para alcanzar los objetivos específicos del presente trabajo de investigación.

5.1 Identificación de los parámetros que intervienen en el proceso de secado para las Tapas Roscadas

La investigación de campo proporciona una gran ventaja al describir el fenómeno estudiado tal como ocurre en la realidad. De acuerdo a los datos recolectados por el autor, durante dicha investigación, utilizando los instrumentos y equipos proporcionados por la empresa, se pudo determinar que las condiciones del sistema utilizado actualmente se pueden resumir en la información mostrada en la tabla 1

Tabla 1: Parámetros de Proceso de las Tapas Roscadas.

Parámetro	Característica	Nota:
Acero Tapas Roscadas	Espesor (mm) 3.6+- 0.04 D. Rockwell HR30T 48-68 Elongación (%) 25 +- 5 Propiedades Químicas <ul style="list-style-type: none"> · Carbono = 0.1% · Magnesio = 0.5% · Fosforo = 0.025% · Azufre = 0.035% 	Acero Laminado en Caliente ASTM A622.
Tapas Roscadas (Cilíndrica Hueca)	D. Exterior = 114mm D. Interior = 27.44mm Tolerancias = +-0.20mm	Masa = 220g.

Velocidad de Producción	30 Tapas por minuto.	
Flexibilidad del Procesos	Velocidad Cadena Transportadora. Temperatura Horno.	
Temperatura Horno	200°C	Temp. Máxima de 400°C.
Temperatura Final de los Elementos	100 – 110°C	
Emulsión	Anticorrosivo Ferrocote.	80% H2O de c/a.

Fuente: Departamento de Ingeniería de Filtros Wix. Venezuela.

El sistema actual cuenta con diferentes sistemas y elementos, entre los más resaltantes se pueden listar en la Tabla 2

Tabla 2: Sistema Actual de Fabricación de las Tapas Roscadas

Sistema Actual	Características	Nota:
Dimensiones Horno	15m x 1.2m x 3m	Largo x Ancho x Alto
Operación.	2 operadores Fijos. 2 sistemas de Paletizaje o de almacenamiento.	El control lo maneja el electricista o el ingeniero a cargo.
Automatización Componentes Electrónicos.	<ul style="list-style-type: none"> • Variador de Frecuencia para el motor de la cadena • Tren de Combustión de Gas por Relé de llama. • Quemador Eclipse. • Controlador UDC 1200 	
Térmico Mecánico	<ul style="list-style-type: none"> • Aislante por Fibra de Vidrio (Lámina y Fibra). 	

- Láminas de Acero de 1,5 y 3mm de espesor.
- Estructura con Vigas ANSI W 4x13
- Cadena Heavy Duty.
- Ventiladores Centrífugos y Axiales.

Por solicitud del Personal de Wix, pidieron seguir en lo posible las características de los Hornos que ellos poseen, para continuar con la estandarización de los procesos, facilitar el mantenimiento y manejo de los equipos.

5.2 Determinación de la capacidad de la estación de secado a diseñar.

En esta sección se muestra el desarrollo del sistema a diseñar, como lo son: la descripción y cálculos necesarios para el diseño de cada uno de los componentes y elementos que lo conforman, así como los procedimientos que se llevaron a cabo para su selección final. Los cálculos necesarios para el diseño de la cámara de precalentamiento se divide en dos: **los cálculos térmicos**, que abarca todo lo referente a los intercambios de energía térmica del sistema con el ambiente, como lo son: la potencia mínima que debe suministrar la fuente de calor a la carga, la estimación de pérdidas de calor, la determinación de espesores de pared, selección del material refractario y aislante, el diseño de los ductos y la determinación del tiro de la chimenea, **y los cálculos mecánicos**, los cual a su vez están dividido en el desarrollo del diseño CAD del horno y elementos del mismo, como también la simulación de la estructura y elementos del horno, y por último el diseño del sistema de transporte de las tapas roscadas.

5.2.1 Tiempo y Temperatura del Horno

Para determinar el tiempo y temperatura de trabajo del proceso, se requiere del uso de las ecuaciones y estudios de transferencia de calor en estado transitorio, donde el coeficiente convectivo de las tapas roscadas es un valor que se requiere, el cual se tomó como una pieza plana, cuya geometría se adaptaban a los modelos matemáticos establecidos en la bibliografía consultada. Dichos modelos permiten el cálculo de un coeficiente convectivo local, para luego obtener un valor promedio de este coeficiente alrededor de la tapa de acero.

Una vez establecidos los factores que influyen durante el precalentamiento de las tapas roscadas, se determina el coeficiente convectivo promedio, con este y la geometría del aluminio primario a precalentar se procede a definir el régimen de transferencia de calor del cuerpo a través del número de Biot.

$$\text{No Biot} = \frac{h Lc}{K} \quad (3.18)$$

Siendo Lc la longitud corregida del acero, definiéndose como:

$$Lc = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area}} \quad (3.19)$$

Para establecer el coeficiente convectivo promedio es necesario establecer primeramente los coeficientes convectivo locales, desarrollados en la sección anterior y que presenta para la temperatura de película igual a 410.5°k, la cual se muestra en la tabla 3 de propiedades térmicas del aire:

Tabla 3 : Propiedades Térmicas del Aire a 410°C

T °K	k	p	Cp	U	v	Pr
410.5	3.371E-02	7.966E-01	1.010E+03	2.292E-05	2.674E-05	6.900E-01

Posteriormente a fin de establecer el estado del aire que se encuentra en contacto con las tapas, se procede al cálculo del Número de Rayleigh mediante la siguiente ecuación:

$$Ra = \frac{\beta t g L^3}{v \alpha} \quad (3.27)$$

Con el número de Rayleigh, se determina el número de Nusselt correspondiente a la configuración de flujo en estudio.

El número de Nusselt para flujo sobre una superficie horizontal calentada por la cara inferior.

$$Nu_l = 0.54 Ra^{1/4}, \quad 10^5 < Ra < 2 \cdot 10^7 \quad (3.37)$$

$$Nu_l = 0.14 Ra^{1/3}, \quad 2 \cdot 10^7 < Ra < 3 \cdot 10^{10} \quad (3.38)$$

Finalmente se obtiene el coeficiente convectivo local mediante la siguiente ecuación:

$$Nu_l = \frac{hc L}{K} \quad (3.25)$$

Por último, ya determinado el coeficiente convectivo local, se procede a calcular el número de Biot.

Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4: Resultados obtenidos del Análisis Térmico

Ecuación	Resultado	Unidad
Biot	2.62E-04	
Lc	0.001802879	m
Ra	1.8388E+06	
Nu _l .	2.1818E+01	
h	8.54393525	W/m ² *k

Dado que Biot resulto menor que 0.1 se puede asumir que el cuerpo se encuentra en estado uniforme. Como método para evaluar la veracidad de los cálculos realizados, se determina el tiempo de precalentamiento teórico de las tapas roscadas de acero para este sistema, mediante la ecuación (3.14).

$$t = \frac{Ln \left(\frac{T(t) - T}{T_{inicial} - T} \right)}{\frac{h A}{Cp V}}$$

Siendo t el tiempo mínimo requerido para que el elemento desde $T_{\text{inicial}}=40^{\circ}\text{C}$ alcance los 110°C , y $T = T_{\text{oo},i}$ es la Temperatura en el interior del Horno la cual se definió en 200°C , quedando definida el tiempo dentro del horno.

$$t = 463,08 \text{ s} = 7,71 \text{ min}$$

De esta misma manera repetimos el procedimiento para calcular el tiempo necesario para que las tapas vayan de $T_{\text{inicial}}=110^{\circ}\text{C}$ a $T_{(t)} = 60^{\circ}\text{C}$, con $T = T_{\text{oo},e} = 30^{\circ}\text{C}$. Pero en cuyo caso se utiliza para calcular Nusselt la ecuación 3.35 y 3.36 y la tabla 5.5 como las propiedades.

Tabla 5: Propiedades del Aire a 330.5 K

T °K	k	p	Cp	u	v	Pr
330.5	2.874E-02	1.071E+03	1.006E+03	1.973E-05	1.842E-05	0.69

Se muestran los resultados en la siguiente tabla.

Tabla 6: Resultados obtenidos del Análisis Térmico

Ecuación	Resultado	Unidad
Biot	2.32E-04	
Lc	0.001802879	m
Ra	2.1181E+06	
Nu_l	1.7980E+01	
h	6.001897294	W/m ² *k
t	893.886839	s

5.2.2 Calor Absorbido

El calor disponible en la cámara de calentamiento, o la carga térmica, es el resultado de la suma del calor que absorben los componentes internos cuando cambian su temperatura, como también de las pérdidas provenientes del aislamiento y entre otras cosas, en este caso. Para que las Tapas eleven su temperatura requieren absorber calor, el cual se lo proporciona el ambiente a su alrededor. Además de la cadena y el agua que se desear evaporar.

El calor que absorbe un elemento se conoce a partir de la ecuación 3.38,

$$Q = m \dot{c} = m C_p T \quad (3.8)$$

Donde los Flujos Másicos son:

Tabla 7: Flujos Másicos

Elemento		Magnitud	Unidad
Cadena	c	0.0345515	kg/s
Tapa	t	0.11	kg/s
Agua	w	0.0144551	kg/s

Los Cp y h las tomamos de las siguientes tablas.

Tabla 8: Propiedad del Acero

Propiedad	Magnitud	Unidad
p	7832	kg/m ³
Cp	487	J/kg-K
K	58.7	W/m-K
	1.538E-05	m ² /s

Tabla 9: Propiedades del Agua

Propiedad	Magnitud	Unidad
Cp 30	4.178	Kj/kg*k
Cp 100	4.229	Kj/kg*k
hfg	2257	KJ/kg

En donde a través del flujo másico y el delta de entalpia o el calor específico del material, multiplicado por el delta de temperatura, conocemos la energía necesaria para que el elemento suba cierto delta de temperatura. Lo cual tenemos por resultados

Tabla 10: Potencia absorbida por elemento

Elemento	Q	Potencia en KW	Potencia en KBTU/h
Cadena 40-100°C	Q _c	121.690378 kw	416.1810923 kBTU/h
Tapa de 40-110°C	Q _t	451.99 kw	1545.8058 kBTU/h
Agua de 30-100°C	Q _{w1}	4.25335557 kw	14.54647605 kBTU/h
Agua para evaporarse	Q _{w2}	32.6252732 kw	111.5784344 kBTU/h

Realizamos la sumatoria de la energía de las Tapas, Agua y Cadena, para conseguir los Watt necesarios para elevar su temperatura a la temperatura necesaria.

$$\text{absorbida} = 610.5590 \text{ kw}$$

$$= 2.09\text{E}+03 \text{ kBTU/h}$$

5.2.3 Selección del Aislamiento y Perdidas Térmicas por Aislamiento

Las pérdidas de calor consideradas en el diseño de la cámara de precalentamiento son las pérdidas a través del techo, la puerta y las paredes del horno. Por tal razón a continuación se definen los materiales que conformaran la cámara de precalentamiento y sus respectivos espesores:

En cuanto al material aislante se utilizará un sistema de aislante en bloque o fibra, el cual se muestra en el Anexo (///), debido a las altas temperaturas de trabajo, a la baja conductividad, la durabilidad, la capacidad de disminuir la temperatura a las recomendadas para el exterior del horno y principalmente a la disponibilidad en el mercado.

Por último la carcasa de acero de la cámara de precalentamiento tendrá un espesor de 3 mm que es lo que usualmente usan los hornos industriales y de 1,5mm en el exterior.

Para determinar el espesor de la capa de manta aislante se debe tomar en cuenta el espesor de las capas de acero que conforma las paredes, además del coeficiente convectivo en el interior y exterior del horno, y después de conocidos estos valores se procede a calcular el espesor de la manta aislante óptimo para cumplir con los requerimientos del sistema haciendo uso de la siguientes ecuaciones,

Se requiere de un sistema de ii ecuaciones debido a que tenemos dos incógnitas. Realizando el circuito de calor desde la Pared internar hasta la superficie externa para la ecuación i y desde la superficie externa al ambiente como la ecuación ii. Las propiedades para las dos láminas de acero se consideran iguales. Además, se tomó el criterio de $-o_o.i = oo$, es decir, la superficie interna posee la misma

temperatura del ambiente interno, esto debido a que no conocemos el delta de temperatura entre la superficie y el ambiente, debido a que es un diseño y no se conoce las condiciones internas del horno. Para resolver el sistema de ecuaciones se cuenta con las siguientes ecuaciones.

$$Q/A_t = \frac{T_{s,i} - T_{s,e}}{\left(\frac{e_{acero}}{K_{acero}}\right) + \left(\frac{e_{aislante}}{K_{aislante}}\right) + \left(\frac{e_{acero}}{K_{acero}}\right)} \quad (i)$$

$$Q/A_t = \frac{T_{s,e} - T_{oo,e}}{\left(\frac{1}{h_{oo,e}}\right)} \quad (ii)$$

Para una $T_{s,i} = 200 \text{ C}$ y $T_{s,e} = 40 \text{ C}$, como consideraciones de diseño.

$$e_{Aislante} = \frac{\left\{ \frac{(T_{s,i} - T_{s,e})}{Q/A_t} - \left[2 \left(\frac{e_{acero}}{K_{acero}} \right) \right] \right\}}{k_{Aislante}} \quad (1) \text{ y } (2)$$

A través de la tabla 5.11 de propiedades del aire y las ecuaciones para convección natural antes mencionadas, obtenemos el siguiente $-oo,e$.

Tabla 11: Tabla de Propiedades del Aire a T = 308 K

T °K	k	p	Cp	uE-6	vE-6	Pr
308	2.656E-02	1.184E+03	1.005E+03	1.834E-05	1.548E-05	0.69

Posteriormente a fin de establecer el estado del aire que se encuentra en contacto con las superficies del horno, se procede al cálculo del Número de Rayleigh mediante la ecuación 3.27.

Con el número de Rayleigh, se determina el número de Nusselt correspondiente a las configuraciones de flujo en estudio, entre las cuales son: Nusselt para una pared Vertical (3.32, 3.33 y 3.34) y para una pared Horizontal (3.35, 3.36, 3.37 y 3.38).

Tabla 12: Resultados de Nusselt y h convectivo externo a Temperatura ambiente.

Para un Rayleigh					Ra= 9.166E+08
	Ecuación		h= $h_{oo,e}$	Unidad	Para Ra entre los intervalos
H	3.35	1.031E+02	4.037E+01	W/m2*k	10^5 - Ra - 2x10^7
	3.36	1.360E+02	5.326E+01	W/m2*k	2x10^7 - Ra - 3x10^10
	3.37	5.145E-01			
	3.38	5.300E+01	2.076E+01	W/m2*k	10^6 - Ra - 10^10
V	3.34	2.402E+00			
	3.33	1.458E+02	5.710E+01	W/m2*k	Ra - 10^9
	3.32	1.967E+02	7.702E+01	W/m2*k	10^9 - Ra - 10^12
Para un h promedio $h_{oo,e}$=			65,5578	W/m2*k	

Conocido $h_{oo,e}$ calculamos $e_{Aislante}$.

$$e_{Aislante} = 12.20 \text{ mm}$$

Conocido ya el $e_{Aislante}$ se procede buscar un espesor de aislante igual o mayor al dado, el cual satisface el requisito de $T_{s,e} \leq 40^\circ\text{C}$, al recalculer $T_{s,e}$ para un espesor de aislante nos encontramos con una ecuación implícita, la cual la resolvemos a través de solver, mediante la ecuación.

$$\frac{T_{s,e}}{T_{s,i}} = \frac{T_{oo,e}}{T_{s,e}} = \frac{1}{\left[\left(\frac{e_{acero}}{K_{acero}} \right) + \left(\frac{e_{aislante}}{K_{aislante}} \right) + \left(\frac{e_{acero}}{K_{acero}} \right) \right]_{-oo,e}}$$

Para un $T_{s,i} = 200^\circ\text{C}$ y espesor de Aislante igual a 4in.

$$T_{s,e} = 31.239^\circ\text{C}$$

Con el valor de la temperatura de superficie se puede calcular la transferencia de calor por unidad de área a través de la ecuación 3.10.

$$Q/A_t = 5.444\text{E}+03 \text{ w/m}^2$$

Con las dimensiones del horno sacamos los metros cuadrados para calcular las pérdidas por aislante, multiplicándolo por Q/A_t .

- Largo del Horno: 4 m
- Alto: 1 m
- Ancho: 2m

$$\text{Área Totales} = 44\text{m}^2$$

Perdidas relacionadas a la Transferencia de Calor por los Aislamiento.

$$Q_{\text{Aislante}} = 2.396\text{E}+05 \text{ W} = 239.557 \text{ KW}$$

$$= 8.193\text{E}+05 \text{ BTU} = 819.285 \text{ KBTU}$$

5.2.4 Sumatoria de Potencia Térmica.

Para la potencia final se realiza la sumatoria de las Q o energías, entre las cuales son la energía absorbida por Tapas, Cadenas, Agua y perdidas por aislamiento.

$$\text{Potencia Quemador} = Q = Q_{\text{Tapas}} + Q_{\text{Cadena}} + Q_{\text{Agua}} + Q_{\text{Aislamiento}} \quad [\text{W}]$$

$$\text{Potencia Quemador} = 850.12 \text{ KW}$$

$$= 5292.80 \text{ KBTU/h}$$

5.2.5 Flujo de Combustible y de Aire.

Para conocer el flujo de combustible necesario para proporcionar los Watt necesario se obtiene a partir de las ecuaciones de entalpia de formación o de combustión.

La ecuación de combustión para el Gas natural o Metano con un 20% de Aire de exceso es,



Con la ecuación de Reacción, podemos conocer la composición de la reacción de los reactivo y de los productos, donde conociendo los elementos y su entalpia formación o de reacción de las tablas del ANEXO (///), conocemos la energía procedente de la combustión de un combustible. A partir de la ecuación,

$$Q_{\text{combustible}} = r (h_f + (---)) - p (h_f + (---)) \quad [\text{KJ/kmol}]$$

$$--- = h - h^*$$

Tabla 13: Tabla de Combustión del Metano.

Sustancia	Kmol	h formacion	h temp	h referencia	Unidad
-----------	------	-------------	--------	--------------	--------

Reactivos				T = 303	r (hf + —)
CH4	1	-74850	0	0	-74850 KJ/Kmol
O2	2.4	0	8723	8682	98.4 KJ/Kmol
N2	9.24	0	8736	8669	619.08 KJ/Kmol
reactivos=					-74132.52 KJ/Kmol
Productos				T = 2233 K	p (hf + —)
CO2	1	-393520	114948.7	9364	-287935.3 KJ/Kmol
H2O	2	-241820	94670.52	9904	-314106.96 KJ/Kmol
N2	9.24	0	73238.56	8669	596622.7344 KJ/Kmol
O2	0.4	0	76746.58	8682	27225.832 KJ/Kmol
pproductos=					21806.3064 KJ/Kmol
				$Q/$	$r (hf + (—)) - p (hf + (—))$
				combustible=	95938.826 KJ/kmol
				combustion=	95.939 MJ/kmol
				combustion=	5981.224 KJ/kg
				combustion=	5.981 MJ/kg

Los productos salen a una temperatura aproximada por combustión completa con exceso de aire a unos 1940°C. Para poder disminuir la temperatura y poder transportarlo de la cámara de combustión o de calderin se debe mezclar con aire ambiente, el cual la proporción de mezcla en una carama de mezclado abierta se consigue por la siguiente ecuación,

$$2 = 1 \times \frac{h_1 - h_3}{h_3 - h_2} \quad [\text{kg/s}]$$

Conociendo la proporción de aire se saca la proporción de Aire/combustible necesaria para Q_{quemador} a través de la ecuación de conservación de energía.

$$Q_{\text{quemador}} = h_{\text{combustion}} \times 1 \quad 2) \quad [\text{Watts}]$$

Las propiedades del Aire a Temperatura ambiente y a 1960°C las encontramos en la siguiente tabla.

Tabla 14: Entalpia del Aire a T = K

T °K	h = KJ/Kmol	T = KJ/kg
300	300.19	
305	305.22	

303	303.5098	18.922
470	472.24	
480	482.49	
473	479.005	29.863155

Conociendo las entalpías en cada uno de los estados podemos sacar la relación de energía.

$$\begin{aligned}
 \dot{m}_2 &= 543.9454834 * \dot{m}_1 && [\text{kmol/s}] \\
 \dot{m}_2 &= 33.91181318 * \dot{m}_1 && [\text{kg/s}] \\
 &= \frac{m_2}{m_1} \\
 \dot{m}_1 &= \frac{Q_{\text{quemador}}}{-(C_p \times \Delta T \times \tau) + h_{\text{combustion}}} && [\text{kmol/s}] \text{ o } [\text{kg/s}]
 \end{aligned}$$

De aquí queda definido el flujo másico total, realizando la sumatoria de m_1 y m_2 , y los flujos parciales de cada elemento.

$$\begin{aligned}
 \dot{m}_1 &= 0.1871 \text{ kg/s} \\
 \dot{m}_2 &= 6.346914556 \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

$$\text{Caudal}_{\text{Total}} = 6.534073954 \text{ kg/s}$$

5.2.6 Selección del ventilador y diseño de ductos.

El ventilador requerido se debe seleccionar con el valor del flujo volumétrico o flujo másico, determinado previamente, el cual se utiliza para sacar el área del ducto, a partir de la siguiente ecuación 3.6,

$$A_c = \frac{m_{\text{Total por el ducto}}}{V_{\text{flujo}}} \quad (3.6)$$

Obtenido A_c , se busca en la Tabla del apéndice 10.1, el área igual o mayor para seleccionar el tamaño del ducto (Cuadrado o rectangular) y el diámetro equivalente.

Para determinar las dimensiones de las otras secciones de los conductos se debe conocer cuál es el camino con mayor pérdida, el cual se utilizara para realizar

los cálculos como un camino crítico, el cual al satisfacer este sistema también lo realizara con los demás. De Acuerdo con esto se puede buscar los tamaños del conducto de los ramales, los cuales se consiguen mediante la siguiente ecuación.

$$A_{ramal} = (\%Area) A_p$$

Siendo A_p el área de la sección anterior y (%Área) el porcentaje obtenido de la tabla del apéndice 8, el cual relaciona la sección con el porcentaje de flujo debido a la reducción de caudal en un tramo.

Con el diámetro equivalente vamos a la gráfica del apéndice 9, donde con el diámetro equivalente y la velocidad promedio se obtiene el coeficiente de fricción por metro.

Teniendo definido el diseño de la tubería se procede a calcular las pérdidas a través del método de Perdida de carga Constante para sistema de baja velocidad. Donde las pérdidas vienen dadas en mm.c.a y se obtienen a partir de la siguiente ecuación,

$$L_{equivalente}) \times f_r \quad [mm.c.a]$$

$L_{equivalente}$ se obtienen de la tabla en el apéndice 11, donde representan las pérdidas en metros de accesorios o modificaciones en los conductos. Donde seleccionado el tipo de ducto y el tamaño, se busca las perdidas equivalentes, para luego sustituirlo en la ecuación y dar como resultado.

Tabla 15: Resultados del diseño de Conductos

Ecuación		Resultado	Unidad
Obtenido de la parte 5.2.5	Caudal:	8.668294823	m3/s
		31205.86136	m3/h
		18.364.65	Ft3/min
Diseño 3.6	Velocidad de Diseño	15	m/s
	Área de la Sección Principal	0.346731793	m2

Tabla Apéndice 10	Diámetro Semejante	666	m2
	L1 = Ancho	600	mm
	L2 = Alto	600	mm
$A_{ramal} = (\% \text{ Área}) * A_p$			
	Sección Principal=	0.346731793	m2
Tabla Apéndice 8	% Reducción	0.58	
Ramal 2	Sección Secundaria	0.20110444	m2
Tabla Apéndice 8	% Reducción	0.58	
Ramal 3	Sección Terciaria	0.116640575	m2

Tabla 16: Resultados del diseño de Conductos

fr =Factor de Fricción obtenido del Apéndice 9		5
Lista de Restricciones	Resultado	Unidad
1 Codo de 90* r/d=1.25	3.74	m
2 Codo de 90* r/d=1.25	3.74	m
3 Codo de 90* r/d=1.25	3.74	m
4 Codo de 90* r/d=1.25	3.74	m
		m
5 Metros de Conductos	4	m
Perdidas en los Conductos (m)=		22.96 m
Perdida = (equivalente) x fr		
Perdida =		114.8 mm.c.a
Perdidas=		4.519685039 in.c.w
Factor de Corrección		1.75
Presión Corregida		7.909448819 in.c.w

El valor de las pérdidas de presión estática, es el valor que debe vencer el flujo; y dicho valor luego se utiliza en la selección del ventilador en catálogos comerciales, lo cual, la unidad de ventilación que sea capaz de cumplir con los requerimientos establecido. Tanto para los ductos principales como para los secundarios, como son para las chimeneas, se utiliza este procedimiento.

Tabla 17: Resultados del diseño de Conductos

Ecuación	Resultado	Unidad	
Obtenido de la parte 5.2.5 entre 2	Caudal:	4.35 m3/s	
		15660 m3/h	
		9215.91 Ft3/min	
Diseño 3.6	Velocidad de Diseño	15 m/s	
	Área de la Sección Inicial	0.29 m2	
Tabla Apéndice 10	Diámetro Semejante	612 m2	
	L1 = Ancho	550 mm	
	L2 = Alto	550 mm	
	$A_{ramal} = (\% \text{Área}) * A_p$		
	Sección Principal=	0.29 m2	
	fr = Factor de Fricción obtenido del Apéndice 9	0.25	
	Lista de Restricciones	Resultado	Unidad
	Longitud del Conducto	15	m
	Perdidas en los Conductos (m)=	15	m
	Perdida =	equivalente) x fr	
	Perdida =	3.75	mm.c.a
	Perdidas=	0.147637795	in.c.w
	Factor de Corrección	1.75	
	Presión Corregida	0.258366142	in.c.w

DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

5.3 Diseño y Selección de cadena Transportadora

Ya obtenida la información Térmicas y dimensionales anteriormente realizadas, se puede realizar el cálculo del sistema de transporte para el sistema de acuerdo a los procedimientos, ecuaciones y características que dispone el proveedor Rexnord,

donde además de ser fabricante de cadenas, también fabrica múltiples sistemas de transporte.

Para Determinar la clasificación de la cadena transportadora entre los diferentes tipos de sistemas que existen, los cual depende de sus características para el transporte y componentes que lo conforman, se selecciona la más adecuada para el trabajo a realizar y con un menor costo de mantenimiento, las cuales se pueden ver en el apéndice 12.1, las clasificaciones, y seleccionar la deslizante (sliding) la cual es la más adecuada para trabajar en hornos a altas temperaturas y además, esta misma cadena se utiliza en otros sistemas de transporte en la empresa.

Se sustituye en la ecuación de Pm (fuerza de empuje), conociendo los valores para calcular un fuerza de empuje (Pm) para poder seleccionar una cadena tentativa.

$$Pm = f_1 X (2W + M) + MY + \frac{2}{c} X$$

El valor de Pm es para una condición estática y no incluye consideraciones dinámicas, por ellos se deben tomar factores de seguridad que representen esos factores. Los cuales se obtienen del apéndice 12.3 y 12.4 y se sustituye en la siguiente ecuación.

$$Carga\ de\ Trabajo = Pm \times Service\ Factor \times Speed\ Factor \times \frac{1.2}{\# Cadenas}$$

Obtenida la carga de trabajo se busca en el catalogo una cadena donde el esfuerzo de empuje sea mayor al de nosotros y que cumpla con las condiciones de trabajo, se observa en el apéndice 13. Luego se calcula la potencia necesaria requerida por el motor para mover la cadena con la siguiente ecuación.

$$HP = \frac{1.15 (S) (Pm)}{33.000}$$

Seleccionar el engranaje y el eje. El cual viene establecido por los esfuerzos, potencia y tipo de cadena, y el tipo de catalina se encuentra el número del engranaje, en el apéndice 13.

Seleccionar la distancia entre los rodillos inferiores. El pandeo específico (Pandeo

Tabla 20: Selección de Elementos

de la Catenaria), según manuales recomienda que no supere los 3% y se selecciona en el apéndice 14. Lo cual da como resultado.

Tabla 18: Valores Seleccionados

Variable	Valor	Unidad
f1	0.5	
f2	0.5	
M	181.2664	Lb/ft
W	6	Lb/ft
h	5	in
c	27	
S	1.64042	ft/min
P1	40	lbs
X	328.084	in
Y	0	in

Tabla 19: Valores Seleccionados Para Factores de Trabajo

Factores de Diseño	
Fs Trabajo	1.4
Fs Temperatura	1.1
Fs Velocidad	1

Ecuación	Resultado	Unidad
Pm	32007.58889	Lbs
Carga de Trabajo	59150.02	Lbs
Potencia	1.829750676	HP
Tipo de Cadena	WH82	
Numero de Eslabones de Cadena	9	
Ancho de la Cadena	61.595	cm
Engranaje	WH82-103	
Distancias de Centro de rodillos inferiores	100	cm
Sistema de Cadena para catalina	# 60 (18-27)	

5.4 Diseño y Simulación del Prototipo.

Se realizó a través de diseño asistido por computadora, en donde se realizaron las piezas y ensambles en Inventor y los estudios estructurales por elemento finito al diseño final, para comprobar cargas, esfuerzos y deformaciones por medio del Software ANSYS Works Bench.

La estructura tiene como cargas, su propio peso y de los elementos q lo conforman por efecto de la gravedad, también se le incluyen 4 cargas de 100kg para suponer el peso de algún trabajador sobre las láminas de acero superior por algún mantenimiento.

Al realizar el diseño en inventor y ser aprobado por la empresa o autoridades de la misma, las cuales se muestran en las figura 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4; se le realizo la simulación estructural por Ansys, donde se analizó la estructura principal (la cual contenía 166piezas) de acuerdo a las condiciones de mallados mostradas en la figura 5.5; el cual dio como resultado un factor de seguridad mínimo de 4.8, y se muestra en la figura 5.8 y 5.9.

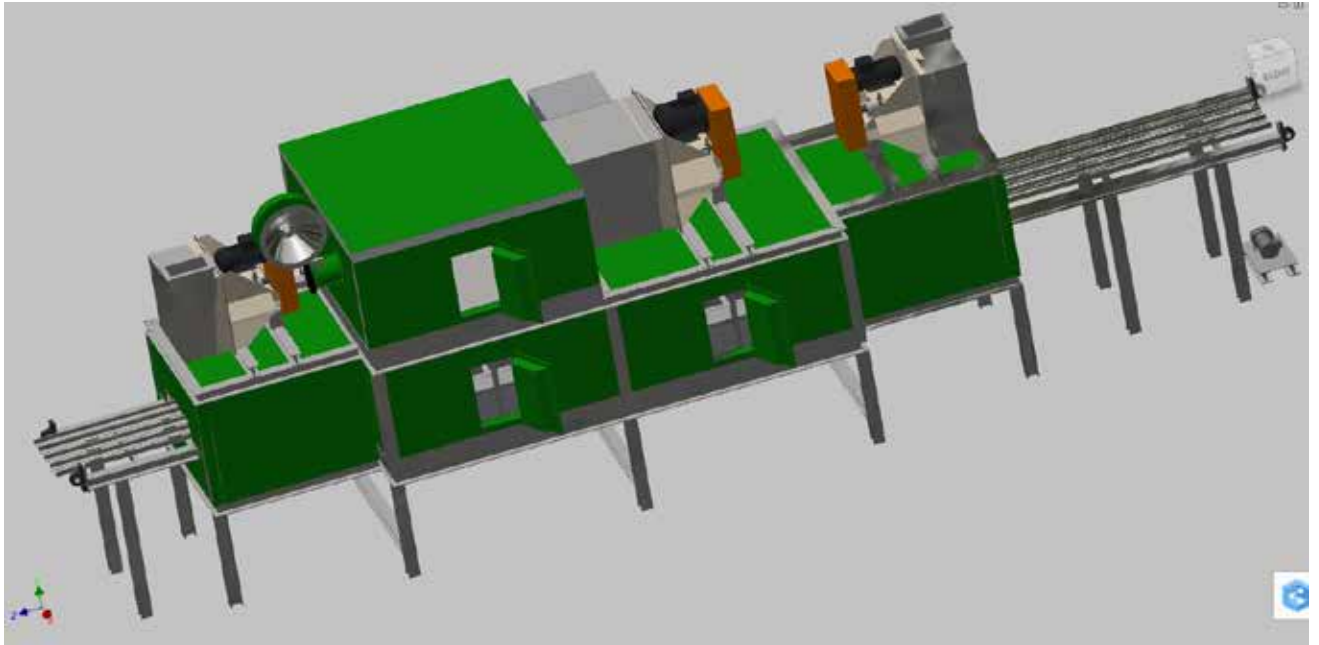


Figura 1: Isometría del Diseño del Horno de Secado realizado en Inventor.

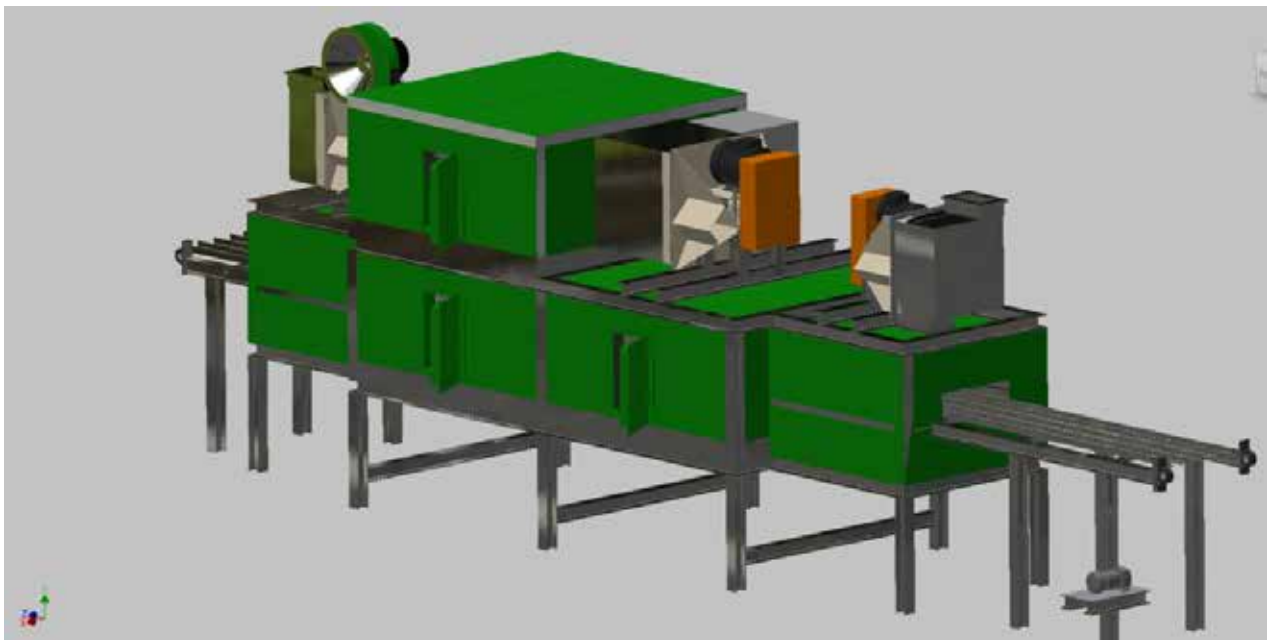


Figura 2: Isometría del Diseño del Horno de Secado realizado en Inventor.

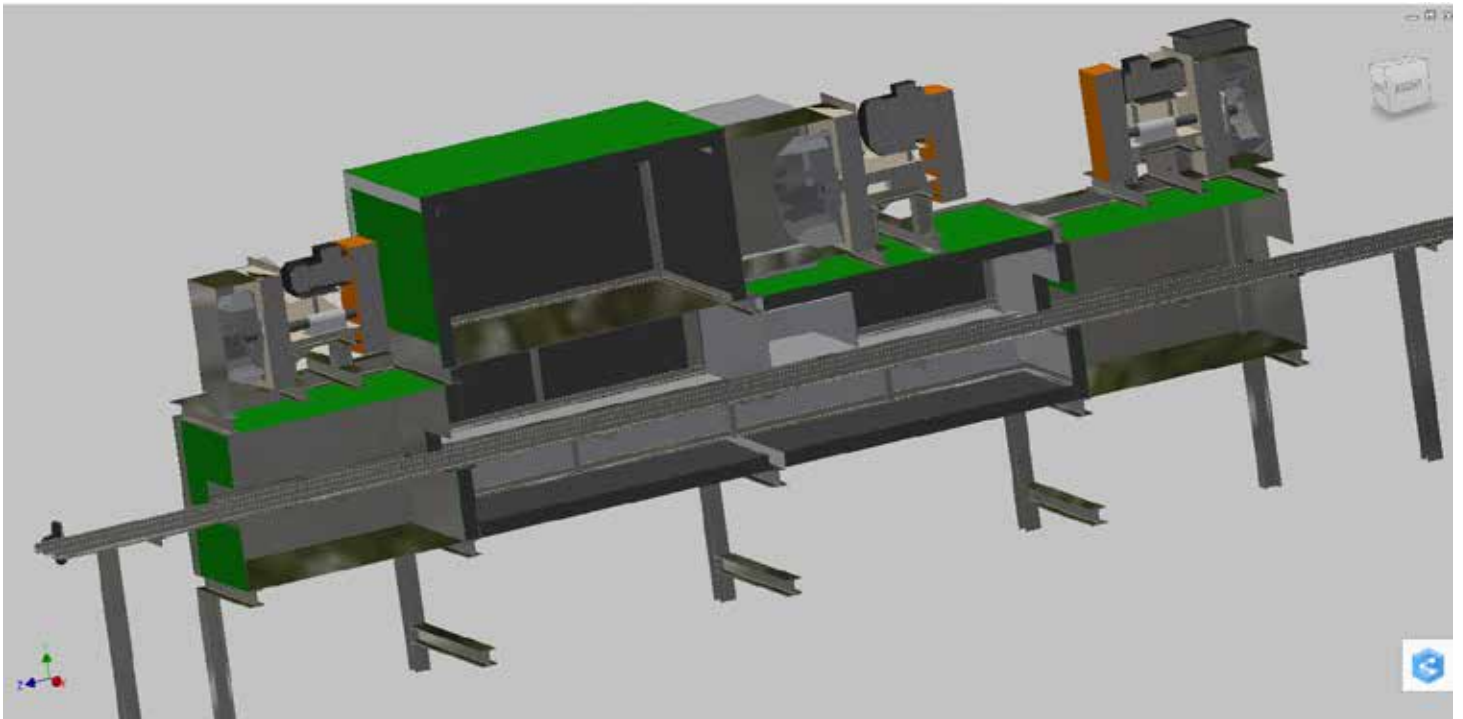


Figura 3: Isometría con Corte Longitudinal al Diseño del Horno de Secado realizado en Inventor.

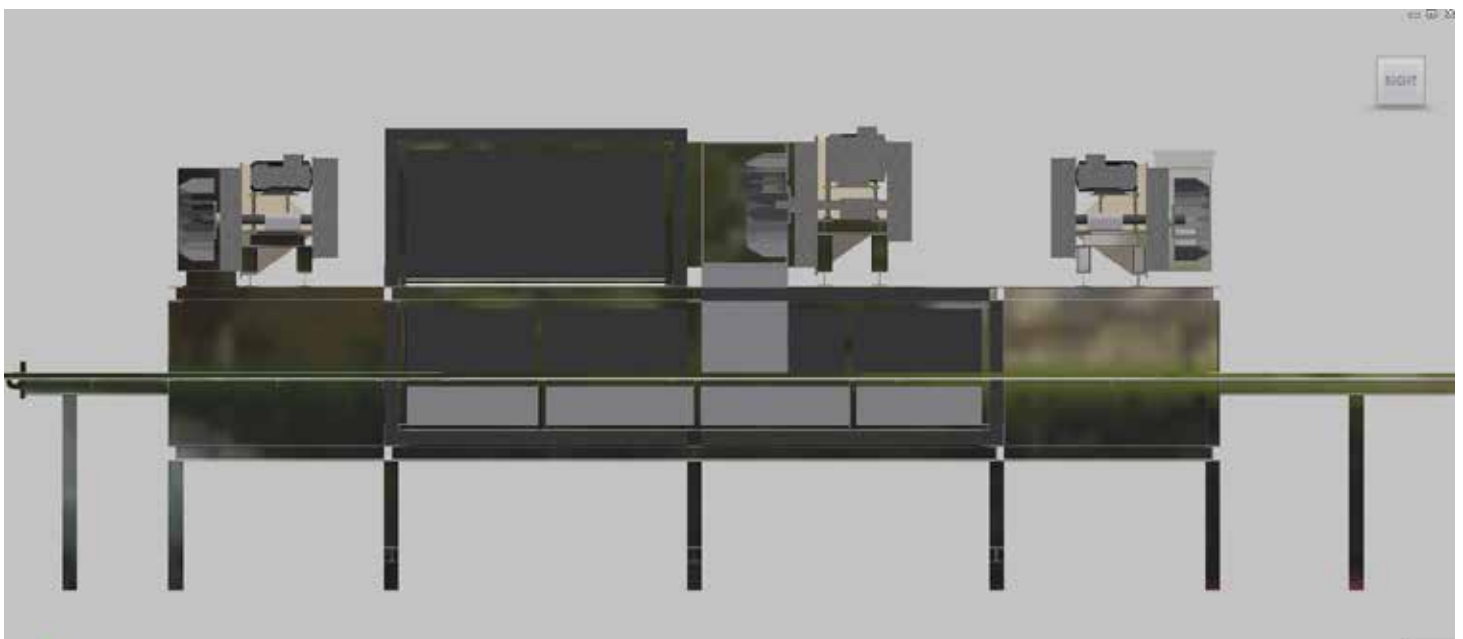


Figura 4: Vista Lateral del Diseño del Horno de Secado realizado en Inventor.

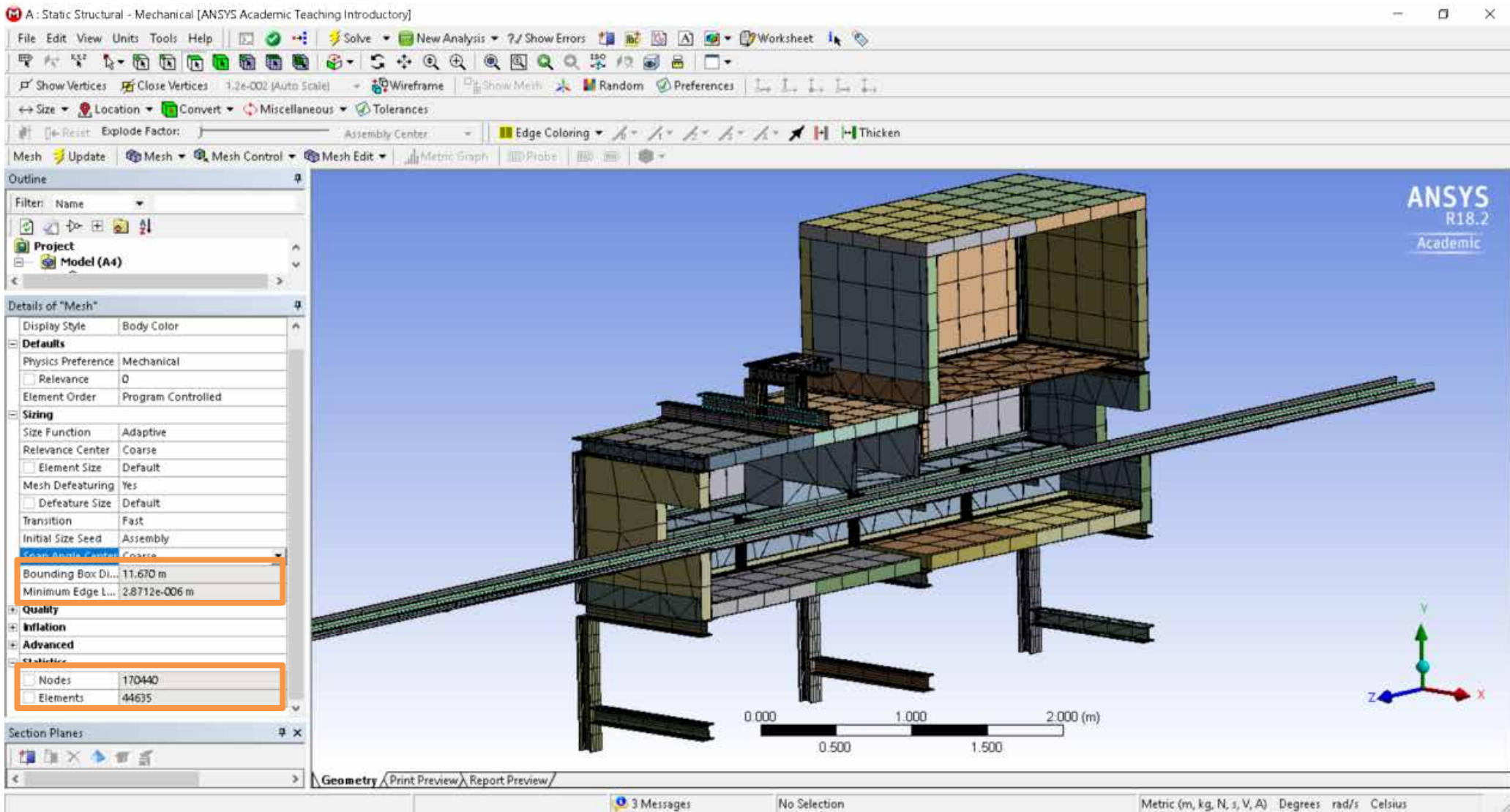


Figura 5: Isometría con Corte Longitudinal del Diseño del Horno de Secado realizado en Inventor y Exportado a Ansys. Se muestra el mallado cubico y las configuraciones de mallado (Elementos y nodos) para este diseño.

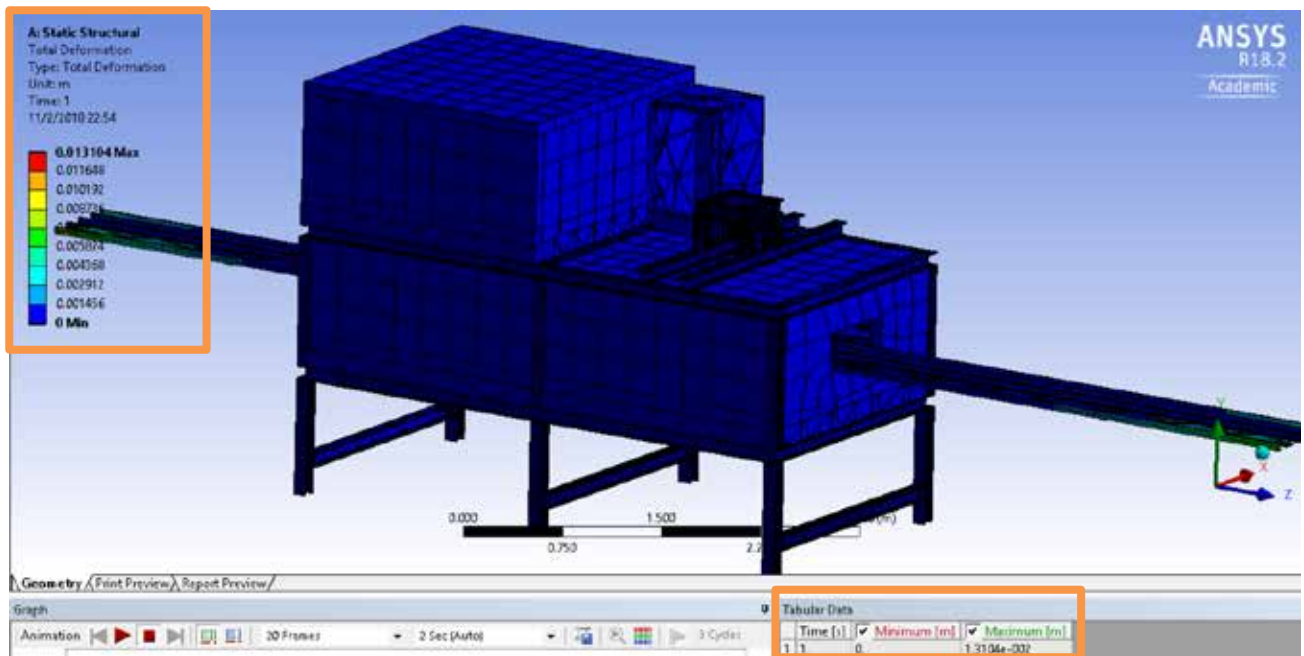


Figura 6: Simulación Estructura Estática en Ansys. Resultados de la Deformación. Isometría del Diseño del Horno de Secado.

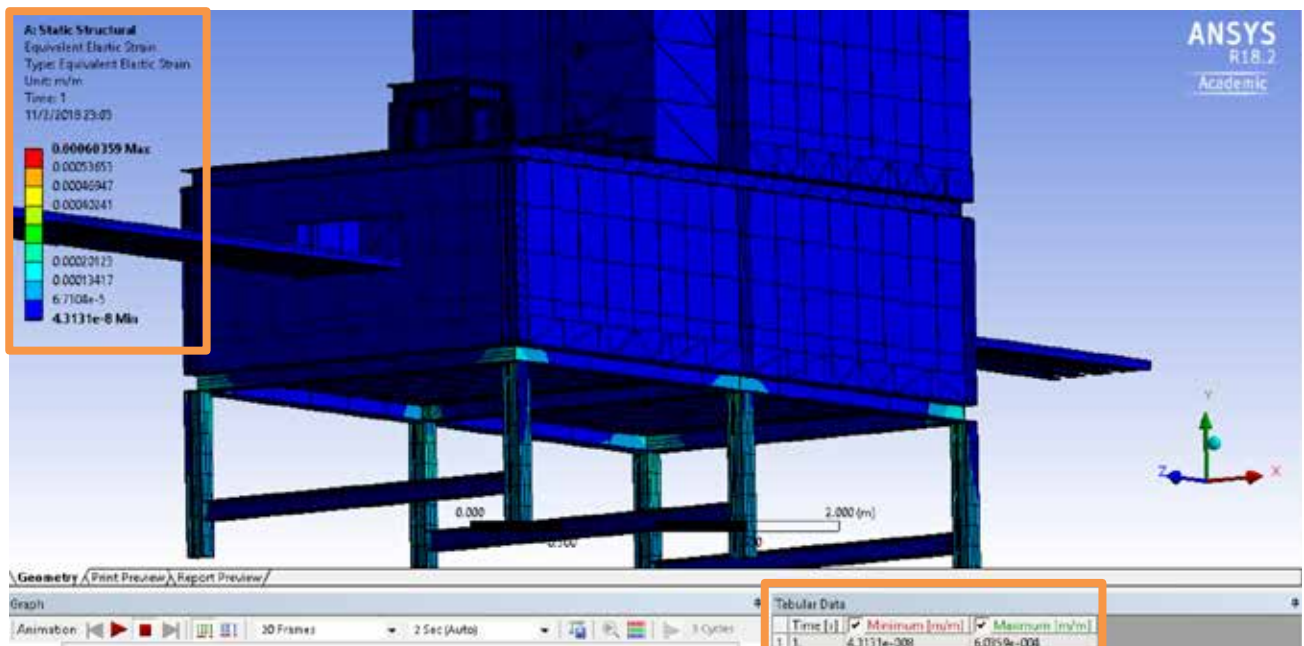


Figura 7: Simulación Estructura Estática en Ansys. Resultados de la tensión elástica. Isometría del Diseño del Horno de Secado

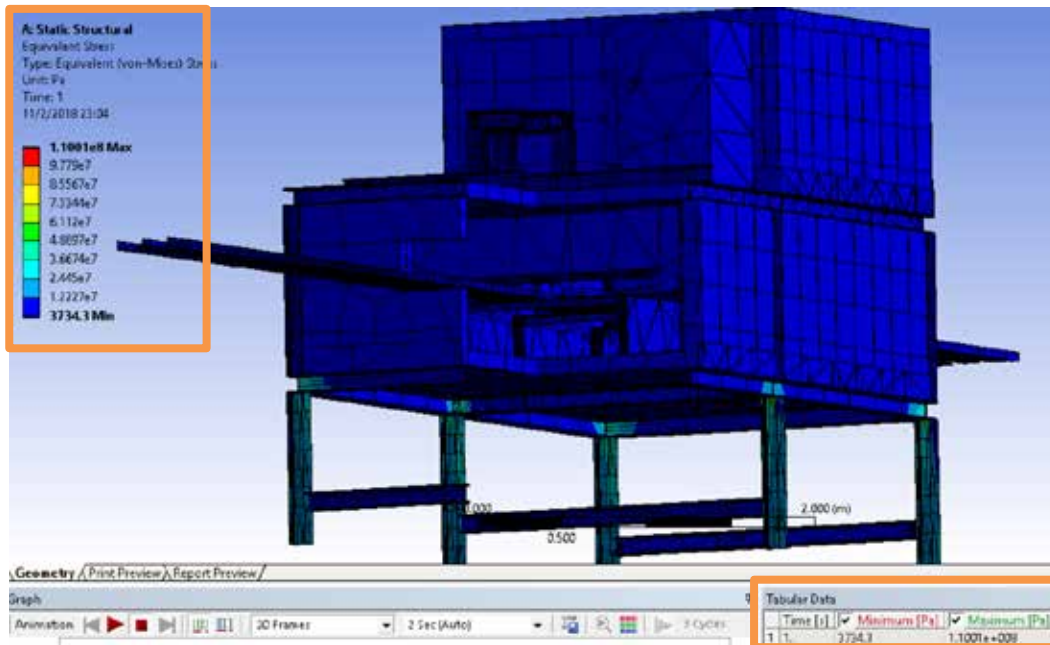


Figura 8: Simulación Estructura Estática en Ansys. Resultados del esfuerzo (Von-Mises). Factor de Seguridad 4.8. Isometría del Diseño del Horno de Secado

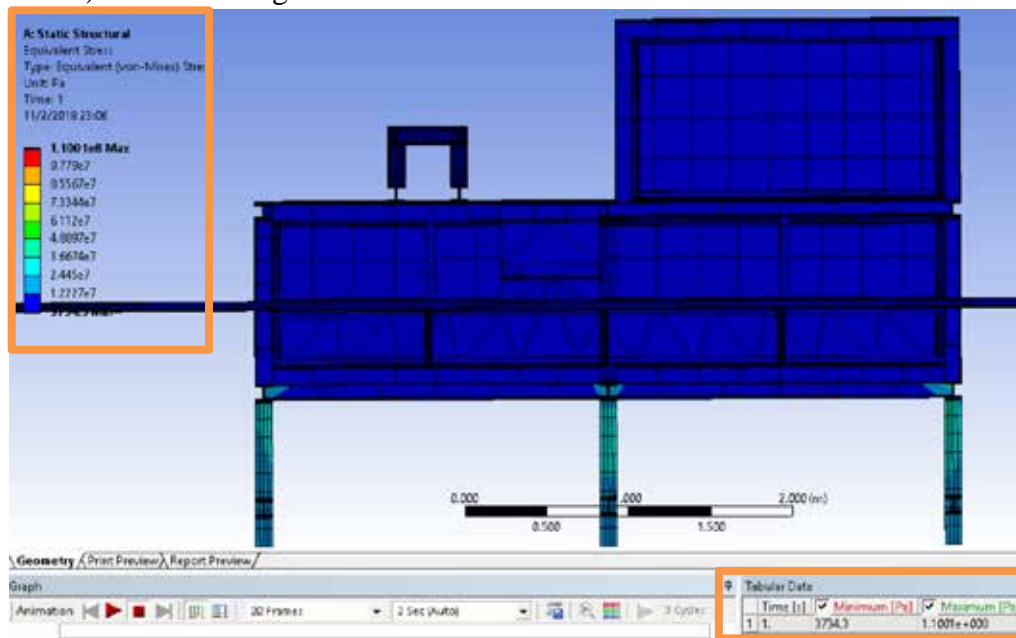


Figura 9: Simulación Estructura Estática en Ansys. Resultados del esfuerzo (Von-Mises). Factor de Seguridad 4.8. Isometría con corte longitudinal del Diseño del Horno de Secado

5.5 Selección de los elementos que conformarán la propuesta de la estación de secado.

En esta sección se realiza la selección de los equipos complementarios para la estación de secado de las tapas roscadas, así como también se determinan algunos parámetros indispensables para su dimensionamiento, a saber:

5.5.1 Unidad de calentamiento.

El calentamiento del aire se debe hacer mediante un quemador. Su selección depende principalmente del tipo de combustible a utilizar, el cual por petición de la empresa debe ser un quemador de Gas natural o de Metano, el cual debe poseer una potencia igual o mayor a la necesitada por el sistema, la cual es de Potencia Quemador = 850,12 KW o de 5292,80 KBTU/h, cual la multiplicamos por un 20% como factor de seguridad y da como resultado 1020,14 KW.

De acuerdo con la potencia requerida seleccionamos un quemador Eclipse - Modelo RM0400, el cual ofrece una potencia entre 920 a 1310 KW. Se muestra las demás características y elementos en el catálogo que se ubica en el Anexa 1.4.

5.5.2 Selección del ventilador.

El ventilador requerido se debe seleccionar con el valor del flujo volumétrico, determinado previamente y con el valor de las pérdidas de presión estática, que debe vencer dicho flujo.

Se utilizó el catálogo de la empresa SODECA, los cuales se ubican en el Anexo 2, donde a través de los requerimientos se selecciona la unidad de ventilación que sea capaz de cumplir con el caudal y presión estática, como además de las exigencias de temperatura y otras características.

Por consiguiente se seleccionó, 1 mismo tipo de ventilador, de los cuales 2 con el mismo rendimiento, los cuales se ubicaran en las chimeneas; y otro de mayor potencia para el ventilador del calderin.

Ventilador Calderin: CMRH-2380-X/R-30 IE3 (SODECA Heavy Duty).

Ventilador Chimenea: CMRH-1856-X/R-7.5 (SODECA Heavy Duty).

Nota: Ventilador Centrifugo con capacidad a trabajar hasta 400°C.

5.5.3 Elementos de control.

Para la selección de los sistemas de Automatización o control, se utilizó un nivel de automatización semiautomático. El cual por requerimientos de la aseguradora de la empresa y por auditorias, debe ser realizado por un personal certificado en el campo. Pero para fines de cumplimientos académicos se realizara la selección de los elementos.

La temperatura de la estación de secado debe ser medida y regulada por un sistema de control instalado en la estación de secado, para así garantizar un ambiente controlado para un secado adecuado y un sistema de seguridad que permita manejar y regular el uso de gas y otros componentes. Como también incorporar un sistema para el manejo del sistema de transporte. Por este fin se realizan la siguiente selección.

Tabla 21: Selección de Equipos para la Automatización.

Cant.	Elemento o Componente	Anexo
Tren de Combustión		
01	Válvula de gas Mo.d V5097A-E	
02	On-Off Fluid Power Gas Valve - Actuator Mod. V4055-1646	
01	Válvula de Venteo Mod. V4295-1836 o VGF	
02	Regulador de Presión Norval o Dival (Pressure Regulators)	
01	Actuador V4055-1651	
02	Switch de presión Mod. C6097 A y B	
01	Trampa de Vapor NFT250	
01	Modutrol IV™ Motors Series 90	
02	Solenoide Valves Serie 8210	
01	Válvula de Seguridad Serie SAI	
01	Sensor de Temperatura PT100	
01	Sensor de Llama - PORTAFOTOCELDA MOD. C7027	
01	Relé de Llama - PROGRAMADOR MOD. EC7823 - 7895	
01	ELECTRODO DE ENCENDIDO 1/2"	

-	Entre otros componentes.	-
Sistema de Transporte		
01	Controlador Logo Siemens	
01	Modulo Analógico para logo.	
01	Modulo para PT100	
01	Motor-reductor 2hp	
01	Variador de Frecuencia 2hp	
04	Contactares 3polar con Térmico	
16	Relé de 8 pines	
01	Transformador de potencia	
01	Brekers 3polar, 2polos y 1polo	
-	Entre otros componentes.	-

CONCLUSION

Evaluando el sistema actual de la línea de roscado, se determinó que la línea requería la incorporación de un mecanismo de secado en el mismo proceso, debido a que no cuenta con un horno para el secado de las tapas, por lo cual, las tapas tienen que ser almacenadas y clasificadas en contenedores, para luego llevarlas a un horno de secado, posteriormente, ser llevadas a la línea de ensamblaje, lo que lleva consigo retardos en la producción, aumento de personal en la línea y de empleo de montacargas; alargando el tiempo en el proceso de producción.

Considerando lo realizado en el presente trabajo se puede decir que, se logró diseñar un horno industrial en la línea de Roscado para el secado de tapas roscadas que satisfaga la necesidad de la empresa MANN-HUMMEL; el cuál era la problemática presente en la empresa.

Se logró determinar los parámetros del proceso para la fabricación de Tapas Roscadas, permitiendo definir los requisitos para los cálculos necesarios para la demanda de la línea de 30tapas/min. A una temperatura de 200°C, para que el elemento saliera a 110°C, temperatura necesaria para evaporar el agua presente en el anticorrosivo.

Se desarrollaron posibles soluciones al problema planteado, lo cual dio como resultado un diseño innovador y funcional, lo cual permitirá una fácil adaptabilidad al proceso y al mantenimiento, teniendo las dimensiones necesarias para la instalación en la línea actual, donde la estación de secado medirá 4m largo, trabajando con un sistema de transporte por cadena.

La realización del diseño térmico y mecánico del Horno dio como resultado la información necesaria para el diseño y fabricación de la estación de secado, además de permitir la Seleccionar los componentes que requiere el proceso. Solicitando un quemador con 1MW y Ventiladores con capacidad de trabajar con un caudal de 8.5m/s y 4.25m/s a una temperatura de 200°C, además de Aislante con espesor de 4in, el que permitió reducir las pérdidas por aislamiento a más de cuatro veces el valor.

RECOMENDACIONES.

Desarrollar simulaciones Térmicas o de fluidos (Simulaciones CFD) a los componentes del horno para conocer el comportamiento, para poder proponer y realizar mejoras a los sistemas actualmente diseñados.

Realizar ensayos a la hora de la puesta en marcha de la estación de secado y optimizar el proceso de secado mediante la instalación de un sistema de control automatizado capaz de obtener el tiempo de secado de las tapas roscadas a través de la medición del caudal y de la temperatura del flujo de aire suministrado a la cámara, para así tener mayor exactitud en el tiempo de secado, ya que en este proyecto se asumen tiempos ideales para efectos de cálculo, que en la realidad pudieran sufrir pequeñas variaciones. Además de un sistema de medición de humedad atmosférica, el cual pueda medir la humedad dentro de la cámara y del ambiente para así, poder realizar un sistema de retorno del aire de escape por las chimeneas para economizar costos.

Realizar el mantenimiento preventivo a todos los elementos mecánicos que componen el sistema de suministro de aire, según indicaciones de sus fabricantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anthony F. Mills, (2001) **“Transferencia de Calor,”** segunda edición, Colombia: MacGraw- Hill, 2001.

CALORCOL, **Catálogo general de productos**, versión 2, Colombia, 2008.

Claudio Mataix, **“Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas,”** segunda edición, México: Oxford, 2012.

FILTER WIX, **“Home”**, (03/05/2012). [En línea]. Disponible: <http://www.wixfilters.com.ve/contacto.php> [07/03/2017].

FILTER WIX, **“Home”**, (05/04/2012). [En línea]. Disponible: <http://www.wixfilters.com.ve/empresa.php> [07/03/2017].

López A, **“Rediseñar el sistema de precalentamiento de pailas de aluminio primario para una empresa laminadora de aluminio”**, Trabajo Especial de Grado, Escuela de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Carabobo, 2000.

MANN-HUMMEL, **“Grupo +HUMMEL”**, (10/05/2016). [En línea]. Disponible: www.mann-hummel.com [07/03/2017].

MANN-HUMMEL, **“Grupo +HUMMEL”**, (01/02/2016). [En línea]. Disponible: <https://www.mann-hummel.com/es/mh-es/business-units/wix-filtron/> [07/03/2017].

MANN-HUMMEL, **“Grupo +HUMMEL”**, (01/04/2016). [En línea]. Disponible: <https://www.mann-hummel.com/es/mh-es/group/vision-values-strategy/> [07/03/2017].

MANN-HUMMEL, **“Grupo +HUMMEL”**, (05/04/2016). [En línea]. Disponible <https://www.mann-hummel.com/es/mh-es/group/certificates/> [07/03/2017].

MANN-HUMMEL, **“Grupo +HUMMEL”**, (22/08/2016). [En línea]. Disponible: <https://www.mann-hummel.com/es/mh-es/group/locations/> [07/03/2017].

Nicolas P. Waganoff, Hornos Industriales, Bilbao, España: Editorial Librería Mitre, 1963.

Pinto J, “REDISEÑO DE UN HORNO PARA EL CURADO DE CARROCERÍA EN UNA EMPRESA ENSAMBLADORA DE VEHÍCULOS”, Trabajo Especial de Grado, Escuela de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Carabobo, 2009.

Richard Budynas, “Diseño en ingeniería mecánica,” octava edición, editorial Mc Graw Hill, 2008.

Robello E, “DISEÑO DE UNA ESTACIÓN PARA EL SECADO DE LOS BOBINADOS EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN”, Trabajo Especial de Grado, Escuela de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Carabobo, 2016.

Yunus A. Cengel – Michael A. Boles, Termodinámica, 5ta edición, China: Mc Graw Hill, 2006.

Yunus A. Cengel, Transferencia de calor y masa, 4ta edición, Monterrey, México: Mc Graw Hill, 2011.

ANEXO

Anexo 1: Tabla de propiedades del Aire a 1Atm.

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 198, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, ISBN 0-306057020-8.

Yunus A. Cengel, Transferencia de calor y masa, Cuarta edición.

Anexo 2: Propiedades del Agua.

TABLA A-9

Propiedades del agua saturada

Temp., T °C	Presión de saturación, P_{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpía de vaporización, h_{fg} , kJ/kg	Calor específico, c_p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 186	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.365 × 10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078 × 10 ⁻³	2.084 × 10 ⁻⁵	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070 × 10 ⁻³	2.255 × 10 ⁻⁵	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060 × 10 ⁻³	2.571 × 10 ⁻⁵	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	∞	∞	∞	∞	0.043 × 10 ⁻³	4.313 × 10 ⁻⁵	—	—	—

Nota 1: La viscosidad cinemática ν y la difusividad térmica α se pueden calcular a partir de sus definiciones, $\nu = \mu/\rho$ y $\alpha = k/\rho c_p = \nu Pr$. Las temperaturas de 0.01°C, 100°C y 374.14°C son las temperaturas de los puntos triple, de ebullición y crítico del agua, respectivamente. Las propiedades cuya lista se da arriba (excepto la densidad del vapor) se pueden usar a cualquier presión con error despreciable, excepto a temperaturas cercanas al valor del punto crítico.

Nota 2: La unidad kJ/kg · °C, para el calor específico, es equivalente a kJ/kg · K y la unidad W/m · °C, para la conductividad térmica es equivalente a W/m · K.

Fuente: Los datos de la viscosidad y la conductividad térmica se tomaron de J. V. Sengers y J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986), págs. 291-1322. Los otros datos se obtuvieron de diversas fuentes o se calcularon.

Yunus A. Cengel, Transferencia de calor y masa, Cuarta edición.

Anexo 3: Propiedades de Algunas Sustancias

TABLA A-1

Masa molar, gas constante y calores específicos de ciertas sustancias

Sustancia	Masa molar M , kg/kmol	Gas Constante R , kJ/kg · K*	Calores específicos a 25°C		
			c_p , kJ/kg · K	c_v , kJ/kg · K	$k = c_p/c_v$
Aire	28.97	0.2870	1.005	0.7180	1.400
Amoniaco, NH ₃	17.03	0.4882	2.093	1.605	1.304
Argón, Ar	39.95	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Bromo, Br ₂	159.81	0.05202	0.2253	0.1732	1.300
Isobutano, C ₄ H ₁₀	58.12	0.1430	1.663	1.520	1.094
<i>n</i> -Butano, C ₄ H ₁₀	58.12	0.1430	1.694	1.551	1.092
Carbono, bióxido de, CO ₂	44.01	0.1889	0.8439	0.6550	1.288
Carbono, monóxido de, CO	28.01	0.2968	1.039	0.7417	1.400
Cloro, Cl ₂	70.905	0.1173	0.4781	0.3608	1.325
Clorodifluorometano (R-22), CHClF ₂	86.47	0.09615	0.6496	0.5535	1.174
Etano, C ₂ H ₆	30.070	0.2765	1.744	1.468	1.188
Etileno, C ₂ H ₄	28.054	0.2964	1.527	1.231	1.241
Fluoruro, F ₂	38.00	0.2187	0.8237	0.6050	1.362
Helio, He	4.003	2.077	5.193	3.116	1.667
<i>n</i> -Heptano, C ₇ H ₁₆	100.20	0.08297	1.649	1.566	1.053
<i>n</i> -Hexano, C ₆ H ₁₄	86.18	0.09647	1.654	1.558	1.062
Hidrógeno, H ₂	2.016	4.124	14.30	10.18	1.405
Kriptón, Kr	83.80	0.09921	0.2480	0.1488	1.667
Metano, CH ₄	16.04	0.5182	2.226	1.708	1.303
Neón, Ne	20.183	0.4119	1.030	0.6180	1.667
Nitrógeno, N ₂	28.01	0.2968	1.040	0.7429	1.400
Óxido nítrico, NO	30.006	0.2771	0.9992	0.7221	1.384
Nitrógeno, bióxido de, NO ₂	46.006	0.1889	0.8060	0.6171	1.306
Oxígeno, O ₂	32.00	0.2598	0.9180	0.6582	1.395
<i>n</i> -Pentano, C ₅ H ₁₂	72.15	0.1152	1.664	1.549	1.074
Propano, C ₃ H ₈	44.097	0.1885	1.669	1.480	1.127
Propileno, C ₃ H ₆	42.08	0.1976	1.531	1.333	1.148
Agua, H ₂ O	18.015	0.4615	1.865	1.403	1.329
Sulfuro, bióxido de, SO ₂	64.06	0.1298	0.6228	0.4930	1.263
Tetraclorometano, CCl ₄	153.82	0.05405	0.5415	0.4875	1.111
Tetrafluoroetano (R-134a), C ₂ H ₂ F ₄	102.03	0.08149	0.8334	0.7519	1.108
Trifluoroetano (R-143a), C ₂ H ₃ F ₃	84.04	0.09893	0.9291	0.8302	1.119
Xenón, Xe	131.30	0.06332	0.1583	0.09499	1.667

*La unidad kJ/kg · K es equivalente a kPa · m³/kg · K. La constante de gas se calcula de $R = R_u/M$, donde $R_u = 8.31447$ kJ/kmol · K como el gas constante universal y M la masa molar.

Fuente: Valores de calores específicos se obtuvieron principalmente de rutinas de propiedad preparadas por The National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, MD.

Yunus A. Cengel, Transferencia de calor y masa, Cuarta edición.

Anexo 4

Anexo 4.1: Propiedades de Algunos Materiales Solidos

TABLA A-3

Propiedades de metales sólidos

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), $k(\text{W/m} \cdot \text{K})/c_p(\text{J/kg} \cdot \text{K})$					
		ρ kg/m ³	c_p J/kg · K	k W/m · K	$\alpha \times 10^6$ m ² /s	100	200	400	600	800	1 000
Aluminio:											
Puro	933	2 702	903	237	97.1	302	237	240	231	218	
Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2 770	875	177	73.0	482	798	949	1 033	1 146	
Aleación 195, fundido (4.5% Cu)		2 790	883	168	68.2	473	787	925	1 042		
Berilio	1 550	1 850	1 825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8
Bismuto	545	9 780	122	7.86	6.59	203	1 114	2 191	2 604	2 823	3 018
Boro	2 573	2 500	1 107	27.0	9.76	112	120	127			
Cadmio	594	8 650	231	96.8	48.4	190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85
Cromo	2 118	7 160	449	93.7	29.1	128	600	1 463	1 892	2 160	2 338
Cobalto	1 769	8 862	421	99.2	26.6	203	99.3	94.7			
Cobre:						198	222	242			
Puro	1 358	8 933	385	401	117	482	413	393	379	366	352
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	1 293	8 800	420	52	14	252	356	397	417	433	451
Bronce al fósforo para engranes (89% Cu, 11% Sn)	1 104	8 780	355	54	17	42	52	59			
Latón para cartuchos (70% Cu, 30% Zn)	1 188	8 530	380	110	33.9	75	95	137	149		
Constantán (55% Cu, 45% Ni)	1 493	8 920	384	23	6.71	17	19	360	395	425	
Germanio	1 211	5 360	322	59.9	34.7	232	96.8	43.2	27.3	19.8	17.4
Oro	1 336	19 300	129	317	127	190	290	337	348	357	375
Iridio	2 720	22 500	130	147	50.3	327	323	311	298	284	270
Hierro:						109	124	131	135	140	145
Puro	1 810	7 870	447	80.2	23.1	172	153	144	138	132	126
Armco (99.75% puro)		7 870	447	72.7	20.7	90	122	133	138	144	153
Aceros al carbono:						134	94.0	69.5	54.7	43.3	32.8
Simple al carbono (Mn \leq 1%, Si \leq 0.1%)		7 854	434	60.5	17.7	216	384	490	574	680	975
AISI 1010		7 832	434	63.9	18.8	95.6	80.6	65.7	53.1	42.2	32.3
Al carbono-silicio (Mn \leq 1%, 0.1% < Si \leq 0.6%)		7 817	446	51.9	14.9	215	384	490	574	680	975
								56.7	48.0	39.2	30.0
								487	559	685	1 169
								58.7	48.8	39.2	31.3
								487	559	685	1 168
								49.8	44.0	37.4	29.3
								501	582	699	971

Yunus A. Cengel, Transferencia de calor y masa, Cuarta edición.

Anexo 4.2: Propiedades de Algunos Materiales Sólidos

TABLA A-3

Propiedades de metales sólidos (continuación)

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), $k(\text{W/m} \cdot \text{K})/c_p(\text{J/kg} \cdot \text{K})$					
		ρ kg/m ³	c_p J/kg · K	k W/m · K	$\alpha \times 10^6$ m ² /s	100	200	400	600	800	1 000
Al carbono-manganeso-silicio (1% < Mn < 1.65% 0.1% < Si < 0.6%)		8 131	434	41.0	11.6			42.2	39.7	35.0	27.6
								487	559	685	1 090
Aceros al cromo (bajo): $\frac{1}{2}$ Cr- $\frac{1}{2}$ Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)		7 822	444	37.7	10.9			38.2	36.7	33.3	26.9
1Cr- $\frac{1}{2}$ Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)		7 858	442	42.3	12.2			492	575	688	969
								42.0	39.1	34.5	27.4
1Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)		7 836	443	48.9	14.1			492	575	688	969
								46.8	42.1	36.3	28.2
								492	575	688	969
Aceros inoxidables:											
AISI 302		8 055	480	15.1	3.91			17.3	20.0	22.8	25.4
								512	559	585	606
AISI 304	1 670	7 900	477	14.9	3.95	9.2	12.6	16.6	19.8	22.6	25.4
						272	402	515	557	582	611
AISI 316		8 238	468	13.4	3.48			15.2	18.3	21.3	24.2
								504	550	576	602
AISI 347		7 978	480	14.2	3.71			15.8	18.9	21.9	24.7
								513	559	585	606
Plomo	601	11 340	129	35.3	24.1	39.7	36.7	34.0	31.4		
						118	125	132	142		
Magnesio	923	1 740	1 024	156	87.6	169	159	153	149	146	
						649	934	1 074	1 170	1 267	
Molibdeno	2 894	10 240	251	138	53.7	179	143	134	126	118	112
						141	224	261	275	285	295
Níquel: Puro	1 728	8 900	444	90.7	23.0	164	107	80.2	65.6	67.6	71.8
						232	383	485	592	530	562
Níquel: 80% Ni, 20% Cr	1 672	8 400	420	12	3.4			14	16	21	
Inconel X-750 (73% Ni, 15% Cr, 6.7% Fe)	1 665	8 510	439	11.7	3.1	8.7	10.3	13.5	17.0	20.5	24.0
						—	372	473	510	546	626
Niobio	2 741	8 570	265	53.7	23.6	55.2	52.6	55.2	58.2	61.3	64.4
						188	249	274	283	292	301
Paladio	1 827	12 020	244	71.8	24.5	76.5	71.6	73.6	79.7	86.9	94.2
						168	227	251	261	271	281
Platino: Puro	2 045	21 450	133	71.6	25.1	77.5	72.6	71.8	73.2	75.6	78.7
						100	125	136	141	146	152
Aleación 60Pt-40Rh (60% Pt, 40% Rh)	1 800	16 630	162	47	17.4			52	59	65	69
						—	—	—	—	—	—
Renio	3 453	21 100	136	47.9	16.7	58.9	51.0	46.1	44.2	44.1	44.6
						97	127	139	145	151	156
Rodio	2 236	12 450	243	150	49.6	186	154	146	136	127	121
						147	220	253	274	293	311

Yunus A. Cengel, Transferencia de calor y masa, Cuarta edición.

Anexo 4.3: Propiedades de Algunos Materiales Aislantes

TABLA A-6

Propiedades de materiales aislantes
(a una temperatura media de 24°C)

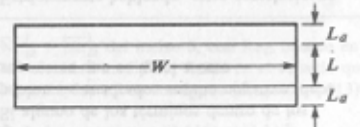
Material	Espesor, <i>L</i> mm	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, <i>k</i> W/m · K	Calor específico, c_p kJ/kg · K	Valor <i>R</i> (para los espesores de la lista, <i>L/R</i>), K · m ² /W
Colcha y lámina					
Fibra mineral (forma fibrosa procesada a partir de roca, escoria o vidrio)	50 a 70 mm 75 a 90 mm 135 a 165 mm	4.8-32 4.8-32 4.8-32	— — —	0.71-0.96 0.71-0.96 0.71-0.96	1.23 1.94 3.32
Tablero y losa					
Vidrio celular		136	0.055	1.0	—
Fibra de vidrio (ligamento orgánico)		64-144	0.036	0.96	—
Poliuretano expandido (bolitas moldeadas)		16	0.040	1.2	—
Poliuretano expandido (<i>R</i> -11 expandido)		24	0.023	1.6	—
Perlita expandida (ligamento orgánico)		16	0.052	1.26	—
Caucho expandido (rígido)		72	0.032	1.68	—
Fibra mineral con aglomerante de resina		240	0.042	0.71	—
Corcho		120	0.039	1.80	—
Rociado o formado en el sitio					
Espuma de poliuretano		24-40	0.023-0.026	—	—
Fibra de vidrio		56-72	0.038-0.039	—	—
Uretano, mezcla de dos partes (espuma rígida)		70	0.026	1.045	—
Gránulos de lana mineral con aglomerantes de asbesto/inorgánico (rociado)		190	0.046	—	—
Relleno flojo					
Fibra mineral (de roca, escoria o vidrio)	~ 75 a 125 mm ~165 a 222 mm ~191 a 254 mm ~185 mm	9.6-32 9.6-32 — —	— — — —	0.71 0.71 0.71 0.71	1.94 3.35 3.87 5.28
Aerogel de sílice		122	0.025	—	—
Vermiculita (expandida)		122	0.068	—	—
Perlita (expandida)		32-66	0.039-0.045	1.09	—
Aserrín o virutas		128-240	0.065	1.38	—
Aislamiento celulósico (papel molido o pulpa de madera)		37-51	0.039-0.046	—	—
Aislamiento para techo					
Vidrio celular	—	144	0.058	1.0	—
Preformado, para usarse arriba del tablero	13 mm 25 mm 50 mm	— — —	— — —	1.0 2.1 3.9	0.24 0.49 0.93
Aislamiento reflector					
Polvo sílice (al vacío)		160	0.0017	—	—
Hoja de aluminio separando colchones de vidrio esponjoso; 10 a 12 capas (al vacío); para aplicaciones criogénicas (150 K)		40	0.00016	—	—
Hoja de aluminio y laminado de vidrio y papel; 75 a 150 capas; para aplicaciones criogénicas (150 K)		120	0.000017	—	—

Yunus A. Cengel, Transferencia de calor y masa, Cuarta edición.

Anexo 5: Correlaciones Matemáticas para el Número de Nusselt.

3	Flujo laminar entre placas paralelas con hidrodinámica totalmente desarrollada	$f = \frac{96}{Re_{D_h}}; \quad Re_{D_h} < 2800$ (Tabla 4.5) $\overline{Nu}_{D_h} = 7.54 + \frac{0.03(D_h/L)Re_{D_h}Pr}{1 + 0.016[(D_h/L)Re_{D_h}Pr]^{2/3}}; \quad Re_{D_h} < 2800$ (4.51)	(μ_s/μ_b) Enfriamiento 0.25 -0.11 Gases Calentamiento -0.2 -0.55 (T_s/T_b) Enfriamiento -0.1 0.0 $D_h = \frac{4A_c}{\mathcal{P}} = 2 \times$ Separación de las placas
4	Capa límite laminar sobre una placa plana	$\overline{C}_f = 1.328Re_L^{-1/2}; \quad 10^3 < Re_L \leq 5 \times 10^5$ (4.55) $\overline{Nu} = 0.664Re_L^{1/2}Pr^{1/3}; \quad 10^3 < Re_L \leq 5 \times 10^5, \quad Pr > 0.5$ (4.57)	
5	Capa límite turbulenta sobre una placa plana suave	$\overline{C}_f = 1.328Re_{tr}^{-1/2} \left(\frac{Re_{tr}}{Re_L} \right) + \frac{0.523}{\ln^2 0.06Re_L} - \left(\frac{Re_{tr}}{Re_L} \right) \frac{0.523}{\ln^2 0.06Re_{tr}}$ (4.62) $Re_{tr} < Re_L < 10^9$ $\overline{Nu} = 0.664Re_{tr}^{1/2}Pr^{1/3} + 0.036Re_L^{0.8}Pr^{0.43} \left[1 - (Re_{tr}/Re_L)^{0.8} \right]$ (4.65) $Re_{tr} < Re_L < 3 \times 10^7$ $0.7 < Pr < 400$	$Re_{tr} = 50\,000 + 500\,000$ Los valores inferiores son típicos de las situaciones en las que intervienen factores de perturbación, como, por ejemplo, rugosidad o vibraciones

(Continúa)

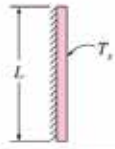
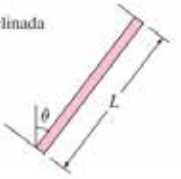
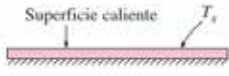

8	Capa límite laminar de convección natural en una pared vertical	$\overline{Nu}_L = 0.68 + 0.670(Ra_L \Psi)^{1/4}; \quad Ra_L < 10^9$ (4.85) $\Psi = \left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{-16/9}$	
9	Capa límite turbulenta de convección natural en una pared vertical	$\overline{Nu}_L = 0.68 + 0.670(Ra_L \Psi)^{1/4} (1 + 1.6 \times 10^{-8} Ra_L \Psi)^{1/12}$ (4.86) $10^9 < Ra_L < 10^{12}$	Ψ se define en el inciso 8
10	Convección natural sobre un cilindro horizontal	$\overline{Nu}_D = 0.36 + \frac{0.518Ra_D^{1/4}}{[1 + (0.559/Pr)^{9/16}]^{4/9}}; \quad 10^{-4} < Ra_D \leq 10^9$ (4.87) $\overline{Nu}_D = \left\{ 0.60 + 0.387 \left[\frac{Ra_D}{[1 + (0.559/Pr)^{9/16}]^{16/9}} \right]^{1/6} \right\}^2; \quad Ra_D \geq 10^9$ (4.88)	
11	Convección natural sobre una esfera	$\overline{Nu}_D = 2 + \frac{0.589Ra_D^{1/4}}{[1 + (0.469/Pr)^{9/16}]^{4/9}}; \quad Ra_D \leq 10^{11}; \quad Pr > 0.5$ (4.90)	
12	Convección natural sobre una placa horizontal calentada orientada hacia abajo, o sobre una placa enfriada orientada hacia arriba	$\overline{Nu}_L = 6.5 \left[1 + 0.38 \frac{L}{W} \right] \left[(1 + X)^{0.39} - X^{0.39} \right] Ra_L^{0.13}$ (4.94) $X = 13.5Ra_L^{-0.16} + 2.2 \left(\frac{L_a}{L} \right)^{d,7}$ $10^6 < Ra_L < 10^{10}; \quad 0.7 < Pr < 4800; \quad 0 < L_a/L < 0.2$	W es la longitud del lado mayor, L es la longitud del lado menor, L_a es la longitud de las extensiones adiabáticas 
13	Convección natural sobre una placa horizontal calentada orientada hacia arriba, o sobre una placa enfriada orientada hacia abajo	$\overline{Nu}_L = 0.54Ra_L^{1/4}; \quad 10^5 < Ra_L < 2 \times 10^7$ (4.95) $\overline{Nu}_L = 0.14Ra_L^{1/3}; \quad 2 \times 10^7 < Ra_L < 3 \times 10^{10}$ (4.96)	L es la longitud del lado menor

(Continúa)

Anexo 6: Correlaciones Matemáticas para el Número de Nusselt.

TABLA 9-1

Correlaciones empíricas del número promedio de Nusselt para la convección natural sobre superficies

Configuración geométrica	Longitud característica L_c	Intervalo de Ra	Nu
<p>Placa vertical</p> 	L	$10^4 - 10^9$ $10^9 - 10^{13}$	$Nu = 0.59Ra_L^{1/4}$ (9-19) $Nu = 0.1Ra_L^{1/3}$ (9-20) $Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387Ra_L^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{1/4}]^{1/4}} \right\}^2$ (9-21) (compleja pero más exacta)
<p>Placa inclinada</p> 	L		Utilícen las ecuaciones de la placa vertical para la superficie superior de una placa fría y la superficie inferior de una placa caliente Reemplácese g por $g \cos \theta$ para $Ra < 10^9$
<p>Plástico horizontal (Área superficial A y perímetro p) a) Superficie superior de una placa caliente (o superficie inferior de una placa fría)</p> 	A_s/p	$10^4 - 10^7$ $10^7 - 10^{11}$	$Nu = 0.54Ra_L^{1/4}$ (9-22) $Nu = 0.15Ra_L^{1/3}$ (9-23)
<p>b) Superficie inferior de una placa caliente (o superficie superior de una placa fría)</p> 		$10^5 - 10^{11}$	$Nu = 0.27Ra_L^{1/4}$ (9-24)

Yunus A. Cengel, Transferencia de calor y masa, Cuarta edición.

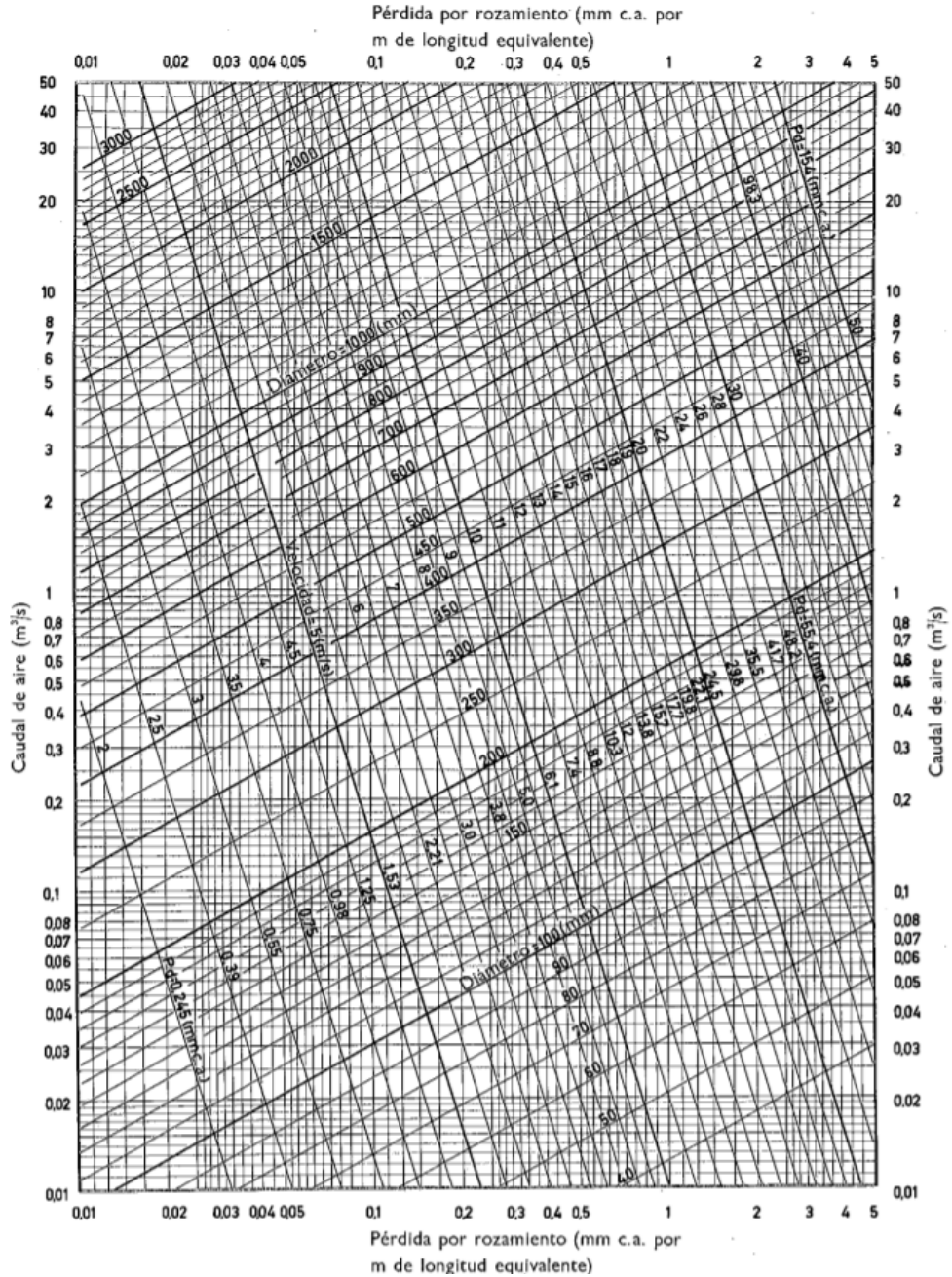
Anexo 7: Tabla de Porcentaje de Área de sección recta en ramas para conservar constante el rozamiento

% CAUDAL m ³ /h	% ÁREA CONDUCTO	% CAUDAL m ³ /h	% ÁREA CONDUCTO	% CAUDAL m ³ /h	% ÁREA CONDUCTO	% CAUDAL m ³ /h	% ÁREA CONDUCTO
1	2,0	26	33,5	51	59,0	76	81,0
2	3,5	27	34,5	52	60,0	77	82,0
3	5,5	28	35,5	53	61,0	78	83,0
4	7,0	29	36,5	54	62,0	79	84,0
5	9,0	30	37,5	55	63,0	80	84,5
6	10,5	31	39,0	56	64,0	81	85,5
7	11,5	32	40,0	57	65,0	82	86,0
8	13,0	33	41,0	58	65,5	83	87,0
9	14,5	34	42,0	59	66,5	84	87,5
10	16,5	35	43,0	60	67,5	85	88,5
11	17,5	36	44,0	61	68,0	86	89,5
12	18,5	37	45,0	62	69,0	87	90,0
13	19,5	38	46,0	63	70,0	88	90,5
14	20,5	39	47,0	64	71,0	89	91,5
15	21,5	40	48,0	65	71,5	90	92,0
16	23,0	41	49,0	66	72,5	91	93,0
17	24,0	42	50,0	67	73,5	92	94,0
18	25,0	43	51,0	68	74,5	93	94,5
19	26,0	44	52,0	69	75,5	94	95,0
20	27,0	45	53,0	70	76,5	95	96,0
21	28,0	46	54,0	71	77,0	96	96,5
22	29,5	47	55,0	72	78,0	97	97,5
23	30,5	48	56,0	73	79,0	98	98,0
24	31,5	49	57,0	74	80,0	99	99,0
25	32,5	50	58,0	75	80,5	100	100,0



Carrier, Manual de Aire Acondicionado, Marcombo, 5ta Reimpresión.

Anexo 8: Pérdidas por Rozamiento en Conductos



Carrier, Manual de Aire Acondicionado, Marcombo, 5ta Reimpresión.

Anexo 9.1: Dimensiones de conductos. Área de la sección, Diámetro Equivalente.

TABLA 6. DIMENSIONES DE CONDUCTOS, ÁREA DE LA SECCIÓN, DIÁMETRO EQUIVALENTE, Y TIPO DE CONDUCTO *

MEDIDAS DEL CONDUCTO (mm)	150		200		250		300		350		400		450		500		550	
	Sec. (m²)	Díam. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Díam. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Díam. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Díam. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Díam. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Díam. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Díam. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Díam. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Díam. equiv. (mm)
250	0,036	213	0,049	249	0,06	287												
300	0,042	231	0,057	272	0,071	302	0,087	333										
350	0,048	249	0,067	292	0,084	328	0,103	361	0,119	389								
400	0,055	264	0,075	308	0,094	348	0,115	384	0,134	414	0,154	445						
450	0,061	280	0,084	328	0,108	368	0,129	407	0,151	439	0,173	470	0,196	501				
500	0,067	292	0,092	343	0,117	384	0,142	427	0,168	460	0,192	496	0,216	526	0,242	556		
550	0,072	305	0,10	358	0,128	404	0,156	447	0,184	485	0,21	518	0,238	551	0,264	582	0,292	612
600	0,078	315	0,107	371	0,139	422	0,169	465	0,198	503	0,229	541	0,257	574	0,288	607	0,316	638
650	0,082	326	0,116	384	0,149	435	0,182	483	0,214	524	0,246	561	0,278	597	0,31	630	0,341	664
700	0,088	335	0,123	396	0,159	450	0,193	498	0,229	541	0,265	582	0,301	620	0,333	655	0,368	689
750	0,093	346	0,13	409	0,166	465	0,205	514	0,244	559	0,283	602	0,32	640	0,36	677	0,392	711
800	0,099	356	0,137	419	0,179	478	0,218	529	0,26	576	0,301	620	0,341	661	0,381	698	0,418	734
850	0,105	366	0,146	432	0,188	490	0,23	544	0,274	592	0,318	637	0,36	678	0,404	719	0,443	756
900	0,109	374	0,153	442	0,198	504	0,242	556	0,288	607	0,336	656	0,378	696	0,424	736	0,467	775
950	0,113	381	0,16	452	0,208	516	0,255	572	0,303	622	0,352	671	0,398	714	0,448	757	0,494	798
1.000	0,118	389	0,167	463	0,216	526	0,267	585	0,318	637	0,368	686	0,418	732	0,469	775	0,517	816
1.050	0,123	396	0,172	470	0,225	536	0,276	595	0,33	650	0,384	701	0,436	747	0,492	793	0,54	834
1.100	0,128	404	0,18	480	0,233	546	0,288	607	0,343	662	0,401	716	0,453	762	0,513	810	0,563	852
1.150	0,132	412	0,186	488	0,242	556	0,298	618	0,369	678	0,416	729	0,472	777	0,534	825	0,586	869
1.200	0,137	419	0,193	498	0,25	567	0,31	630	0,373	691	0,43	742	0,491	793	0,553	841	0,611	887
1.250			0,196	506	0,26	577	0,32	641	0,384	701	0,448	757	0,51	808	0,573	856	0,633	903
1.300			0,205	514	0,27	587	0,33	651	0,398	714	0,463	770	0,53	824	0,594	871	0,656	915
1.350			0,212	521	0,276	595	0,343	664	0,41	724	0,478	782	0,546	836	0,614	896	0,679	935
1.400			0,218	531	0,286	605	0,354	674	0,422	734	0,492	793	0,563	849	0,636	902	0,702	951
1.450			0,225	536	0,296	615	0,366	684	0,434	744	0,507	806	0,58	862	0,654	915	0,724	965
1.500			0,237	544	0,303	622	0,376	694	0,448	756	0,523	819	0,602	876	0,673	927	0,747	983
1.600			0,244	559	0,32	640	0,392	709	0,472	778	0,548	841	0,636	902	0,714	956	0,79	1.008
1.700					0,336	656	0,415	729	0,497	798	0,58	862	0,665	923	0,752	981	0,831	1.034
1.800					0,365	674	0,436	746	0,527	820	0,61	885	0,697	945	0,786	1.004	0,876	1.063
1.900					0,38	696	0,454	762	0,543	834	0,632	900	0,735	971	0,824	1.029	0,923	1.088
2.000					0,384	701	0,478	782	0,57	854	0,67	925	0,766	991	0,863	1.052	0,961	1.113
2.100							0,502	800	0,594	876	0,698	948	0,792	1.008	0,9	1.075	0,998	1.133
2.200							0,517	813	0,615	887	0,73	966	0,827	1.030	0,934	1.095	1,035	1.152
2.300							0,535	828	0,64	905	0,763	982	0,868	1.055	0,962	1.113	1,081	1.177
2.400							0,546	839	0,65	920	0,778	996	0,889	1.070	0,999	1.130	1,118	1.200
2.500									0,685	937	0,787	1.020	0,907	1.080	1,045	1.155	1,138	1.210
2.600									0,704	951	0,824	1.030	0,94	1.105	1,072	1.172	1,202	1.240
2.700									0,731	966	0,852	1.045	0,952	1.119	1,11	1.194	1,238	1.261
2.800									0,75	981	0,88	1.063	1,005	1.135	1,138	1.205	1,276	1.278
2.900											0,908	1.078	1,040	1.168	1,165	1.222	1,32	1.303
3.000											0,925	1.090	1,065	1.188	1,21	1.248	1,33	1.308
3.100											0,94	1.105	1,1	1.185	1,238	1.260	1,387	1.331
3.200											0,963	1.120	1,12	1.197	1,277	1.279	1,432	1.353
3.300													1,156	1.216	1,302	1.292	1,46	1.368
3.400													1,185	1.231	1,334	1.310	1,498	1.380
3.500													1,22	1.241	1,352	1.321	1,525	1.397
3.600													1,23	1.252	1,397	1.344	1,551	1.414

* Los números de mayor tamaño que figuran en la tabla indican la clase de conducto.

Anexo 9.2: Dimensiones de conductos. Área de la sección, Diámetro Equivalente.

Carrier, Manual de Aire Acondicionado, Marcombo, 5ta Reimpresión.

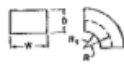

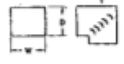
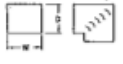
TABLA 6. DIMENSIONES DE CONDUCTOS, ÁREA DE LA SECCIÓN, DIÁMETRO EQUIVALENTE Y TIPO DE CONDUCTO * (Cont.)

MEDIDAS DEL CONDUCTO (mm)	600		650		700		750		800		850		900		950		1.000	
	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)
250																		
300																		
350																		
400																		
450																		
500																		
550																		
600	0,346	666																
650	0,373	692	0,407	722														
700	0,401	716	0,437	749	0,472	777												
750	0,433	745	0,468	775	0,502	803	0,543	834										
800	0,457	765	0,497	798	0,536	829	0,576	859	0,618	889								
850	0,485	788	0,527	823	0,568	854	0,61	884	0,654	914	0,697	944						
900	0,517	813	0,549	838	0,603	875	0,646	909	0,692	940	0,736	971	0,783	1.002				
950	0,542	834	0,591	869	0,636	903	0,679	934	0,728	966	0,775	996	0,822	1.028	0,873	1.057		
1.000	0,569	853	0,622	893	0,668	925	0,714	955	0,767	992	0,816	1.020	0,864	1.052	0,914	1.083	0,972	1.114
1.050	0,597	874	0,65	914	0,702	948	0,752	981	0,803	1.015	0,853	1.044	0,907	1.078	0,963	1.108	1,018	1.139
1.100	0,624	894	0,679	934	0,733	969	0,786	1.004	0,840	1.038	0,89	1.068	0,952	1.103	1,0	1.133	1,054	1.165
1.150	0,652	914	0,706	951	0,764	990	0,818	1.025	0,877	1.057	0,934	1.093	0,99	1.127	1,045	1.159	1,1	1.190
1.200	0,675	930	0,736	971	0,794	1.009	0,856	1.046	0,915	1.082	0,972	1.116	1,027	1.148	1,092	1.180	1,148	1.215
1.250	0,702	949	0,784	990	0,823	1.028	0,89	1.068	0,953	1.105	1,008	1.139	1,072	1.171	1,128	1.204	1,2	1.240
1.300	0,728	966	0,792	1.006	0,856	1.046	0,924	1.089	0,99	1.126	1,054	1.161	1,118	1.198	1,175	1.226	1,248	1.263
1.350	0,755	984	0,818	1.025	0,89	1.066	0,963	1.108	1,018	1.143	1,092	1.181	1,165	1.219	1,22	1.248	1,295	1.286
1.400	0,779	999	0,848	1.042	0,92	1.084	0,99	1.126	1,055	1.163	1,128	1.201	1,2	1.241	1,268	1.272	1,34	1.308
1.450	0,798	1.011	0,877	1.059	0,952	1.102	1,018	1.143	1,092	1.184	1,165	1.223	1,238	1.260	1,312	1.296	1,388	1.331
1.500	0,822	1.027	0,902	1.074	0,97	1.118	1,055	1.165	1,128	1.202	1,2	1.242	1,275	1.280	1,35	1.318	1,435	1.355
1.600	0,872	1.057	0,952	1.105	1,035	1.154	1,118	1.199	1,192	1.238	1,275	1.280	1,358	1.321	1,432	1.356	1,525	1.399
1.700	0,923	1.088	1,008	1.135	1,091	1.185	1,183	1.229	1,267	1.275	1,35	1.316	1,441	1.359	1,525	1.396	1,616	1.438
1.800	0,961	1.115	1,063	1.165	1,147	1.215	1,248	1.262	1,331	1.309	1,423	1.351	1,515	1.395	1,608	1.435	1,692	1.475
1.900	0,998	1.141	1,108	1.194	1,21	1.245	1,302	1.292	1,396	1.340	1,498	1.398	1,599	1.430	1,692	1.470	1,785	1.511
2.000	1,063	1.168	1,165	1.219	1,267	1.272	1,359	1.321	1,46	1.368	1,572	1.318	1,673	1.462	1,775	1.505	1,875	1.599
2.100	1,108	1.192	1,22	1.248	1,312	1.299	1,423	1.350	1,525	1.397	1,636	1.448	1,748	1.496	1,858	1.542	1,96	1.584
2.200	1,155	1.217	1,266	1.272	1,368	1.325	1,488	1.380	1,598	1.429	1,71	1.478	1,821	1.528	1,932	1.575	2,042	1.618
2.300	1,192	1.237	1,312	1.299	1,433	1.355	1,543	1.405	1,665	1.467	1,775	1.507	1,895	1.557	2,015	1.604	2,128	1.650
2.400	1,228	1.258	1,368	1.325	1,469	1.371	1,59	1.426	1,72	1.486	1,821	1.530	1,95	1.580	2,095	1.639	2,22	1.682
2.500	1,285	1.285	1,386	1.344	1,545	1.402	1,655	1.455	1,775	1.509	1,905	1.562	1,998	1.600	2,165	1.664	2,293	1.715
2.600	1,36	1.315	1,46	1.368	1,58	1.422	1,72	1.485	1,84	1.538	1,98	1.592	2,095	1.639	2,228	1.690	2,365	1.740
2.700	1,368	1.325	1,498	1.388	1,627	1.443	1,775	1.508	1,895	1.559	2,035	1.612	2,17	1.669	2,293	1.715	2,45	1.770
2.800	1,396	1.348	1,552	1.410	1,692	1.473	1,82	1.528	1,95	1.582	2,08	1.632	2,265	1.702	2,375	1.745	2,505	1.790
2.900	1,46	1.370	1,6	1.432	1,747	1.495	1,878	1.552	2,035	1.615	2,17	1.670	2,295	1.715	2,425	1.762	2,605	1.825
3.000	1,497	1.387	1,645	1.451	1,793	1.515	1,932	1.578	2,095	1.639	2,235	1.695	2,41	1.768	2,515	1.794	2,683	1.855
3.100	1,535	1.402	1,7	1.475	1,83	1.532	1,995	1.602	2,145	1.660	2,33	1.728	2,45	1.775	2,605	1.825	2,735	1.881
3.200	1,58	1.425	1,738	1.492	1,878	1.552	2,06	1.628	2,19	1.678	2,37	1.744	2,525	1.800	2,655	1.848	2,79	1.894
3.300	1,608	1.436	1,785	1.512	1,922	1.570	2,09	1.635	2,265	1.703	2,43	1.765	2,61	1.830	2,765	1.880	2,855	1.948
3.400	1,655	1.456	1,822	1.528	1,978	1.593	2,125	1.650	2,32	1.723	2,485	1.785	2,65	1.845	2,82	1.900	3,015	1.964
3.500	1,71	1.478	1,877	1.550	2,06	1.627	2,23	1.689	2,395	1.752	2,545	1.805	2,715	1.868	2,915	1.932	3,095	1.988
3.600	1,738	1.490	1,905	1.562	2,095	1.638	2,29	1.715	2,43	1.765	2,61	1.829	2,765	1.885	2,955	1.948	3,14	2.010

* Los números de mayor tamaño que figuran en la tabla indican la clase de conducto.

Anexo 10.1: Tabla de Rozamiento en Codos Rectangulares.




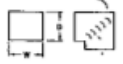
TABLA 12. ROZAMIENTO EN CODOS RECTANGULARES

DIMENSIONES DEL CONDUCTO (cm)		CODO DE RADIO SIN GUÍAS 	CODO DE RADIO CON GUÍAS ***		CODOS CUADRADOS ***	
						
W	D	Relación de radio ** R/D = 1,25	R _t = 150 mm (Recomendado)	R _t = 75 mm (Aceptable)	Guías cambio dirección Doble espesor	Guías cambio dirección Simple espesor
LONGITUD ADICIONAL EQUIVALENTE DE CONDUCTO RECTO (METROS)						
			Deflec- tores	Deflec- tores		
240	120	9,22	13,40 2	12,60 3	11,80	17,70
	90	7,38	10,82 2	9,22 3	8,85	13,40
	75	6,51	9,22 2	11,92 2	7,30	10,95
	60	5,65	9,84 1	8,36 2	5,90	8,85
	50	4,67	8,23 1	7,30 2	5	7,30
180	120	8,25	13,04 2	11,92 3	10,45	17,70
	90	6,90	9,80 2	8,65 3	8,66	13,40
	75	6,20	8,40 2	9,80 2	7,43	10,95
	60	5,05	8,48 1	7,31 2	6,33	8,85
	50	4,42	6,76 1	5,75 2	5,31	7,30
40	3,80	5,30 1	4,72 2	4,42	5,95	
30	3,56		4,50 1	3,20	4,50	
150	120	8	12,17 2	11,43 3	9,74	17,70
	90	6,51	9,10 2	8,06 3	8,56	13,40
	75	5,65	7,50 2	9,20 2	6,88	10,95
	60	4,77	8,06 1	7,75 2	5,98	8,85
	50	4,18	6,44 1	6,17 2	5,01	7,30
40	3,56	4,67 1	4,47 2	3,80	5,95	
30	2,95		4,21 1	2,95	4,50	
120	240	13,31	10,48 3			
	120	7,67	10,38 2	9,96 3	8,55	17,70
	90	5,90	7,67 2	6,60 3	6,88	13,40
	75	5,28	6,88 2	8,40 2	6,20	10,95
	60	4,42	7,13 1	6,20 2	5,28	8,85
	60	4,18	5,65 1	5,03 2	4,46	7,30
	40	3,26	4,42 1	4,18 2	3,59	5,95
	30	2,62		3,90 1	2,95	4,50
	25	2,40		3,24 1	2,38	3,56
20	2,39		2,67 1	2,08	2,98	
105	105	6,81	8,23 2	7,57 3	7,17	15,55
	90	5,90	7,05 2	6,31 3	6,56	13,40
	75	5,03	6,30 2	7,74 2	5,92	10,95
	60	4,42	6,26 1	5,64 2	4,75	8,85
	50	3,87	5,28 1	4,70 2	4,18	7,30
	40	3,25	4,11 1	3,85 2	3,54	5,95
	30	2,66		3,80 1	2,66	4,50
	25	2,40		2,99 1	2,36	3,56
	20	2,08		2,33 1	1,72	2,98
90	180	10,04	8,04 3			
	90	5,60	6,59 2	5,69 3	5,90	13,40
	75	4,79	5,70 2	6,64 2	5,28	10,95
	60	4,14	5,95 1	6,47 2	4,42	8,85
	60	3,53	5,03 1	4,42 2	3,80	7,30
	40	2,98	3,82 1	3,62 2	3,25	5,95
	30	2,70		3,56 1	2,70	4,50
	25	2,36		2,65 1	2,33	3,56
	20	2,08		2,36 1	1,72	2,98
80	80	5,00	5,53 2	5,10 3	5,09	11,98
	75	4,76	5,45 2	6,20 2	5,03	10,95
	60	4,11	5,89 1	5,09 2	4,39	8,85
	60	3,54	4,67 1	4,18 2	3,56	7,30
	40	2,95	3,52 1	3,56 2	3,19	5,95
	30	2,33		3,51 1	2,33	4,50
	25	2,08		2,66 1	2,08	3,56
	20	1,72		2,38 1	1,72	2,98

Carrier, Manual de Aire Acondicionado, Marcombo, 5ta Reimpresión.

Anexo 10.1: Tabla de Rozamiento en Codos Rectangulares.

TABLA 12. ROZAMIENTO EN CODOS RECTANGULARES (Cont.)

DIMENSIONES DEL CONDUCTO (cm)		CODO DE RADIO SIN GUÍAS	CODO DE RADIO CON GUÍAS ***		CODOS CUADRADOS ***	
						
W	D	Relación de radio ** R/D = 1,25	Rt = 150 mm (Recomendado)	Rt = 75 mm (Aceptable)	Guías cambio dirección Doble espesor	Guías cambio dirección Simple espesor
LONGITUD ADICIONAL EQUIVALENTE DE CONDUCTO RECTO (METROS)						
			Deflec- tores	Deflec- tores		
70	70	4,40	4,22 2	5,03 2	4,16	10,33
	60	3,84	5,10 1	4,45 2	3,84	8,85
	50	3,54	4,40 1	3,80 2	3,54	7,30
	40	2,95	3,19 1	3,28 2	2,95	5,95
	30	2,33		3,21 1	2,33	4,50
	25	2,08		2,68 1	2,08	3,58
	20	1,72		2,38 1	1,72	2,98
60	240*	11,28	5,65 3		6,82	23,83
	180*	9,48	5,13 3		6,26	21,46
	120*	6,56	6,02 2	5,96 3	6,32	18,30
	60	3,74	4,75 1	4,17 2	3,53	8,85
	50	3,26	3,84 1	3,54 2	2,95	7,30
	40	2,91	3,25 1	2,92 2	2,84	5,95
	30	2,33		2,99 1	2,34	4,50
	25	2,05		2,33 1	2,06	3,58
	20	1,75		2,08 1	1,73	2,98
	15	1,47		2,08 1	1,17	2,36
50	200*	9,47	4,88 3		5,65	19,83
	150*	7,76	5,65 2		5,03	17,41
	100*	6,50	4,50 2	4,13 3	4,13	14,57
	50	3,25	3,52 1	2,95 2	2,95	7,30
	40	2,66	2,61 1	2,70 2	2,37	5,95
	30	2,05		2,66 1	2,05	4,50
	25	1,80		2,37 1	1,80	3,58
	20	1,47		2,08 1	1,47	2,98
	15	1,17		2,08 1	1,17	2,36
40	160*	7,72	2,76 3		4,18	14,26
	120*	6,22	3,63 2	3,52 3	3,58	12,87
	80*	4,43	3,26 2	2,67 3	3,25	11,24
	40	2,66	2,38 1	2,40 2	2,08	5,95
	30	2,05		2,34 1	1,76	4,50
	25	1,76		1,77 1	1,49	3,58
	20	1,47		1,81 1	1,47	2,98
	15	1,17		1,81 1	1,17	2,36
30	120*	5,64	2,34 2	2,34 3	2,95	9,84
	90*	4,71	2,10 2	2,10 3	2,67	8,95
	60*	3,25	2,42 1	2,42 2	2,32	7,74
	30	2,05		2,01 1	1,49	4,50
	25	1,76		1,49 1	1,47	3,58
	15	1,15		1,47 1	1,16	2,98
	15	1,15		1,47 1	0,88	2,36
25	100*	5,53	1,79 2	1,88 3	2,33	7,99
	75*	3,81	1,79 2	2,36 2	2,07	7,18
	50*	2,65	2,08 1	1,78 2	1,78	6,25
	25	1,47		1,49 1	1,19	3,58
	15	1,19		1,49 1	1,16	2,98
	15	1,19		1,49 1	0,88	2,36
20	80*	3,82	1,53 2	1,23 3	1,79	6,26
	60*	3,21	1,77 1	1,49 2	1,79	5,65
	40*	2,33	1,15 1	1,47 2	1,47	4,73
	20	1,16		1,17 1	0,89	2,98
	15	0,88		1,17 1	0,89	2,36
15	60*	2,95	1,17 1	1,19 2	1,19	4,45
	45*	2,37	0,88 1	1,19 2	1,17	3,83
	30*	1,72		1,19 1	0,89	3,01
	15	0,88		1,19 1	0,89	2,36

* Dobladuras difíciles como la representada.

Dobladura difícil



Dobladura fácil



** Para otras relaciones de radio, véase tabla 10.

*** Para otras dimensiones, véase tabla 10.

Los deflectores deben estar colocados como muestra el gráfico 6 página 29, para obtener estas mínimas pérdidas.

Anexo 11: Manual de Rexnord para Diseño y Selección de Cadena.

Anexo 11.1: Selección de Tipo o Clasificación de Cadena Transportadora.

Design and Selection

Conveyor Chain Selection Procedures

Conveyor Classes

A consideration closely related to the type of conveyor chain is the conveyor class. Six conveyor classes have been established on the basis of friction factors involved with the movement of the chain (sliding or rolling) and the movement of the material (sliding or carried). These six classes are described in terms of chain and material movement in the following table:

Conveyor Classes		
Class	Chain	Material
1	Sliding, with flights	Sliding
1A	Sliding, without flights	Sliding
2	Rolling	Sliding
3	Sliding	Carried
4	Rolling	Carried
4A	Supplemental Roller	Carried

Rexnord and Link-belt Engineered Steel Chains. Rexnord 2014.

Anexo 11.2: Procedimiento para el Cálculo de Cadena Transportadora.

Design and Selection

This procedure is intended to serve primarily as a guide for selecting a general type, or class, of chain when a new conveyor is designed. When following the step-by-step instruction outlined, the user may find that more than one type of chain will fit the particular conveyor requirement. In such a case the final selection of the chain may be affected by such factors as allowable sprocket diameters, space limitations for chain, chain pitch, and many other environmental and design factors peculiar to the particular conveyor being designed. Contact your Rexnord representative for assistance in selecting the best chain when a choice of more than one class is indicated.

Parts of this section will prove useful in determining whether the chain on existing installations is the most economical choice, and will also serve as a guide to upgrading existing installations where service life is not satisfactory.

Procedure

There are six basic steps in selecting the proper type of chain for a conveyor installation.

1. Determine the class of conveyor.
2. Estimate the total chain pull.
3. Determine the design working load.
4. Make a tentative chain selection.
5. Make tentative selection of attachment links.
6. Verify chain selection and re-check design working load.

Step 1. Determine the Class of Conveyor

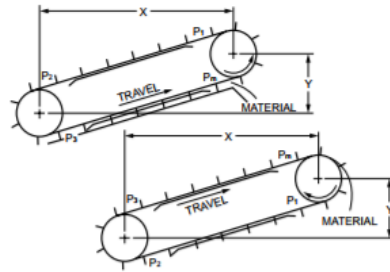
Check the sections on Conveyor Types, Conveyor Classes, and Method of Chain Travel in relation to your conveying problem. Make a tentative selection of a conveyor class required from the table on page 103.

Step 2. Estimate the Total Chain Pull (Pm).

Use the formula which applies to the conveyor class tentatively selected and calculate total chain pull (Pm) which is total conveyor chain pull. For conveyors that are partly horizontal and partly inclined, calculate the chain pull for each section, and add to obtain total chain pull. Note: Calculations assume properly adjusted take up equipment. If take-up force is adjusted to exceed the calculated value (P₂ + P₃), excessive chain loading may result.

Class 1, 1A and 2 Conveyors

(Chain sliding or rolling; Material sliding)



Formulas for Calculating Total Chain Pull (Pm)

Horizontal: $\left(\frac{Y}{X} \text{ is less than } f_1\right)$

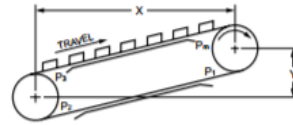
$$P_m = X(2f_1W + f_2M + \frac{h^2}{C}) + MY$$

Inclined: $\left(\frac{Y}{X} \text{ is greater than } f_1\right)$

$$P_m = X(f_1W + f_2M + \frac{h^2}{C}) + Y(W + M)$$

Class 3, 4 and 4A Conveyors

(Chain sliding, rolling or in tension; Material carried)



Formulas for Calculating Total Chain Pull (Pm)

Horizontal: $\left(\frac{Y}{X} \text{ is less than } f_1\right)$

$$P_m = f_1X(2W + M) + MY + h^2X$$

Inclined: $\left(\frac{Y}{X} \text{ is greater than } f_1\right)$

$$P_m = (M + W)(f_1X + \frac{Y}{C}) + h^2X$$

Formulas for Calculating Horsepower (HP)

Horizontal:	Inclined:
$HP = \frac{1.15(S)(P_m)}{33,000}$	$HP = \frac{1.15(S)(P_m - P_1)}{33,000}$
	$P_1 = W(Y - f_1X)$
	$P_2 = P_3 = 0$

Note: Symbol identification given on page 107.

Anexo 11.3: Procedimiento para el Cálculo de Cadena Transportadora.

Design and Selection

Conveyor Chain Selection Procedures – (Cont'd.)

Symbols

f1 = Coefficient of Friction – chain sliding or rolling on runway. See next column for specific value of the coefficient.
If chain is supported by flights, etc., f1 should be coefficient for flights sliding on conveyor ways.

f2 = Coefficient of Friction – material sliding on trough. (See Table in next column).

M = Weight of material handled per foot of conveyor (lb./ft.)

$$M = \frac{(TPH)(33.3)}{S}$$

$$M = \frac{(CFH) (\text{Mat'l. Density in LB/FT}^3)}{60(S)}$$

W = Weight of moving conveyor parts – chains, flights, slats, etc., per foot of chain (lbs/ft). Depending on the method of chain travel, use the following factors for estimating approximate chain weight (lbs/ft) if actual chain weight is unknown.
 Material or chain sliding – .0015 x Total weight of material on conveyor at any time (lbs.). (Classes 1, 1A, 2 or 3)
 Material carried and chain rolling .0005 x Total weight of material on conveyor at any time (lbs.). (Classes 4 and 4A)
For example: If a Class 4 Conveyor is used and the total material weight is 40,000 pounds, then 40,000 x .0005 = 20.0
 Use 20.0 Lbs/Ft. as an estimated chain weight for "W" in the above equation. Add the estimated Weight/Ft. on the flights or slats that will be used.

h = Height of material rubbing against side of conveyor trough (inches).

c = Trough side friction constant (see Table in next column).

Pm = Total Maximum chain pull (lbs)

**P1 }
P2 }
P3 }** Chain pull at point indicated (lbs)

HP = Required horsepower at headshaft

S = Conveyor Speed (ft/min)

TPH = Capacity in Tons per Hour = $\frac{MS}{33.3}$

Sign and Selection

CFH = Capacity in cubic feet per hour

$$= \frac{TPH \times 2000}{(\text{Mat'l. Density in lb/ft}^3)}$$

X = Horizontal center distance (ft.)
Y = Vertical rise (ft.)

Chain Friction Factors (f1)

Chain Sliding
 Chain Sliding on Steel Track – unlubricated3-.5
 Chain Sliding on Steel Track – lubricated2
 Chain Sliding on Hard Wood5
 Chain Sliding on Non-Metallic Wear Strips:
 Chain Sliding on Ultra-High Molecular Weight Polyethylene15-.4

Chain Rolling

$$f_1 = f_r \frac{d_a}{d_r}$$

Where: d_a = axle diameter (inches)(usually bushing O.D.)
 d_r = roller outside diameter (inches)

(Fr) For Metal Rollers			
Cast Rollers		Steel Rollers	
Dry	Lubricated	Dry	Lubricated
	.6		.4
Lubricated	.4	Lubricated	.3

For LF (Low Friction material) Bushed Rollers, $f_r = .25$

Material Friction Factors

Materials	Friction Factor Mat'l Sliding on Steel Trough (f2)	Trough Side Friction Factor (c)
Aluminum	.40	27
Ashes, Coal, Dry	.50	36
Ashed, Coal, Wet	.60	55
Bagasse	.40	200
Cement, Portland	.65	12
Cement Clinker	.70	12
Coal, Anthracite, Sized	.40	25
Coal, Anthracite, Run of Mine	.45	20
Coal, Bituminous, Sized	.50	21
Coal, Bituminous, Run of Mine	.55	20
Coke, Mixed	.55	42
Coke, Breeze	.65	36
Grains	.40	23
Gravel, Dry	.45	12
Gravel, Run of Bank	.60	11
Ice, Crushed	.15	34
Lime, Pebble	.50	28
Sand, Dry	.60	7
Sand, Damp	.85	6
Stone, Screened	.60	9
Wood Chips, Pulp Logs	.40	48

Rexnord and Link-belt Engineered Steel Chains. Rexnord 2014

Anexo 11.4: Procedimiento para el Cálculo de Cadena Transportadora.

Design and Selection

Design and Selection

Step 3. Determine the Design Working Load

The determination of chain pull (Pm) is for static conditions and does not include consideration of the following dynamic conditions:

- Loading fluctuations that may exceed the static load condition. These fluctuations are provided for by the Service Factor. (See table below.)
- The conveyor chain speed and the number of teeth in the sprockets used. These items are provided for by the Speed Factor (Fs). (See table below.)

Calculate the Design Working load by modifying Pm as follows:

For single strand conveyor:
 Design Working Load = Pm x Service Factor x Speed Factor

For multiple strand conveyor:
 Design Working Load = Pm x Service Factor x Speed Factor x $\frac{1.2}{\text{No. of Strands}}$

The multiplier (1.2) is used to provide for possible overloads in one of the strands caused by unequal load sharing distribution.

Speed Factors (Fs)

No. of Teeth on Sprocket	50		100		150		200		300		400	
	Cast Chain	Engineered and Welded Steel Chain	Cast Chain	Engineered and Welded Steel Chain	Cast Chain	Engineered and Welded Steel Chain	Cast Chain	Engineered and Welded Steel Chain	Cast Chain	Engineered and Welded Steel Chain	Cast Chain	Engineered and Welded Steel Chain
6	1.6	1.4	2.3	2.0	2.3	2.9	5.0	4.4	—	—	—	—
7	1.3	1.1	1.6	1.4	2.0	1.8	2.6	2.3	4.5	4.0	—	—
8	1.2	1.0	1.4	1.3	1.7	1.5	2.0	1.8	2.9	2.5	4.2	3.6
9	1.1	1.0	1.3	1.2	1.6	1.4	1.8	1.6	2.3	2.0	2.9	2.6
10	1.0	0.9	1.3	1.1	1.4	1.2	1.6	1.4	1.9	1.7	2.3	2.0
11	1.0	0.9	1.2	1.0	1.3	1.2	1.5	1.3	1.7	1.5	2.1	1.8
12	1.0	0.9	1.1	1.0	1.3	1.1	1.4	1.2	1.6	1.4	1.9	1.6
14	1.0	0.8	1.1	0.9	1.2	1.0	1.3	1.1	1.5	1.3	1.7	1.4
16	0.9	0.8	1.0	0.9	1.1	1.0	1.2	1.0	1.4	1.2	1.5	1.3
18	0.9	0.8	1.0	0.9	1.0	0.9	1.2	1.0	1.3	1.1	1.5	1.3
20	0.9	0.8	1.0	0.9	1.0	0.9	1.1	1.0	1.3	1.1	1.5	1.2
24	0.9	0.8	0.9	0.8	1.0	0.9	1.1	0.9	1.2	1.0	1.3	1.2

Note: If sprocket size has not yet been determined, use a speed factor for a 12-tooth sprocket. Refer to sprocket selection beginning on page 75.

Determination of Speed Factor for Traction Wheels

- Determine effective pitch diameter (PD_{eff}): (PD_{eff}) = Traction wheel O.D. + barrel O.D. (chain)
- Compare (PD_{eff}) to pitch diameters of standard engineering sprockets. If (PD_{eff}) falls between two standard pitch diameters, go to the lower value.
- The standard pitch diameter chosen from No. 2 above will give the number of teeth.
- Knowing the number of teeth and chain speed, speed factor (Fs) can be determined.

The "Start-Stop" and "% loaded" parameters are intended to guide you in classifying the severity of loading for your conveyor. If these two parameters fall into different categories (ex. start-stop less than 5/Day, % loaded at a time 5-20%) use the more severe classification (moderate).

Service Factor

Type of Load	Operating Conditions ①		Daily Operated Period	
	Start Stop Frequency Under Load	% Load Added At a Time	8-10 Hrs.	24 Hrs.
Uniform	Less Than 5/Day	Less Than 5%	1.0	1.2
Moderate Peaks	5/Day to 2/Hr.	5-20%	1.2	1.4
High Peaks	2/Hr. to 10/Hr.	20% to 40%	1.5	1.8

	Operating Conditions	Service Factors
	Up to 200°F (93°C)	1.0
Temperature	200°F to 350°F (93°C to 177°C)	1.1
	350°F to 500°F (177°C to 260°C)	1.2
	Above 500°F (260°C)	Contact Rexnord

① Reversing under load can be damaging and requires special consideration. Contact Rexnord for additional information.

Rexnord and Link-belt Engineered Steel Chains. Rexnord 2014

Anexo 11.5: Procedimiento para el Cálculo de Cadena Transportadora.

Design and Selection

Conveyor Chain Selection Procedures – (Cont'd.)

Step 4. Make Tentative Chain Selection

To aid in making the selection, consider the following:

- a. The wear life and relative cost of each type.
- b. Short conveyor centers and high chain speeds produce rapid joint wear and chain elongation. These conditions suggest a chain with a high (A or B) wear rating.
- c. Heavy loads produce rapid sliding and rolling wear. These conditions suggest a chain with a high (A or B) sliding or rolling wear rating.
- d. Conveyors operating in highly abrasive surroundings require hard bearing surfaces. This condition would suggest a steel chain.
- e. Mildly abrasive or moderately corrosive conditions may indicate that a cast chain is the economical choice.
- f. Corrosive atmospheres reduce the fatigue strength of component parts. In this case, chain with armor cased pins are recommended.
- g. The chain pitch may be dictated by the required spacing of attachment links. A longer pitch is more economical while a shorter pitch requires less room for sprockets. In many cases a 4" to 6" pitch chain is considered a good compromise.
- h. The selection procedure outlined is applicable only if temperatures of the chain will remain within -40°F and +350°F. Special lubricants may be needed above 250°F. If these temperature limits will be exceeded, contact your Rexnord representative.

Additional factors such as sprocket availability and price, chain delivery lead time and chain price should also be considered in making the final choice.

In making the final selection reliability should be a primary consideration. Cast chains, in general, do a good job in sliding applications and have excellent corrosion resistance. However, in critical applications where overloads may be encountered, Engineered Steel and Welded Steel chains will usually provide longer and more dependable service. It is recommended, therefore, that the final selection be made from the listings of Engineered Steel and Welded Steel chains. Refer to the detail listings for the type of chain selected and select a specific chain that has a working load at least equal to the design working load and meets the pitch and space requirements.

REXNORD DOES NOT RECOMMEND CAST, CAST COMBINATION NOR WELDED STEEL CHAINS FOR ELEVATOR SERVICE.

Step 5. Make Tentative Selection of Attachment Links

Refer to the section on attachments. On the basis of the information here and on the basis of the chain selected, tentatively select the desired attachment links.

Step 6. Verify Chain Selection and Re-Check Design Working Load

Recalculate total chain pull (Pm) and design working load using the exact chain and attachment weight as given in the listings to verify that the selected chain will meet the requirements.

Selection Procedure for Double Flex Chains

This procedure is the same as that for standard chains except that the "Chain Pull" as determined must be modified. The modification is necessary because the chain is flexing around curves and additional tension is developed because of the friction between the sides of the chain and curves. The chain pull must be calculated on a cumulative basis, with the "Turn Factor" for each curve taken into account. Contact Rexnord for assistance in applying the proper "Turn Factor" for your conveyor.

Anexo 12: Catalogo y Características de la Cadena Transportadora.

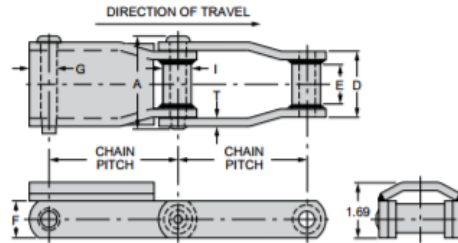
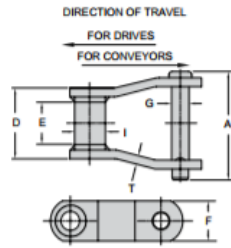
Welded Steel Chains

Narrow Series WH, WHX AND WSX

- WH chains have all parts thru-hardened.
- WHX chains have thru-hardened parts and selectively induction hardened rivets as standard.
- WSX chains have all stainless steel construction. Sidebars are 300 series; pins and barrels are precipitation hardened stainless.
- Riveted construction is standard. Pin and cottered construction can be furnished on a made-to-order basis.



Renxord has chosen to offer the higher performance WHX and WSX Series Welded Steel chain instead of the WR Series. This Series is no longer available.



Narrow Series

Dimensions are in inches. Strengths, loads and weights are in pounds.

Renxord Chain No.	Average Pitch	A	E	Sidebars		Pins			Barrel			Minimum Ultimate Strength, Lbs. x 10 ³	Rated Working Load	Average Weight Per Foot	Sprocket Unit No. (1)
				Thickness T	Height F	G	D	I							
WH78	2.609	2.98	1.12	0.25	1.13	0.50	2.00	0.88	24,000	3,500	4	78			
WH82	3.075	3.25	1.25	0.25	1.25	0.56	2.25	1.22	29,500	4,400	6	103			
WHX124	4.000	4.18	1.63	0.38	1.50	0.75	2.81	1.44	50,500	7,350	9	H124			
WHX124HD	4.063	4.82	1.63	0.50	2.00	0.88	3.00	1.63	80,000	9,150	14	H124			
WSX124	4.000	4.35	2.01	0.38	1.50	0.75	2.81	1.44	Contact Renxord	14	14	H124			
WHX111	4.760	4.79	2.25	0.38	1.50	0.75	3.38	1.44	50,500	8,850	8	111			
WHX106	6.000	4.18	1.63	0.38	1.50	0.75	2.81	1.44	50,500	7,350	7	106			
WHX106XHD	6.050	4.87	1.63	0.50	2.00	1.00	3.00	1.75	Contact Renxord	13	106				
WH110	6.000	4.57	1.88	0.38	1.50	0.75	3.00	1.25	50,500	7,900	7	110			
WHX132	6.050	6.31	3.00	0.50	2.00	1.00	4.38	1.75	85,000	15,000	14	132			
WSX132	6.050	6.25	3.00	0.50	2.00	1.00	4.38	1.75	Contact Renxord	14	132				
WHX150	6.050	6.31	3.00	0.50	2.50	1.00	4.38	1.75	90,000	15,000	16	132			
WHX155	6.050	6.48	2.75	0.56	2.50	1.13	4.38	1.75	102,000	17,500	19	132			
WHX157	6.050	6.88	2.75	0.63	2.50	1.13	4.63	1.75	117,000	18,200	20	132			
WHX2855	6.050	6.57	2.75	0.63	2.50	1.25	4.63	1.75	140,000	20,250	20	132			
WHX3855	6.050	6.57	2.75	0.63	3.00	1.25	4.63	1.75	175,000	20,250	22	132			
WHX159	6.125	6.87	2.88	0.63	3.00	1.25	4.63	2.00	204,000	20,250	27	132			
WHX4855	12.000	6.57	2.75	0.63	2.50	1.25	4.63	1.75	119,000	20,250	15	4855			

(1) Cast or fabricated sprockets may be used.
Other sizes available upon request. Minimum order quantities may be required on some parts.

Anexo 13: Catalogo y Características de la Cadena Transportadora.

Engineering Data

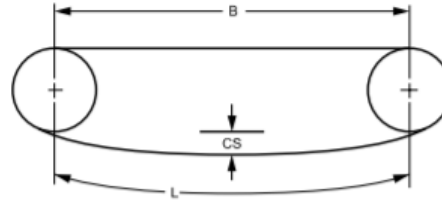
Catenary Sag

The return strand of a chain normally has some slack. This slack results in a sag, called catenary sag, of the chain. This sag must be of the correct amount if the chain is to operate properly. If the return strand is too tight (too little catenary sag), the load and the wear on working parts will be excessive. If the return strand is too loose, vibration and unwanted chain flexure will result. A chain that is properly installed will permit flexing of the return strand by hand. This flexure, measured from a straight line, should not be less than about 3% of the horizontal center distance. The amount of catenary sag that will be present can be calculated as follows:

$$CS = \sqrt{.375 BE}$$

Where: CS = Catenary sag (inches)
 L = Return strand length (inches)
 B = Center distance (inches)
 E = Excess chain, L – B (inches)

Depending on the combination of chain pitch, sprocket center distance, and number of teeth in the sprockets, there will always be excess chain in the system. The catenary sag resulting from this excess chain for various sprocket center distances is given in the table below.



Catenary Sag

Dimensions are in inches.

Center Distance	Excess Chain																	
	.063	.125	.188	.250	.313	.375	.438	.500	.625	.750	.875	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
10	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.7	1.8	1.9	2.4	2.7	3.1	3.4	3.6	3.9
20	0.7	1.0	1.2	1.4	1.5	1.7	1.8	1.9	2.2	2.4	2.6	2.7	3.4	3.9	4.3	4.7	5.1	5.5
30	0.8	1.2	1.5	1.7	1.9	2.1	2.2	2.4	2.7	2.9	3.1	3.4	4.1	4.7	5.3	5.8	6.3	6.7
40	1.0	1.4	1.7	1.9	2.2	2.4	2.6	2.7	3.1	3.4	3.6	3.9	4.7	5.5	6.1	6.7	7.2	7.7
50	1.1	1.5	1.9	2.2	2.4	2.7	2.9	3.1	3.4	3.8	4.1	4.3	5.3	6.1	6.8	7.5	8.1	8.7
60	1.2	1.7	2.1	2.4	2.7	2.9	3.1	3.4	3.8	4.1	4.4	4.7	5.8	6.7	7.5	8.2	8.9	9.5
70	1.3	1.8	2.2	2.6	2.9	3.1	3.4	3.6	4.1	4.4	4.8	5.1	6.3	7.2	8.1	8.9	9.6	10.2
80	1.4	1.9	2.4	2.7	3.1	3.4	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.5	6.7	7.7	8.7	9.5	10.2	11.0
90	1.5	2.1	2.5	2.9	3.2	3.6	3.8	4.1	4.6	5.0	5.4	5.8	7.1	8.2	9.2	10.1	10.9	11.6
100	1.5	2.2	2.7	3.1	3.4	3.8	4.1	4.3	4.8	5.3	5.7	6.1	7.5	8.7	9.7	10.6	11.5	12.2
110	1.6	2.3	2.8	3.2	3.6	3.9	4.2	4.5	5.1	5.6	6.0	6.4	7.9	9.1	10.2	11.1	12.0	12.8
120	1.7	2.4	2.9	3.4	3.8	4.1	4.4	4.7	5.3	5.8	6.3	6.7	8.2	9.5	10.6	11.6	12.5	13.4
130	1.7	2.5	3.0	3.5	3.9	4.3	4.6	4.9	5.5	6.0	6.5	7.0	8.6	9.9	11.0	12.1	13.1	14.0
140	1.8	2.6	3.1	3.6	4.1	4.4	4.8	5.1	5.7	6.3	6.8	7.2	8.9	10.2	11.5	12.5	13.6	14.5
150	1.9	2.7	3.2	3.8	4.2	4.6	5.0	5.3	5.9	6.5	7.0	7.5	9.2	10.6	11.9	13.0	14.0	15.0
160	1.9	2.7	3.4	3.9	4.3	4.7	5.1	5.5	6.1	6.7	7.2	7.7	9.5	11.0	12.2	13.4	14.5	15.5
170	2.0	2.8	3.5	4.0	4.5	4.9	5.3	5.6	6.3	6.9	7.5	8.0	9.8	11.3	12.6	13.8	14.9	16.0
180	2.1	2.9	3.6	4.1	4.6	5.0	5.4	5.8	6.5	7.1	7.7	8.2	10.1	11.6	13.0	14.2	15.4	16.4
190	2.1	3.0	3.7	4.2	4.7	5.2	5.6	6.0	6.7	7.3	7.9	8.4	10.3	11.9	13.3	14.6	15.8	16.9
200	2.2	3.1	3.8	4.3	4.8	5.3	5.7	6.1	6.8	7.5	8.1	8.7	10.6	12.2	13.7	15.0	16.2	17.3

Note: Values above and to the right of the heavy stepped line represent 3% or greater sag.

Rexnord and Link-belt Engineered Steel Chains. Rexnord 2014

Anexo 14: Catalogo y Características de la Cadena Transportadora.

Engineering Data

Minimum Chain Length

The approximate chain length may be obtained using this formula:

$$L_p = 2CDp + \frac{N+n}{2} + K$$

Where: **Lp** = Length of chain, in Pitches
CDp = Distance between shaft centers, in Pitches
N = Number of teeth on Driven sprocket
n = Number of teeth on Driver sprocket
K = $.0258 \times \frac{(N-n)^2}{CDp}$

Feet of chain = $\frac{\text{Chain Length (pitches)} \times \text{Pitch of Chain (Ins.)}}{12}$

Power And Cycle Calculations

Horsepower

$$HP = \frac{T (RPM)}{63000}$$

$$HP = \frac{P (FPM)}{33000}$$

Where: **T** = Torque (Inch-Lb.)
P = Net chain pull (lbs.)
RPM = Shaft speed (Rev./Minute)
FPM = Chain speed (Ft./Minute)

Chain Speed (In FPM)

$$FPM = \frac{RPM (\text{no. of teeth}) (\text{pitch in inches})}{12}$$

Number of Cycles of Chain Operation

A cycle is defined as one complete traverse of a given link around the sprockets and back to its starting point. The number of cycles a chain has been operated can be calculated as follows:

$$\text{Total Cycles} = \frac{(\text{no. of teeth}) (RPM) (60) (HR)}{(\text{no. of Pitches in Chain})}$$

Where: **HR** = Total operating time (hours)

Catenary Tension

The tension in the chain on the slack side, caused by the catenary sag of the unsupported chain, can be calculated from the following formula:

$$T = \frac{B^2 \times W + W \times CS}{96 CS \quad 12}$$

Where: **T** = Chain tension due to catenary sag (lbs.)
B = Center Distance (inches)
W = Weight of chain (lbs./ft.)
CS = Catenary sag (inches)

Catenary tension for a chain weighing one pound per foot is shown in the accompanying table. To find the tension in a chain weighing "W" pounds per foot, multiply the listed value by "W".

Catenary Tension – Pounds

Dimensions are in inches.

Center Distance	Amount of Catenary Sag																	
	.125	.25	.375	.50	.75	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0	14.0	16.0
10	8.3	4.2	2.8	2.1	1.5	1.1	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	1.1	1.2	1.4
20	33.3	16.7	11.1	8.4	5.6	4.3	2.3	1.6	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.5	1.6
30	75.0	37.5	25.0	18.8	12.6	9.5	4.9	3.4	2.7	2.3	2.1	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9
40	133.3	66.7	44.5	33.4	22.3	16.8	8.5	5.8	4.5	3.8	3.3	3.0	2.8	2.6	2.5	2.4	2.4	2.4
50	208.3	104.2	69.5	52.1	34.8	26.1	13.2	8.9	6.8	5.8	4.8	4.3	3.9	3.6	3.4	3.2	3.0	3.0
60	300.0	150.0	100.0	75.0	50.1	37.6	18.9	12.8	9.7	7.9	6.8	5.9	5.4	4.9	4.6	4.1	3.8	3.7
70	408.3	204.2	136.1	102.1	68.1	51.1	25.7	17.3	13.1	10.6	9.0	7.9	7.0	6.4	5.9	5.3	4.8	4.5
80	533.3	266.7	177.8	133.4	89.0	66.8	33.5	22.5	17.0	13.8	11.6	10.1	9.0	8.2	7.5	6.6	5.9	5.5
90	675.0	337.5	225.0	168.8	112.6	84.5	42.4	28.4	21.4	17.3	14.6	12.6	11.2	10.1	9.3	8.0	7.2	6.6
100	833.3	416.7	277.6	208.4	139.0	104.3	52.3	35.0	26.4	21.3	17.9	15.5	13.7	12.3	11.3	9.7	8.6	7.8
110	1008.0	504.2	336.1	252.1	168.1	126.1	63.2	42.3	31.8	25.6	21.5	18.6	16.4	14.8	13.4	11.5	10.2	9.2
120	1200.0	600.0	400.0	300.0	200.1	150.1	75.2	50.3	37.8	30.4	25.5	22.0	19.4	17.4	15.8	13.5	11.9	10.7
130	1406.0	704.2	469.5	352.1	234.8	176.1	88.2	58.9	44.3	35.6	29.8	25.7	22.7	20.3	18.4	15.7	13.7	12.3
140	1633.0	816.7	544.5	408.4	272.3	204.3	102.3	68.3	51.4	41.3	34.5	29.8	26.2	23.4	21.3	18.0	15.8	14.1
150	1875.0	937.5	625.0	468.8	312.6	234.5	117.4	78.4	58.9	47.3	39.6	34.1	30.0	26.8	24.3	20.5	17.9	16.0
160	2133.0	1067.0	711.1	533.4	355.6	266.8	133.5	89.1	67.0	53.8	44.9	38.7	34.0	30.4	27.5	23.2	20.2	18.0
170	2408.0	1204.0	802.8	602.1	401.5	301.1	150.7	100.6	75.6	60.6	50.7	43.6	38.3	34.2	30.9	26.1	22.7	20.1
180	2700.0	1350.0	900.0	675.0	450.1	337.6	168.9	112.8	84.7	67.9	56.8	48.8	42.9	38.3	34.6	29.1	25.3	22.4
190	3008.0	1504.0	1003.0	752.1	501.5	376.1	188.2	125.6	94.3	75.6	63.2	54.3	47.7	42.5	38.4	32.2	28.0	24.8
200	3333.0	1667.0	1111.0	833.4	556.6	416.8	208.5	139.1	104.5	83.8	69.9	60.1	52.8	47.0	42.5	35.7	30.9	27.4

For chain weighing one pound per foot.

122 (5050)


Anexo 15.1: Catalogo y Características del Quemador.

Eclipse RatioMatic Quemadores

Modelo RM0400

Hoja de datos Edition 08.15

Versión 6

Parámetro	Especificaciones		
	Presión de Cámara "w.c. (mbar)	50 Hz	60 Hz
Tipo de ventilador			
Potencia máxima, Btu/h (kW)¹ <i>Para cámaras de presión diferentes a las indicadas o cámaras con condiciones de presión variable, contacte con Eclipse.</i>	-4.0 (-10.0)	4,400,000 (1290)	4,500,000 (1310)
	-2.0 (-5.0)	4,180,000 (1225)	4,280,000 (1250)
	0.0 (0.0)	3,900,000 (1140)	4,000,000 (1170)
	2.0 (5.0)	3,600,000 (1055)	3,700,000 (1080)
	5.0 (12.4)	3,050,000 (895)	3,150,000 (920)
Potencia mínima, aire-gas proporcional, Btu/h (kW)²	65,000 (19)		
Presión entrada gas principal, "w.c. (mbar)³ <i>Presión del combustible a la entrada del regulador proporcional</i>	Gas Natural	20 a 55 (50 a 140)	
	Propano / Butano	20 a 35 (50 a 90)	
Longitud de llama a potencia máxima, pulgadas (mm) <i>Medido desde la salida de la tobera.</i>	Gas Natural	65 (1650)	
	Propano / Butano	70 (1780)	
Temperatura máxima en cámara, °F (°C)	Tobera Aleación	1500 (815)	
	Tobera de material refractario	1900 (1038)	
Detección de llama	Tobera Aleación	Electrodo de ionización o célula UV	
	Tobera de material refractario	Sólo célula UV	
Combustible⁴ <i>Para cualquier otra mezcla de gases, contactar con Eclipse, Inc.</i>	Gas Natural, Propano o Butano		
Potencia del motor del ventilador, Hp (kW)	2.0 (1.5)		
Peso, lbs (kg)⁵	Tobera Aleación	143 (65)	
	Refractario	267 (121)	
APROBACIÓN	 AN30		

¹ Las potencias máximas para las versiones de ventilador unitario que se facilitan son para el ventilador de aire de combustión estándar sin filtro para el aire entrante.

² Ratio de potencia basado en condiciones de cámara neutra. Contacte con Eclipse para otras presiones de cámara.

³ Para un rendimiento correcto, esta presión debe mantenerse constante en el rango de operación del quemador.

⁴ Consulte la Guía de Diseño 110 para obtener más información sobre la composición y las propiedades habituales del combustible.

⁵ Todos los pesos indicados son aproximados.

- Toda la información está basada en tests de laboratorio. Dimensiones de cámara y condiciones distintas pueden variar los datos.
- Todas las potencias se basan en valores caloríficos aproximados y condiciones estándar; uno atmósfera, 21°C.

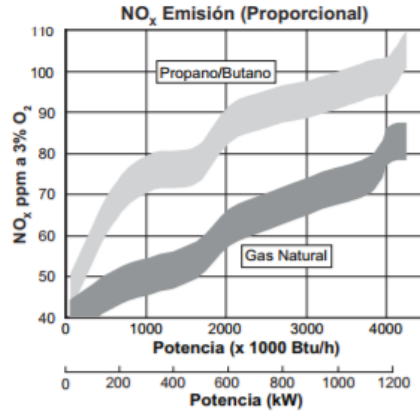
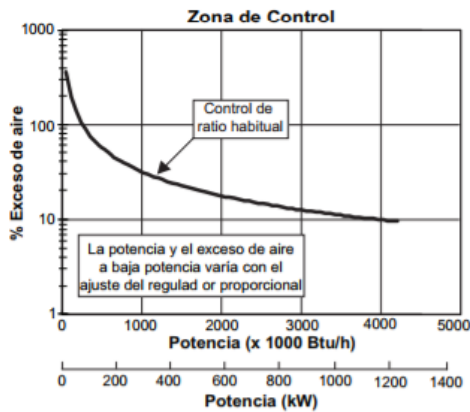
Eclipse se reserva el derecho de cambiar la construcción y/o la configuración de sus productos en cualquier momento sin ser obligado a ajustar los suministros anteriores de acuerdo con las nuevas especificaciones.



Eclipse, RatioMatic RM0400, V6, Hoja de datos, Edition 08.15

Anexo 15.2: Catalogo y Características del Quemador.

Gráficos de Características



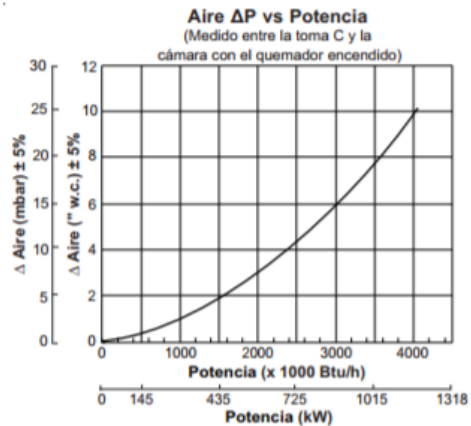
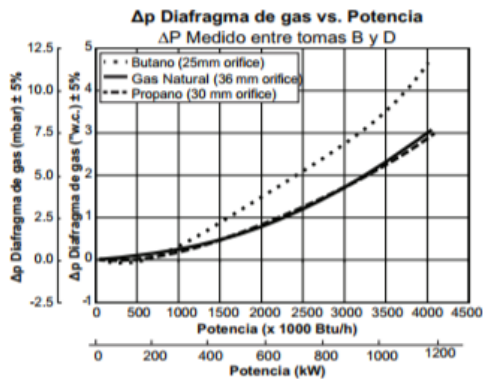
Datos emisión NOx dados para:

- Aire ambiente de combustión ~70°F (21°C)
- Menos de 700°F (370°C) en cámara de combustión
- Velocidad mínima del aire proceso
- Potencia mínima ajustada a 20,000 Btu/h (6 kW)
- ppm volumen, seco a @ 3% de O₂
- Presión cámara neutra

Las emisiones del quemador están influenciadas por:

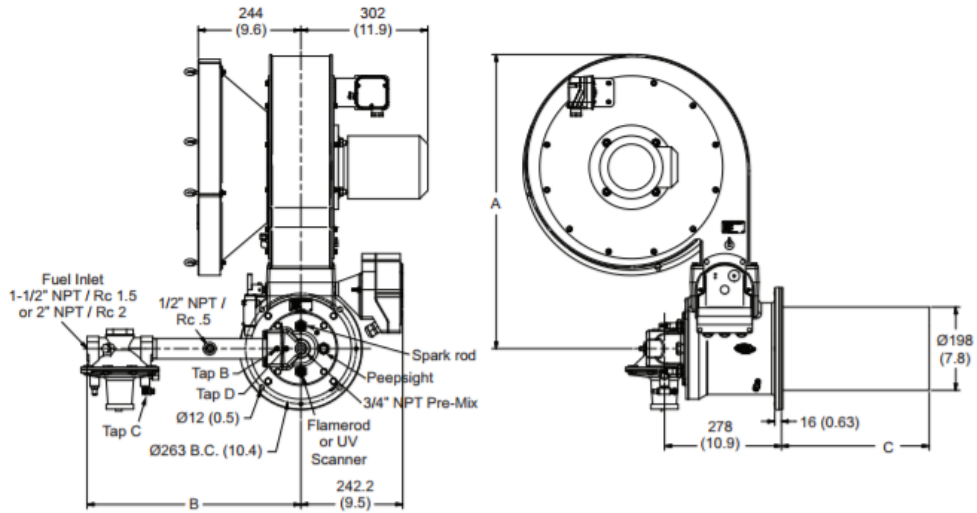
- Condiciones de la cámara
- Tipo de combustible
- Potencia aplicada
- Ajuste del regulador proporcional
- Temperatura Aire Combustión

Las emisiones de CO están muy influenciadas por las condiciones de cámara. Contacte con el representante local de Eclipse para una estimación de las emisiones de CO en su aplicación.



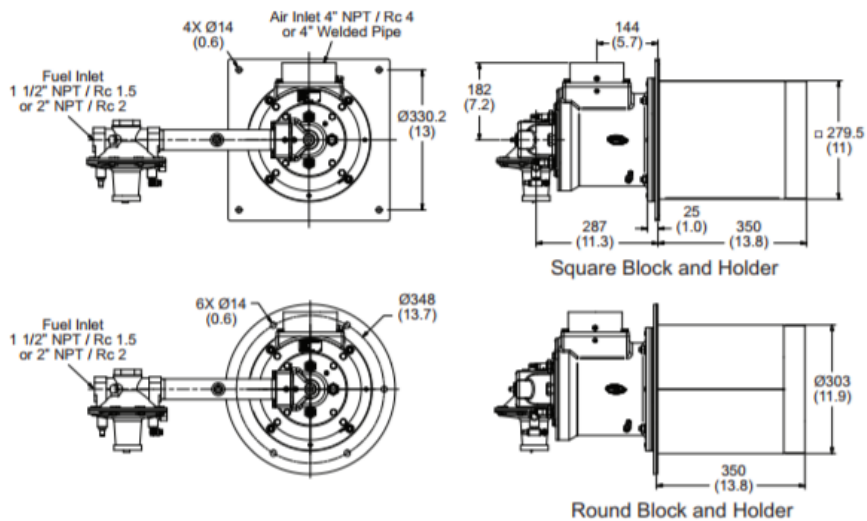
Anexo 15.3: Catalogo y Características del Quemador.

Dimensiones y Especificaciones Dimensiones en mm (pulgadas)



Tamaño del ventilador	A
50 Hz	700 (27.6)
60 Hz	663 (26.1)

Tipos de Tobera	B	C
Tubo recto de aleación de acero inoxidable	502 (19.8)	351 (13.8)
Tubo recto de aleación de acero inoxidable	502 (19.8)	427 (16.8)

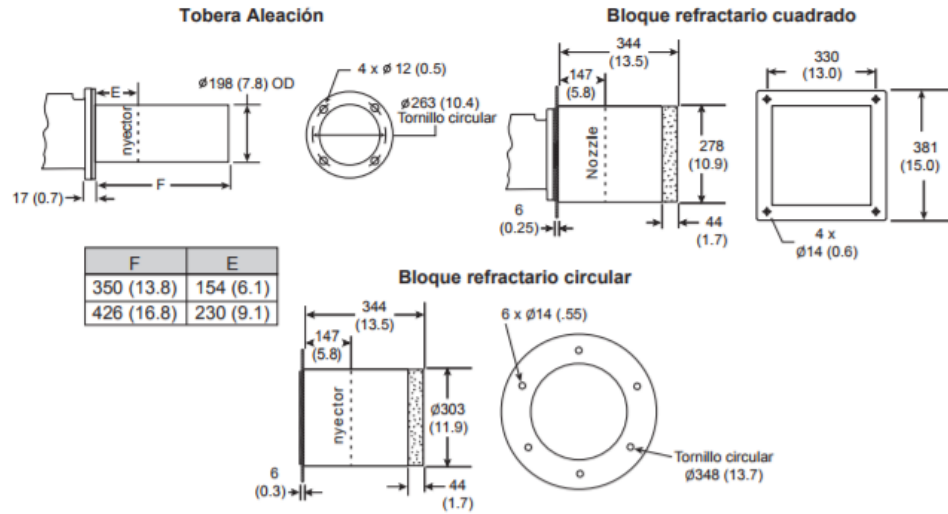


Anexo 15.4: Catalogo y Características del Quemador.

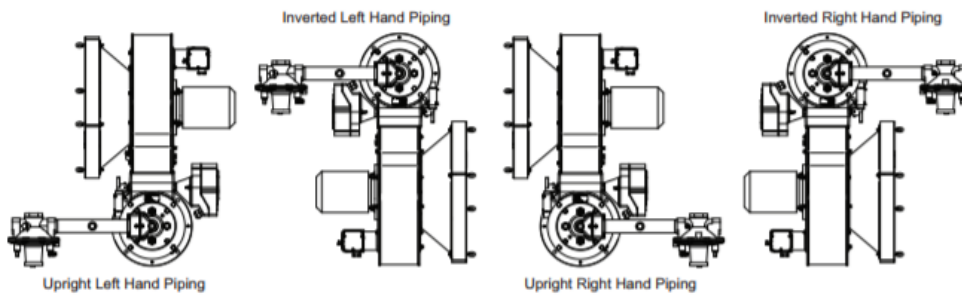
RatioMatic RM0400, V6, Hoja de datos, Edition 08.15

ECLIPSE

Opciones de tobera



Configuración del quemador



© Eclipse, Inc. All Rights Reserved

Eclipse, RatioMatic RM0400, V6, Hoja de datos, Edition 08.15

Anexo 16.1: Catalogo y Características del Ventilador.

CMRH

HEAVY DUTY

Exento ERP

CMRH



Engrasadores externos para facilitar el mantenimiento

Ventiladores accionados a transmisión, equipados con motor eléctrico, conjunto de poleas, correas y protectores normalizados según norma y ISO-13857:2008, y cajón calorifugado con fibra mineral de 150 mm, para trabajo horizontal

Ventilador:

- Estructura en chapa de acero de gran espesor
- Turbina con álabes a reacción, en chapa de acero de gran robustez
- Grupo de transmisión con rodamientos y soporte en fundición

Motor:

- Motores de eficiencia IE2 para potencias iguales o superiores a 0,75kW e inferiores a 7,5kW, excepto monofásicos, 2 velocidades y 8 polos
- Motores de eficiencia IE3 para potencias iguales o superiores a 7,5kW, excepto monofásicos, 2 velocidades y 8 polos.
- Motores clase F, con rodamientos a bolas, protección IP55
- Trifásicos 230/400V-50Hz (hasta 4kW) y 400/690V-50Hz (potencias superiores a 4kW)

- Temperatura máxima del aire a transportar: -20°C + 300°C

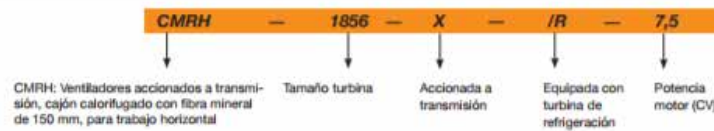
Acabado:

- Tratamiento con pintura anticorrosiva

Bajo demanda:

- Bobinados especiales para diferentes tensiones
- Ventilador en acero refractario para temperaturas de hasta 400°C
- Ejecución para trabajo vertical
- Motores de eficiencias IE2 e IE3 para cualquier potencia

Código de pedido



Características técnicas

Modelo	Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)			Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m³/h)	Nivel presión sonora (dB(A))	Peso aprox. (Kg)
		230V	400V	690V				
CMRH-1445-X/R-3	1700	8,36	4,83		2,20	9620	79	203
CMRH-1445-X/R-4	1910	10,96	6,33		3,00	10910	81	207
CMRH-1445-X/R-5.5	2120	14,10	8,12		4,00	12000	83	226
CMRH-1650-X/R-4	1530	10,96	6,33		3,00	9910	80	212
CMRH-1650-X/R-5.5	1720	14,10	8,12		4,00	11140	82	231
CMRH-1650-X/R-7.5	1910		11,00	6,72	5,50	12370	84	250
CMRH-1856-X/R-5.5	1365	14,10	8,12		4,00	14210	79	241
CMRH-1856-X/R-7.5	1535		11,00	6,72	5,50	15980	81	260
CMRH-1856-X/R-10 IE3	1705		14,20	8,20	7,50	17780	83	273
CMRH-2063-X/R-7.5	1365		11,00	6,72	5,50	22800	82	265
CMRH-2063-X/R-10 IE3	1515		14,20	8,20	7,50	25370	84	278
CMRH-2063-X/R-15 IE3	1700		20,20	11,60	11,00	28470	86	305
CMRH-2271-X/R-15 IE3	1370		20,20	11,60	11,00	32300	87	350
CMRH-2271-X/R-20 IE3	1540		27,50	15,90	15,00	36300	90	375
CMRH-2271-X/R-30 IE3	1760		36,00	20,00	18,00	41800	93	406
CMRH-2480-X/R-30 IE3	1365		33,00	24,00	20,00	46900	88	450

SODECA

67

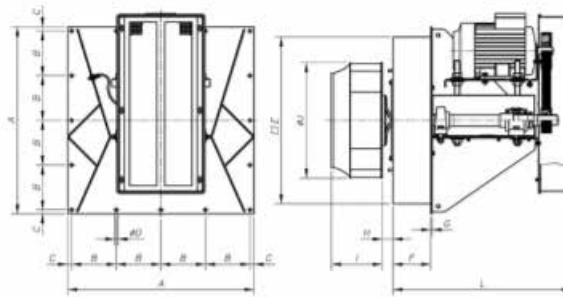
SODECA, heavy duty fans, CT20

Anexo 16.2: Catalogo y Características del Ventilador.

CMRH



Dimensiones mm



Modelo	A	B	C	øD	E	F	G	H	I	øJ	L
CMRH-1445-X/R-3	740	177	16	12	660	150	5	43	202	458	710
CMRH-1445-X/R-4	740	177	16	12	660	150	5	43	202	458	710
CMRH-1445-X/R-5'5	740	177	16	12	660	150	5	43	202	458	710
CMRH-1650-X/R-4	740	177	16	12	660	150	5	43	224	508	710
CMRH-1650-X/R-5'5	740	177	16	12	660	150	5	43	224	508	710
CMRH-1650-X/R-7'5	740	177	16	12	660	150	5	43	224	508	710
CMRH-1856-X/R-4	800	192	16	12	720	150	5	43	245,5	573	816
CMRH-1856-X/R-5'5	800	192	16	12	720	150	5	43	245,5	573	816
CMRH-1856-X/R-7'5	800	192	16	12	720	150	5	43	245,5	573	816
CMRH-2063-X/R-7'5	800	192	16	12	720	150	5	43	274	644	816
CMRH-2063-X/R-10	800	192	16	12	720	150	5	43	274	644	816
CMRH-2063-X/R-15	800	192	16	12	720	150	5	43	274	644	816
CMRH-2271-X/R-15	970	233	20	14	870	150	5	43	295	719	817
CMRH-2271-X/R-20	970	233	20	14	870	150	5	43	295	719	817
CMRH-2380-X/R-25	970	232,5	20	14	870	150	5	53,5	400	810	902
CMRH-2380-X/R-30	970	232,5	20	14	870	150	5	53,5	400	810	902

Accesorios

Ver apartado accesorios.



SODECA, heavy duty fans, CT20

Anexo 16.3: Catalogo y Características del Ventilador.

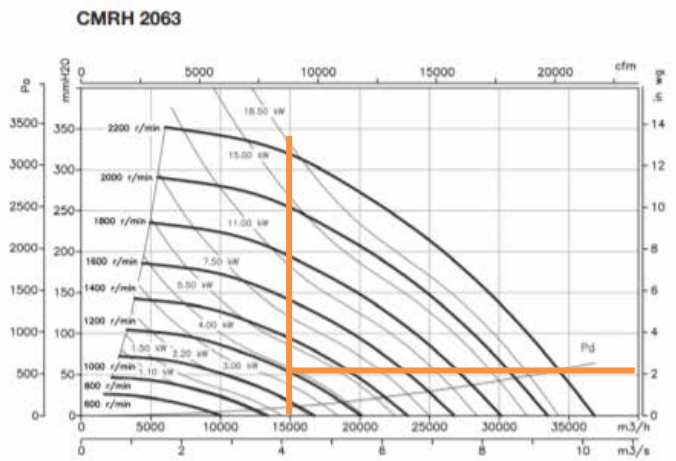
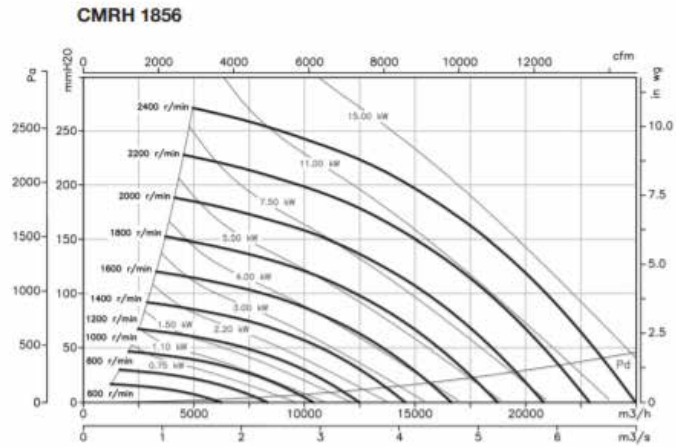
CMRH



Curvas Características

Q= Caudal en m³/h, m³/s y cfm

Pe= Presión estática en mmH₂O, Pa e inwg



70

SODECA

SODECA, heavy duty fans, CT20

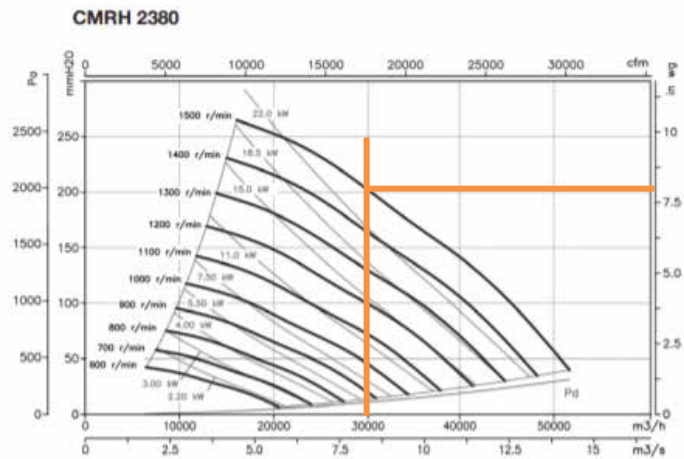
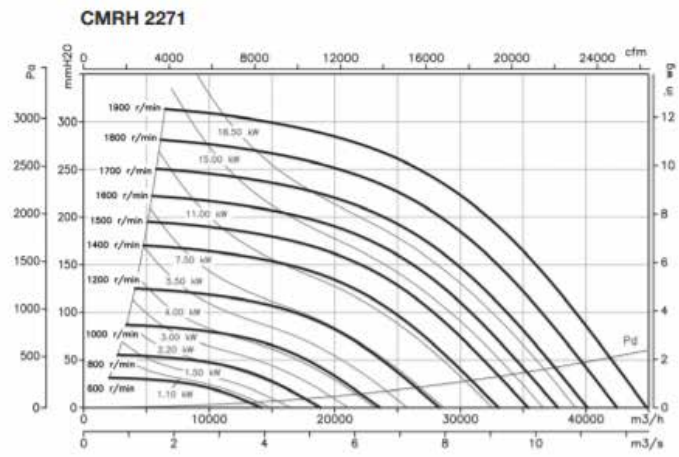
Anexo 16.4: Catalogo y Características del Ventilador.

CMRH

Curvas Características

Q= Caudal en m³/h, m³/s y cfm

Pe= Presión estática en mmH₂O, Pa e inwg



SODECA

71

SODECA, heavy duty fans, CT20

Anexo 18: Propiedades mecánicas de los aceros

2.2 Propiedades mecánicas de los aceros

2.2.2 Propiedades de tensión

Las propiedades más importantes de la prueba de tensión son el esfuerzo de fluencia F_y , la resistencia a la tracción última F_u , las tensiones en la ruptura y la deformación unitaria y la deformación total (E_e y E_{gt}), la reducción del área, y la relación F_u/F_y . La reducción del área es una medida efectiva, tanto para la deformación total como para la ruptura, y se considera real, porque refleja la deformabilidad volumétrica. Todas estas propiedades se basan en la prueba común de tensión. Sin embargo, la reducción del área, no se puede determinar adecuadamente sin muestras con sección circular, y por lo tanto, no se informa en el Certificado de Resultado de Pruebas (CMTR). El CMTR tampoco proporciona los datos de deformación unitaria, ya que generalmente no hay criterios aceptables para la prueba.

La curva de esfuerzo-deformación para el acero difiere significativamente entre aceros templados (carbono-manganeso) y los aceros de alta resistencia y baja aleación (HSLA). Las figuras 1 y 2 muestran ejemplos representativos de dichas curvas, y en la figura 3 se muestra las curvas esfuerzo-deformación completas para una selección de aceros de calidad estructural producidos en EE. UU. y México. Las figuras 1 y 2 muestran el esfuerzo de tensión y el alargamiento en la ruptura, que son los parámetros clave para el acero estructural. Específicamente, el límite superior de fluencia se contrasta con el nivel de fluencia para el acero dulce, en las figuras 1 y 2, indica la resistencia a la fluencia, definido por el 0.2 por ciento de deformación (deformación permanente) o el 0.5 por ciento de la deformación total (figura 2) se diferencia del nivel de esfuerzo (figura 1), el efecto del 0.2 por ciento del valor de desplazamiento se utiliza para los aceros que no se definen claramente en la "meseta de fluencia".

El módulo de elasticidad del acero E, es constante para todos los grados de acero estructural, equivalente a $2.039 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ (29,000 ksi) (200000 MPa).

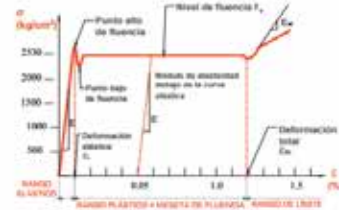


Figura 1 Porción inicial de la curva esfuerzo - deformación para aceros de bajo contenido de carbono

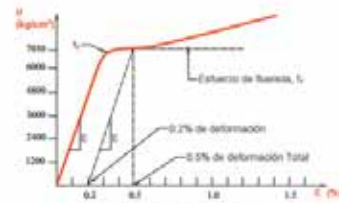


Figura 2 Porción inicial de la curva esfuerzo - deformación para aceros de alto contenido de carbono

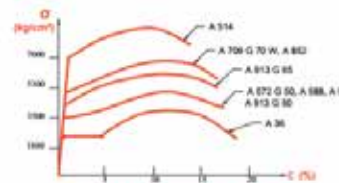


Figura 3 Curvas esfuerzo - deformación de algunas calidades de acero

En esencia, los cambios de trabajo del acero enfriado tienen mayor resistencia y baja ductilidad en un solo material. Las deformaciones plásticas que ocurren, dejan al material sin memoria de lo que ha ocurrido (figura 4). Esto significa que un acero (originado en el motor, por ejemplo (AISC)) en la Figura 4), responderá de acuerdo a la línea DDE inicialmente después de haber sido cargado y sometido a una tensión equivalente al punto D de la curva de esfuerzo. La pendiente de la porción inicial de la curva de esfuerzo es el módulo de elasticidad E. La pendiente de la curva inmediatamente después de F_{u1} es el módulo de esfuerzo por deformación E_{gt} . E_{gt} es constante para todos los grados de acero estructural, equivalente a $29,000 \text{ ksi}$ ($2.039 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$). E_{gt} es más bajo y está bien definido, su valor es de alrededor de $600 \text{ a } 800 \text{ ksi}$ ($42000 \text{ a } 56000 \text{ kg/cm}^2$). Las pruebas de E y E_{gt} se basan en vigas sujetas a flexión más que a valores de tensión, debido a lo sensible de la prueba de tensión y a las variaciones en la pendiente de la curva esfuerzo-deformación.

El calor de la soldadura y el oxígeno provoca cambios locales en la estructura del acero, a menos que la entrada de calor y la velocidad de enfriamiento sean cuidadosamente controladas. Generalmente esto resulta en zonas muy localizadas del material en aceros de alta resistencia y baja ductilidad, como en los bordes de corte por flama (oxígeno) o el calor de la soldadura. Para todos los propósitos prácticos, estas zonas han aumentado los límites de fluencia en aproximadamente igual a la fuerza o la resistencia nominal del metal de la soldadura.

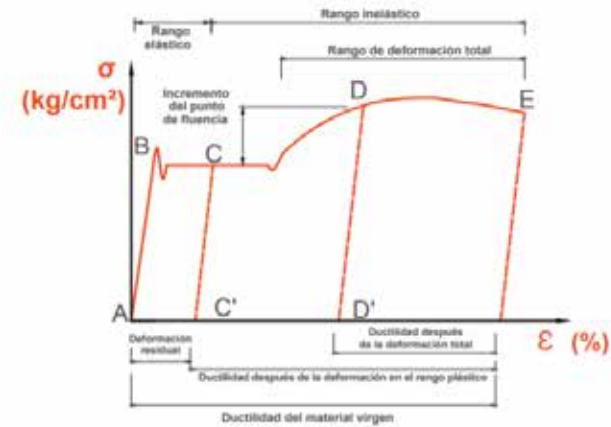


Figura 4 Curva esfuerzo - deformación de los efectos de perfiles laminados en caliente y enfriados

Anexo 19: Propiedades mecánicas de los aceros estructurales según norma europea EN.

Norma	Calidades	Límite elástico mínimo R_{eH}						Resistencia a la tracción R_m		Alargamiento mínimo A $L_m = 5,65 \cdot \sqrt{S_0}$ %				Ensayo de flexión por choque	
		MPa						MPa		Espesor nominal (mm)				Temperatura	Energía mín. absorbida
		≤16		>16 <=40		>40 <=63		>63 <=80		>80 <=100		>100 <=125		>125	
EN 10025-2:2004	S235JR S235JO S235J2*	235	225	215			195	360-510	350-500	26	25	24	22	+20 0 -20	27 27 27
	S275JR S275JO S275J2*	275	265	255	245	235	225	410-560	400-540	23	22	21	19	+20 0 -20	27 27 27
	S355JR S355JO	355	345	335	325	315	295	470-630	450-600	22	21	20	18	+20 0	27 27
	S355J2 S355J2	355	345	335	325	315	295	470-630	450-600	22	21	20	18	-20 -20	27 40
	S450JO	450	430	410	390	380	380	550-720	530-700	17				0	27
	E295*	295	285	275	265	255	245	470-610	450-610	20	19	18	16		
	E335*	335	325	315	305	295	275	570-710	550-710	16	15	14	12		
E360*	360	355	345	335	325	305	670-830	650-830	11	10	9	8			

Anexo 20: Propiedades mecánicas de aceros estructurales según norma americana.

Normas Standards	Calidades Grades	Límite elástico R_e Yield strength R_y	Resistencia a la tracción R_m Tensile strength R_{tm}	Ratio R_m/R_e Ratio R_t/R_y	Alargamiento mínimo A Minimum elongation A		Ensayo de flexión por choque Notch impact test	
					min. 200 mm [8 in.]	min. 50 mm [2 in.]	ASTM A673, standard position ala longitudinal longitudinal, flange	
		MPa [ksi]	MPa [ksi]		%	%	Temperatura Temperature	Medida de energía Energy average
A36-05	Grade 36*	≥250 [36]	400-550 [58-80]		20	21		
A572-07	Grade 42*	≥290 [42]	≥415 [60]		20	24		
	Grade 50	≥345 [50]	≥450 [65]		18	21		
	Grade 55*	≥380 [55]	≥485 [70]		17	20		
	Grade 60*	≥415 [60]	≥520 [75]		16	18		
	Grade 65*	≥450 [65]	≥550 [80]		15	17		
A588-05	Grade B*	≥345 [50]	≥485 [70]		18	21		
	Grade C*	≥345 [50]	≥485 [70]		18	21		
A709-07	Grade 36*	≥250 [36]	400-550 [58-80]		20	21		
	Grade 50	≥345 [50]	≥450 [65]		18	21		
	Grade 50S	345-450 [50-65]	≥450 [65]	≤0,85	18	21		
A813-04	Grade 50	≥345 [50]	≥450 [65]	≤0,85	18	21	21 [70]	≥54 [40]
	Grade 65	≥450 [65]	≥550 [80]		15	17	21 [70]	≥54 [40]
A992-06a	Grade 50	345-450 [50-65]	≥450 [65]	≤0,85	18	21		