

Universidad de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil Industrial



**Propuesta de un Nuevo diseño de Planta para
Reducir Costos Energéticos en el Proceso Productivo de
La empresa Cormecánica, Grupo Renault.**

por

Patricio Renán Pizarro Vidal

Trabajo de Título para optar al Grado de
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y
Título de Ingeniero Civil Industrial

Prof. Guía: Filadelfo de Mateo Gómez

Marzo, 2018

Dedicatoria

A mi Padre y Madre.

Mi familia, amigos y seres queridos.

Índice

Glosario	4
Lista de Abreviaturas y simbología	5
Lista de Figuras	6
Lista de Tablas	8
Resumen	9
Introducción	10
Capítulo I: Antecedentes de Empresa	12
1.1 CORMECANICA Industria de conjuntos mecánicos Aconcagua S.A Renault	12
1.2 Misión	14
1.3 Visión.....	14
1.4 Mentalidad	14
1.5 Organigrama	15
1.6 Producto fabricado	16
1.7 Producción	16
1.8 Clientes	17
1.9 Proceso productivo	17
1.9.1 Área Piñonería	18
1.9.2 Área Árboles.....	19
1.9.3 Área Sincronización	20
1.9.4 Área Diferencial	21
1.9.5 Área Carter	22
1.9.6 Área Armado	23
1.9.7 Área de Tratamientos térmicos.....	24
Capítulo II: Planteamiento del problema.....	26
2.1 Descripción del problema	26
2.2 Objetivos del proyecto	29
2.2.1 Objetivo general	29
2.2.2 Objetivos específicos.....	29
2.3 Metodología	29
Capítulo III: Marco Teórico	31

3.1	Área de Investigación	31
3.2	Objetivo de la preparación superficial	32
3.3	Situación actual	33
3.3.1	Especificación Técnica de Lavadora	33
3.3.2	Consumo de energía teórico en la Lavadora	37
3.3.3	Diagnóstico de investigación.....	38
3.3.4	Especificación técnica del Horno	38
3.4	Posición respecto al proceso investigativo	41
Capítulo IV: Metodología		42
4.1	Diseño metodológico	42
4.2	Recolección de datos	42
4.2.1	Operación de la Lavadora	42
4.2.2	Gases de Combustión del Horno	56
4.3	Cálculo de Intercambiadores de Calor considerados utilizables.....	63
4.4	Costo de la Nueva Operación	69
4.5	Evaluación económica	71
Capítulo V: Conclusiones.....		73
Bibliografía.....		74
Anexo I: Detalles del producto		75
Anexo II: Procesos en área de tratamientos térmicos		77
Anexo III: Generalidades y principios básicos		85
Anexo IV: Métodos y cálculos de Intercambiadores de Calor		96
Anexo V: Figuras, tablas e instrumentos para cálculo de Intercambiadores.		105

Glosario

Cadena de suministro: Todas las etapas y actividades necesarias para fabricar y entregar los productos y servicios que satisfagan las necesidades de los clientes.

Manufactura: Proceso de fabricación de un producto por medio de máquinas o las manos.

Mecanizado: Proceso de fabricación que agrupa un conjunto de operaciones realizadas para conformar una pieza mediante la eliminación de material, arranque de viruta o abrasión (arranque de viruta por rozamiento).

Lista de Abreviaturas y simbología

AGV: Automatic Guided Vehicle.

APW: Alliance Production Way.

BV: Box Vehicle.

HRA: (HR) Identificador del ensayo de Rockwell, la letra (A) que continua, corresponde a la escala utilizada.

HV: Hardness Vickers.

ISO: International Standardization Organization.

SMR: Standard Reference Materials.

TT: Tratamientos Térmicos.

Lista de Figuras

Figura 1 - Ubicación Empresa CORMECANICA.....	13
Figura 2 - Organigrama empresa Cormecánica.....	15
Figura 3 - Organigrama área APW.....	15
Figura 4 - Producción de empresa Cormecánica.....	17
Figura 5 - Diagrama de flujos área de piñonería.....	18
Figura 6 - Diagrama de flujos de árboles.....	19
Figura 7 - Diagrama de flujos de Sincronización.....	20
Figura 8 - Diagrama de flujos área diferencial.....	21
Figura 9 - Diagrama de flujos área cárter.....	22
Figura 10 - Diagrama de Flujos área de Armado.....	24
Figura 11 - Diagrama de flujos del área de tratamientos térmicos.....	25
Figura 12 - Costo de producción.....	26
Figura 13 - Consumo eléctrico planta Cormecánica.....	27
Figura 14 - Consumo eléctrico de TT respecto la Planta (%).	28
Figura 15 - Esquema de procesos en área de Tratamientos Térmicos.....	32
Figura 16 - Lavadora y sus componentes.....	34
Figura 17 - Grupo de Transporte en lavadora.....	35
Figura 18 - Circuito de agua en lavadora.....	35
Figura 19 - Grupo de secado de lavadora.....	36
Figura 20 - Grupo condensador de lavadora.....	37
Figura 21 - Horno en célula de TT.....	39
Figura 22 - Interior del Horno.....	40
Figura 23 - Proceso el interior del equipo lavadora.....	43
Figura 24 - Cubo antes de ingresar a la lavadora (izquierda) y después de salir (derecha).....	44
Figura 25 - Permanencia de piezas al interior de lavadora.....	45
Figura 26 - Estructura del grupo de secado.....	46
Figura 27 - Variación de temperatura del fluido en secador.....	47
Figura 28 - Recorrido definido para las mediciones junto a los resultados.....	49
Figura 29 - Medición de potencia absorbida por la lavadora.....	54
Figura 30 - Flujos de entrada y salida del horno.....	56
Figura 31 - Tridente con flujos de gases.....	57
Figura 32 - Temperatura de los gases de combustión.....	58
Figura 33 - Potencia en gases de combustión.....	62
Figura 34 - Estructura del Interior del Horno.....	79
Figura 35 - Lugar donde se realiza el Temple de las piezas.....	80
Figura 36 - Conducción de calor a través de una pared plana de espesor Δx y área A.	86

Figura 37 - Transferencia de calor de una superficie caliente hacia el aire por convección.	87
Figura 38 - Transferencia de calor por radiación entre una superficie y las superficies que la circundan.	88
Figura 39 - Intercambiador de calor de flujo paralelo.	90
Figura 40 - Intercambiador de calor en contraflujo.	91
Figura 41 - Intercambiador de calor de flujo cruzado.	91
Figura 42 - Intercambiador de calor pasos múltiples.	92
Figura 43 - Intercambiador de calor doble tubo.	93
Figura 44 - Intercambiador de calor de coraza y tubos.	94
Figura 45 - Intercambiador de calor con superficie extendida.	94
Figura 46 - Intercambiador de calor de placas.	95
Figura 47 - Coeficientes de película para tubos.	105
Figura 48 - Factor de fricción para tubos.	106
Figura 49 - Espaciado entre el casco – haz de tubos.	107
Figura 50 - Factor de transferencia de calor para el lado del casco.	108
Figura 51 - Factor de fricción para el lado del casco.	108
Figura 52 - Anemómetro utilizado para medir la velocidad del aire.	111
Figura 53 - Instrumento utilizado para la medir temperatura, rendimiento y exceso de aire en gases.	112

Lista de Tablas

Tabla 1 - Modelos de cajas de velocidades.	16
Tabla 2 - Piezas tratadas en el equipos de lavado.	33
Tabla 3 - Potencia eléctrica de componentes en Lavadora.	37
Tabla 4 - Descripción del Horno.	39
Tabla 5 - Tiempos de operación de lavadora.	44
Tabla 6 - Flujo másico respecto a la variación de la temperatura.	52
Tabla 7 - Medición de potencia utilizada por lavadora.	55
Tabla 8 - Propiedades del gas natural licuado.	59
Tabla 9 - Composición del gas natural licuado.	59
Tabla 10 - Composición del aire.	60
Tabla 11 - Cálculo para la reacción 1.	60
Tabla 12 - Cálculo de reacción ecuación 2.	61
Tabla 13 - Determinación del flujo másico.	61
Tabla 14 - Calor específico en la salida de los gases.	61
Tabla 15 - Resultados obtenidos de Intercambiador de calor doble tubos.	63
Tabla 16 - Resultados obtenidos de Intercambiador de calor tubos y carcaza.	65
Tabla 17 - Tiro de gases en chimenea luego del intercambiador.	68
Tabla 18 - Costos en material.	69
Tabla 19 - Costos de Mano de obra.	70
Tabla 20 - Costos de maquinarias.	70
Tabla 21 - Costo Total de implementación.	70
Tabla 22 - Evaluación económica.	71
Tabla 23 - Modelo de cajas de velocidades fabricadas.	75
Tabla 24 - Componentes de caja de velocidades.	76
Tabla 25 - Dimensiones de intercambiadores comerciales de doble tubo.	105
Tabla 26 - Coeficientes Totales típicos.	106
Tabla 27 - Resistencias a la incrustación, valores típicos.	107
Tabla 28 - Propiedades del aire a 1 (atm).	109
Tabla 29 - Temperaturas en la ciudad de Los Andes.	110

Resumen

El objetivo de este Trabajo de Título es reducir los costos de consumo de energía eléctrica en la empresa Cormecánica S.A. La reducción de costos es en el equipo de lavado y secado de piezas producto de mecanizado.

El diseño de un intercambiador de calor permite utilizar la energía que se descarga al ambiente, en los procesos de tratamientos térmicos de piezas. Esta energía recuperada reemplazará parte de la energía que se requiere en el equipo de lavado y secado de esas piezas. Para el diseño del equipo se tomó registro del comportamiento de las variables más relevantes como temperatura, composiciones, caudales y potencia del equipo de secado, para diseñar el intercambiador de calor.

Los resultados de las mediciones hechas en el horno de tratamiento indican que se puede reducir por lo menos un 60% de la potencia que requiere actualmente el grupo de secado.

Finalmente, se concluye que la instalación de un intercambiador de calor es viable. Además, se genera una reducción de los costos, por la disminución del consumo de energía eléctrica.

Palabras claves: *mecanizado, seguimiento, diseño, registrar, potencia, viable.*

Introducción

En Chile, actualmente la empresa Cormecánica S.A es una de las variadas empresas dentro de la industria metalmeccánica del país. La diferencia del resto es su participación en el rubro automotriz donde, es la única en Chile que fabrica componentes para automóviles, representando a la marca Renault. La planta se dedica al mecanizado y ensamble de cajas de velocidades las que distribuye a Argentina, Colombia y Brasil.

Para fabricar las cajas de velocidades, la empresa utiliza una gran cantidad de equipos y maquinarias que requieren de energía eléctrica para funcionar. Adicionalmente, posterior al proceso de mecanizado, las piezas pasan a través de un equipo de lavado y de secado por medio de aire calentando con resistencias eléctricas.

Debido a la cantidad de máquinas que utilizan electricidad al interior de la fábrica, los costos por consumo de energía eléctrica son los más altos en la fabricación de cajas de velocidades, es por esto que la empresa pone sus esfuerzos para reducir los costos por energía al interior de la planta.

Actualmente los costos por consumo de energía eléctrica llegan al 23% de los costos totales de fabricación que llegan a 151 millones de pesos mensuales, de ese costo el 12% promedio pertenece al secado de las piezas, alcanzando 18 millones de pesos promedio mensuales. Es en este alto consumo de energía eléctrica que se observa una oportunidad para reducir los costos asociados al consumo de energía eléctrica procediendo a elaborar la siguiente propuesta; intervenir el proceso de secado para las piezas mediante alternativas con menor costo, que permitan igualar el resultado que actualmente posee la empresa en sus instalaciones.

Inicialmente se procedió a medir y registrar el comportamiento de los equipos y los procesos al interior de la fábrica con las autorizaciones y las medidas de seguridad correspondientes para estudiar el desarrollo de los procesos. Una vez definido el equipo a intervenir, de acuerdo a su consumo de energía eléctrica, el siguiente paso fue buscar fuentes de energía que permitan suministrar el mismo equipo.

Considerando las alternativas encontradas al interior de la planta, se plantea el diseño de un intercambiador de calor que permite recuperar la energía descargada al ambiente, a través de los gases de combustión, desde las chimeneas del horno donde se trata térmicamente las

piezas. Dicha energía se utilizará para reemplazar parte de la energía eléctrica que consumen las resistencias del grupo de secado, que forma parte del equipo encargado de lavar las piezas mecanizadas. La propuesta busca reducir como mínimo 60% del consumo de energía eléctrica del equipo, estudiando el escenario donde se instalaría un intercambiador de calor en las chimeneas extractoras de gases provenientes de la combustión.

Para el desarrollo de este trabajo de título se utiliza la aplicación de herramientas de Ingeniería Industrial como: mecánica de fluidos, procesos de manufactura, química, preparación y evaluación de proyectos, ingeniería económica, como pilares fundamentales que permiten el desarrollo de la propuesta establecida.

Capítulo I: Antecedentes de Empresa

1.1 CORMECANICA Industria de conjuntos mecánicos Aconcagua S.A Renault.

La creación de la industria automotriz Renault Chile comenzó en año 1968 con una planta¹ importadora ubicada en la ciudad de Arica. En 1969 se creó la asociación Automotores Franco Chilena en conjunto con Peugeot en la ciudad de Los Andes. Para el año 1971 trasladaron todas las actividades a esta última ciudad, lugar donde ensamblaban dos modelos de automóviles.

En el año 1991 con la apertura de la economía chilena se termina la fabricación local de vehículos Renault, vendiendo la firma a la empresa argentina CIADEA que se transforma en importador de Renault en Chile cambiando el nombre de la filial a Francomecánica SA. Luego de cinco años, Cormecánica se hace filial del 97% de Renault Argentina así la empresa reasume su actividad inicial fabricando cajas para el cambio de velocidades.

Actualmente la empresa Cormecánica se encarga de fabricar y ensamblar cajas de velocidades para automóviles del grupo Renault y Nissan. En los últimos años la planta ha producido 300 mil cajas de velocidades anuales que son exportadas desde Chile hacia Brasil, Argentina y Colombia.

La planta se encuentra ubicada en la V Región de Valparaíso, Comuna y Provincia de Los Andes. Posee nueve hectáreas de superficie, consta con certificación ISO 14001, ISO 9001 y SMR Label². Finalmente tiene una cantidad de personal compuesta por 500 trabajadores aproximadamente.

¹ Planta: Lugar físico donde se realizan las operaciones de fabricación.

² SMR Label: Etiquetado de materiales de referencia estándar.

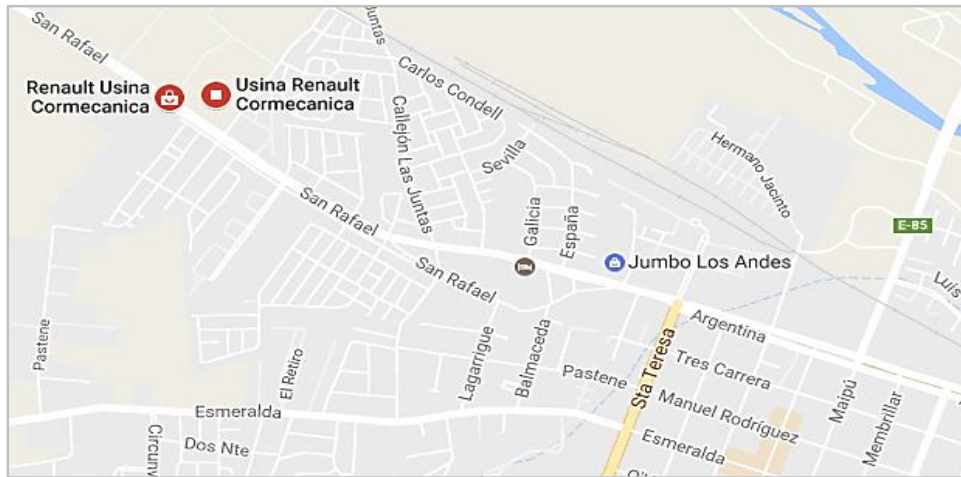


Figura 1 - Ubicación Empresa CORMECANICA.

Fuente: Google – Datos de mapas.

El proceso productivo de la planta consta de 33 células³ o áreas de trabajo donde modifican los distintos componentes y materias primas. Todo comienza con las forjas⁴ provenientes de Francia que una vez en la planta, pasan por las distintas etapas de mecanizado hasta obtener piezas que componen la caja con un acabado superficial controlado en micras⁵, estos procesos agregan valor al producto a través de diferentes tratamientos físicos para cada tipo de piezas.

En la línea de producción se encuentra las células que se puede agrupar en 7 grandes áreas: Diferencial, Sincronización, Árboles, Piñonería, Tratamientos Térmicos, Montaje y Carter. En la célula de tratamientos térmicos mejoran las propiedades del material (coronas, piñones, árboles, cubos, desplazables), provenientes del mecanizado en blando (modificación de forja en bruto) o usinado de células anteriores. Posteriormente se somete las piezas a los procesos de: carbonitruración, templado, revenido, granallado, shot peening, fosfatado, al interior de la misma célula, para mejorar propiedades como, por ejemplo: templabilidad, densidad, tensión superficial y resistencia máxima. Luego las piezas pasan por un control de calidad para verificar que cumplen con las especificaciones y dimensiones requeridas.

³ Célula: lugar físico reducido donde de mecaniza un solo tipo de pieza.

⁴ Forja: pieza de acero en bruta, sin terminaciones producto de una colada.

⁵ Micras: es una unidad de longitud equivalente a una milésima parte de un milímetro.

Posteriormente, continúan a la siguiente célula para mecanizado en blando. Así por cada célula hasta llegar al área de montaje donde el producto se termina y ensambla.

1.2 Misión

“Transformar insumos y servicios en cajas de cambios con el fin de satisfacer la demanda con Calidad, Costos y Disponibilidad”.

1.3 Visión

“Queremos ser los mejores fabricantes de cajas de velocidades del MERCOSUR”.

1.4 Mentalidad

“Construir juntos un futuro de forma SUSTENTABLE. Construyendo oportunidades para que cada uno de nosotros realice sus sueños personales y profesionales, creciendo junto a una empresa de EXCELENCIA operacional.

Transformarnos en profesionales del mejor desempeño operacional es nuestra GARANTIA de FUTURO”.

La mentalidad o mindset es el nuevo concepto utilizado en la empresa, fue desarrollado a partir de la misión y la visión antes mencionada, con el fin de definir un objetivo a largo plazo para la empresa como para los trabajadores.

1.5 Organigrama

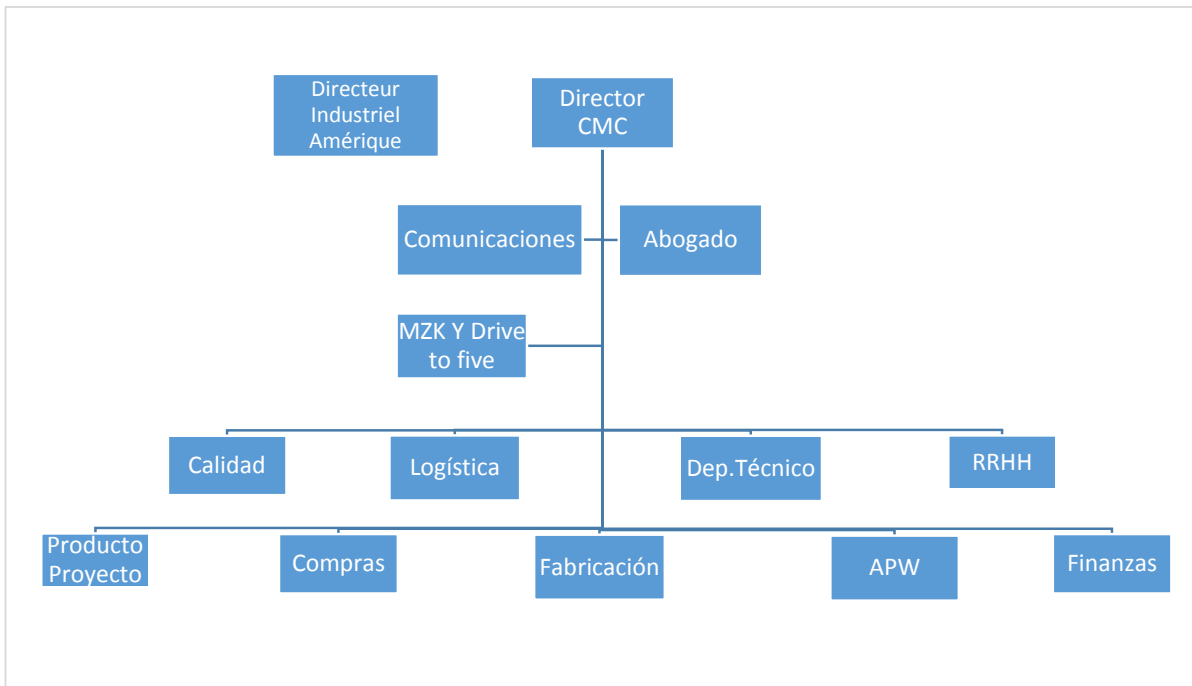


Figura 2 - Organigrama empresa Cormecánica.

Fuente: Elaboración propia, entrevista al personal.

Organigrama área APW

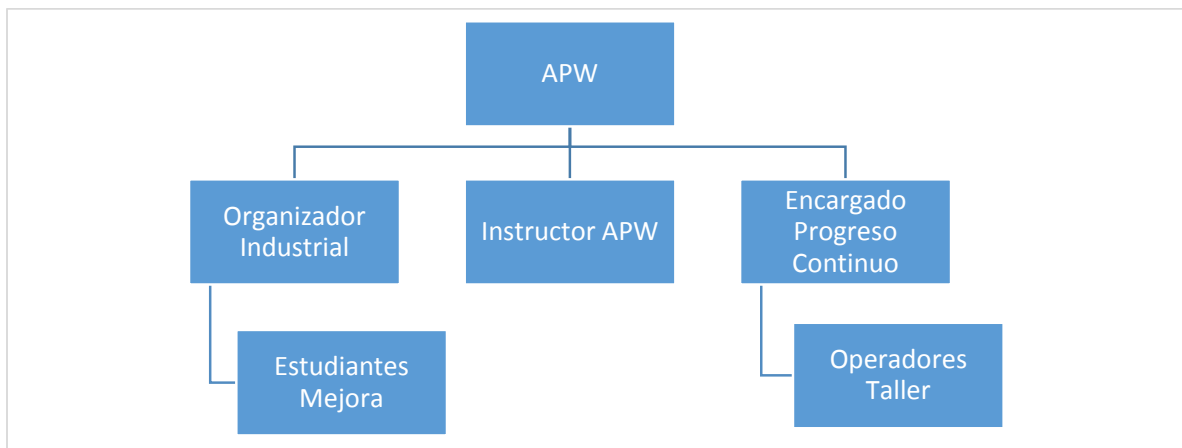


Figura 3 - Organigrama área APW.

Fuente: Elaboración propia, entrevista al personal.

1.6 Producto fabricado

La caja de cambio o velocidades es el elemento encargado de obtener en las ruedas el par motor⁶ suficiente para poner en movimiento el vehículo desde su inercia, y una vez en marcha obtener un par suficiente en ellas para vencer las resistencias al avance, ésta descripción pertenece al producto comercializado por la empresa Cormecánica donde se mecanizan gran parte de sus componentes principales que son explicadas posteriormente.

Tipos de caja de velocidades en producción

Las cajas de velocidades son utilizadas para automóviles con un motor de 1600 (cc) y la diversidad en los nombres de modelos se realiza para el proceso de armado de vehículos en plantas externas, así se logra distinguir por el modelo de la caja de velocidades, el motor que es compatible para la unión de ambos en el vehículo.

Tabla 1 - Modelos de cajas de velocidades.

Tipo de caja de velocidades	Cantidad de modelos por caja
Caja JB	1 modelo
Caja L90	2 modelos
Caja JHQ	20 modelos
Caja JR	5 modelos

Fuente: Elaboración propia, entrevista a operario.

1.7 Producción

Debido a que la empresa fabrica un tipo de producto, las instalaciones al interior de la planta tienen una línea natural de fabricación, incluso cuando existen diferentes tipos de cajas de velocidades, el flujo no es alterado para el producto final.

Respecto a la cantidad fabricada para la variedad de cajas de velocidades, se puede mencionar que se está frente a una producción por lotes, determinando el modelo de caja que se debe ensamblar de acuerdo a una programación compuesta por la demanda de los clientes. Las

⁶ Par motor: fuerza ejercida para girar un objeto alrededor de un eje o punto de apoyo.

cantidades de cajas fabricadas en la planta Cormecánica en los últimos cinco años se muestra a continuación.

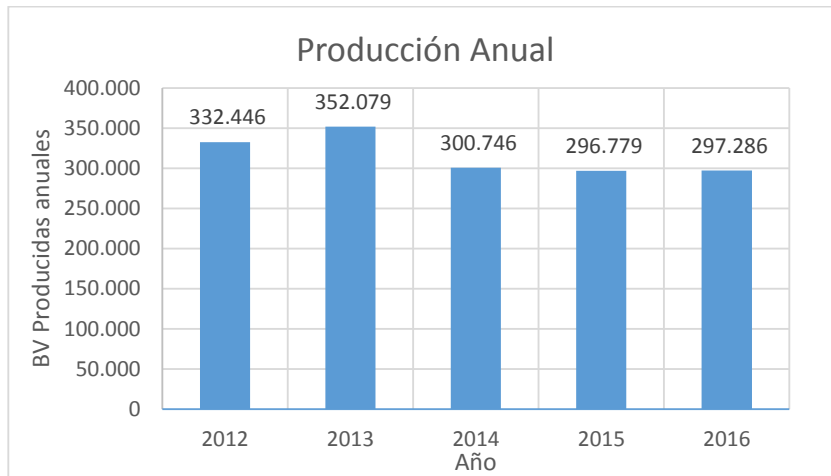


Figura 4 - Producción de empresa Cormecánica.

Fuente: Elaboración propia, entrevista al personal.

1.8 Clientes

La producción de cajas de velocidades de Cormecánica es transportada en camiones a las usinas⁷ de armado en Colombia, Brasil y Argentina. Estas plantas se dedican a la fabricación y ensamble de automóviles para la marca Nissan y Renault, de ahí que la planta de usinado Cormecánica en Chile forma parte de un proceso más en la cadena de suministro de sus clientes, que conforman una alianza para la producción en línea.

1.9 Proceso productivo

El proceso productivo para la elaboración de la caja de velocidades consta de múltiples etapas en serie y procedimientos que se describe a continuación. Cada una de ellas agrega valor al componente, modificando la estructura de las piezas. En lo que sigue, se explica cada una de las áreas involucradas en la elaboración al interior de la planta.⁸

⁷ Usinas: nombre otorgado a las plantas provenientes de la palabra mecanizado en francés.

⁸ Áreas: conjunto de células que conforman la fabricación de un grupo de piezas.

1.9.1 Área Piñonería

Inicialmente la forja es recibida y almacenada en la bodega productiva, luego es transportada, desde la bodega, hasta el área de piñonería, pasando por las células de mecanizado en blando como: Piñón Loco 1^{ra}, 2^{da}, 3^{ra}, 4^{ta}, 5^{ta} y Piñón fijo de 5^{ta}. El nombre de cada célula se debe al modelo de la pieza modificada. Las operaciones en blando consisten en un mecanizado a la forja que permite alcanzar la forma del piñón requerido para el modelo de la caja de velocidades.

Cuando los piñones se encuentran mecanizados los operadores transportan la carga con las piezas hasta el área de tratamientos térmicos, en esta área se encargan de mejorar las propiedades de la superficie como el núcleo de los diferentes piñones.

Posteriormente los piñones son transportados hasta las células de mecanizado en duro compuestas por las células: Piñón loco 1/3^{ra} duro, Piñón loco 2/4^{ta} duro, Piñón loco 5^{ta} duro, encargadas de rectificar las dimensiones y corregir deformaciones debido a la temperatura del tratamiento térmico, así cumplir los controles de calidad instalados en las mismas células. Una vez acabados los procesos de mecanizado en las células en duro, los diferentes piñones son transportados hasta el área de armado o ensamble de la caja de velocidades. El piñón fijo 5^{ta} pasa directamente hasta montaje luego del tratamiento térmico.

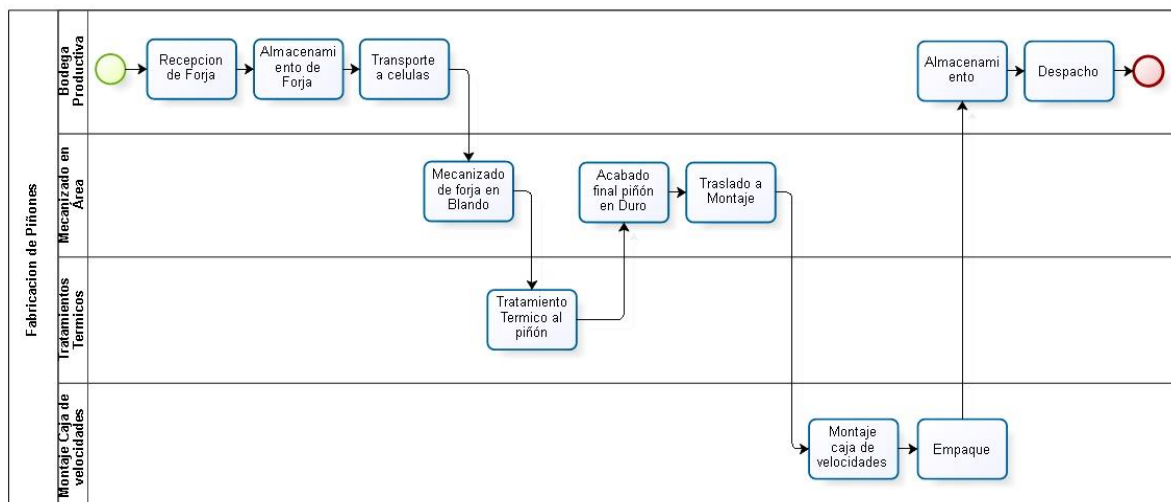


Figura 5 - Diagrama de flujos área de piñonería.

Fuente: Elaboración propia.

1.9.2 Área Árboles

El proceso para este componente comienza con el abastecimiento de forjas desde la bodega productiva hasta el área de árboles. Específicamente las células en blando compuestas por: Árbol primario blando y Árbol secundario blando. En esta etapa la forja es mecanizada para alcanzar la forma de la pieza requerida.

Una vez concluido el mecanizado en blando, las cargas son transportadas hasta el área de tratamientos térmicos, para mejorar las propiedades del material de las piezas. El árbol secundario no es sometido a todos los procesos de tratamientos térmicos en primera instancia

Luego del tratamiento los árboles son transportados hasta las células en duro compuestas por: Árbol primario duro y Árbol secundario duro. En estas células las piezas son mecanizadas para rectificar las dimensiones. Aquí el árbol primario ya se está terminado y es transportado hasta el área de montaje.

El árbol secundario, una vez mecanizado en duro, es transportado nuevamente al área de tratamientos térmicos para recibir el proceso de fosfatado, que será explicado posteriormente. Finalmente, los árboles secundarios son transportados hasta el área de armado.

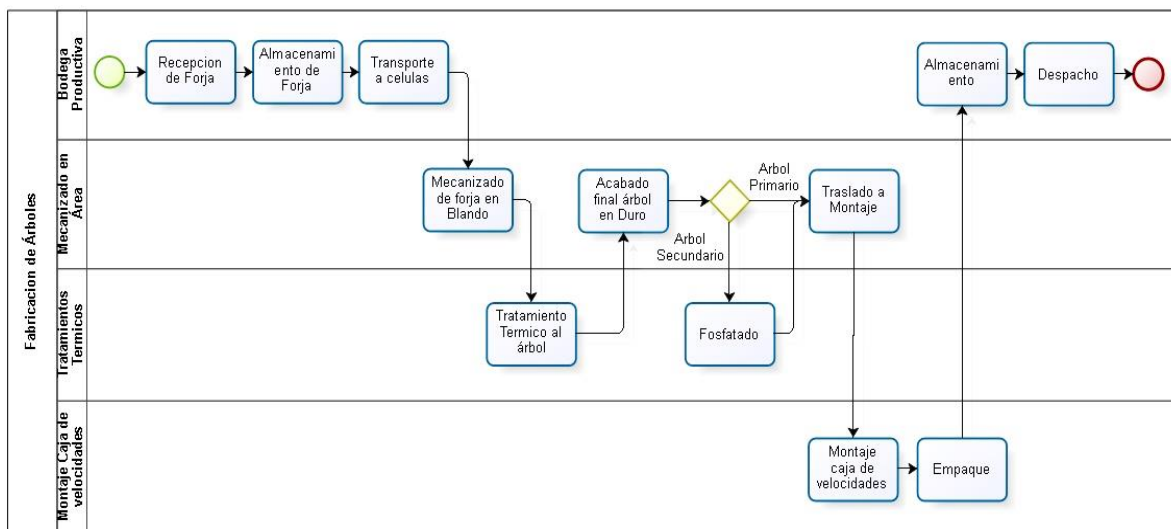


Figura 6 - Diagrama de flujos de árboles.

Fuente: Elaboración propia.

1.9.3 Área Sincronización

El abastecimiento de forjas proviene de la bodega productiva por el transporte hacia el área de sincronización compuesta por las células de: Cubos 1/2/3/4^{ta}, Cubo 5^{ta}, Desplazable 1/2^{da}, Desplazable 5^{ta}, Desplazable 3/4^{ta}, PIMA⁹ y Hermanado.

El mecanizado de forjas para alcanzar la forma se aplica a las siguientes piezas: cubos, desplazables y PIMA. Una vez terminadas las piezas son transportadas hasta el área de tratamientos térmicos para mejorar las propiedades del material.

Finalizado el tratamiento térmico, se las transporta hasta la playa¹⁰ ubicada en la célula de hermanado donde se une el cubo 1/2^{da} con el correspondiente desplazable 1/2^{da}, el cubo 3/4^{ta} con el desplazable 3/4^{ta} y el cubo 5^{ta} con el desplazable 5^{ta}. La unión es realizada por los operarios seguida por un control de calidad para cada conjunto. Con esta acción se gana tiempo en la línea evitando que deban realizar esta tarea en la célula de montaje. Finalmente, la carga con los conjuntos y los PIMA son transportados hasta el área de armado.

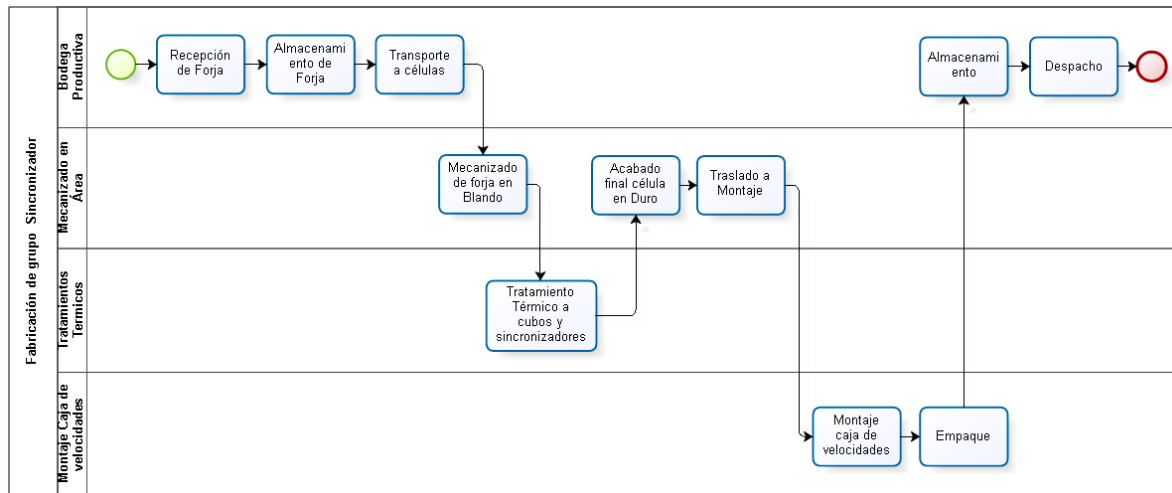


Figura 7 - Diagrama de flujos de Sincronización.

Fuente: Elaboración propia.

⁹ PIMA: Piñón intermedio de marcha atrás.

¹⁰ Playa: Lugar transitorio donde se dejan las piezas para ser utilizadas.

1.9.4 Área Diferencial

El área diferencial es abastecida con forjas mediante transportes manipulados por los operarios desde la bodega productiva hasta las células de: Porta corona y Corona blando. En estas células se mecanizan las piezas para obtener la forma necesaria y se verifica sus dimensiones.

Los Porta corona una vez listos se encuentran disponibles para ensamblar mientras que, las coronas luego de esta operación son transportadas hasta la célula de tratamientos térmicos para mejorar sus propiedades, a continuación, son transportadas a la célula Corona Duro para el mecanizado que rectifica las dimensiones requeridas para el conjunto.

Posteriormente las coronas y los porta coronas son transportados conjuntamente hacia la célula de Porta Corona Fermé donde por medio de maquinarias se forma el conjunto diferencial ensamblando ambas piezas y verificando sus dimensiones por medio de controles de calidad. Finalmente, el conjunto diferencial es trasladado por los operarios hasta el área de armado.

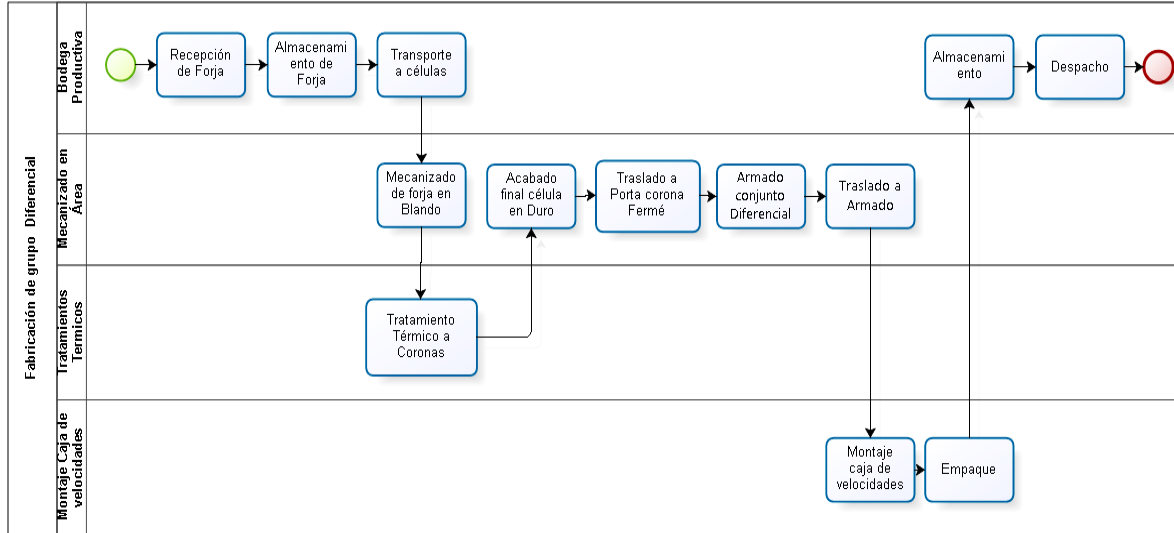


Figura 8 - Diagrama de flujos área diferencial.

Fuente: Elaboración propia.

1.9.5 Área Carter

El abastecimiento de esta área es por medio de vehículos de transporte AGV manipulados por operarios. Se utiliza vehículos AGV para trasladar las cargas con mayor peso y controlar la velocidad de abastecimiento para los centros de mecanizados, estos vehículos mueven las cargas con forjas, montadas en la bodega productiva.

Actualmente Cormecánica es la primera empresa en Chile en utilizar este tipo de vehículos, que permite controlar los tiempos de los flujos. En la empresa se les usa para transportar las forjas y controlar el flujo desde la bodega productiva hasta el centro de mecanizado para el cárter mecanismo y el cárter de embrague.

Los centros de mecanizado dan forma al cárter de acuerdo a las especificaciones técnicas para posteriormente hacer el control de calidad al borde de línea por los operarios, además existe otro control realizado en metrología de cárter que utiliza equipos en tres dimensiones que verifica cerca de 450 medidas como: diámetros, profundidad y rugosidad. La frecuencia del control es para un cárter por turno y el equipo se demora cerca de 45 minutos en finalizar el control.

Finalmente, se lleva el cárter con el vehículo AGV del final de la línea, hasta la bodega productiva.

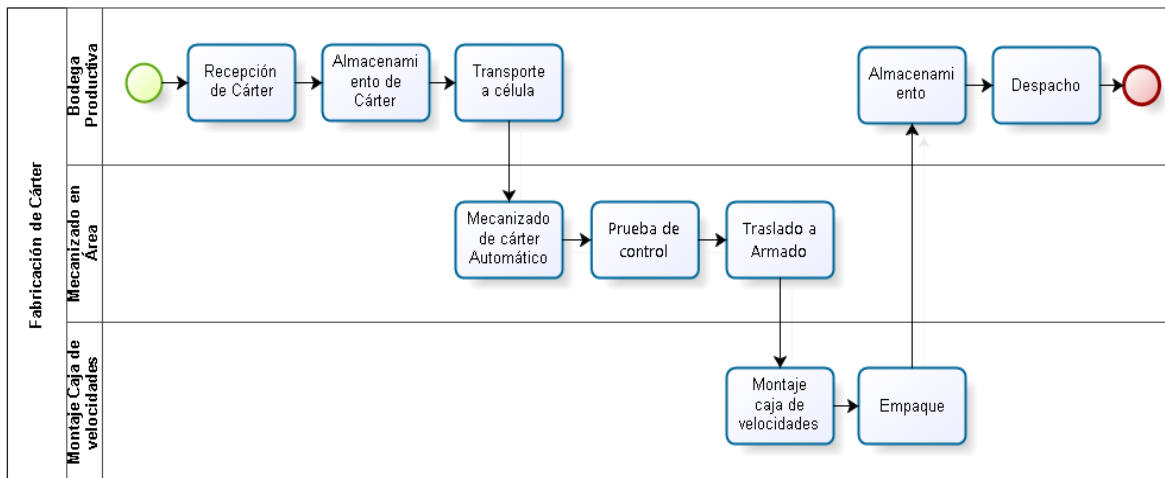


Figura 9 - Diagrama de flujos área cárter.

Fuente: Elaboración propia.

1.9.6 Área Armado

El abastecimiento para el área de armado o ensamblado tiene múltiples alimentaciones. Una de ellas consiste en el transporte del kit¹¹ montado por un operario en la playa de montaje con las piezas desde las diferentes áreas, las piezas del kit se arman simulando el funcionamiento para controlar golpes entre los dentados luego otro operario arma un pallet compuesto por árbol primario, árbol secundario, piñones locos de 1, 2, 3, 4, desplazables y horquillas que permiten cambiar de marchas.

La segunda alimentación consiste en la preparación del cárter mecanismo, en esta línea se añaden bujes, cubetas, resortes y tapas para cerrar los escapes. La tercera alimentación consiste en la preparación del conjunto diferencial, aquí se unen el conjunto porta coronas, la corona y además se prepara el cárter de embrague. Luego se unen las 3 líneas sincronizadas simultáneamente para unir las partes con las protecciones y seguros correspondientes, una vez terminada la caja de velocidades pasa por el banco de pruebas donde se verifica la calidad del producto, para finalmente ser embalada y transportada a la bodega productiva a la espera por el despacho al cliente.

Anteriormente las piezas en la playa provenientes de las células de Piñonería, Árboles, Sincronización, Diferencial, Tratamientos térmicos y célula de hermanado disponen de las piezas necesarias para la fabricación de la caja de velocidades que fueron mecanizadas en la planta.

El cárter mecanismo y cárter embrague son abastecidos a la línea de montaje por diferentes puntos, pero ambos provienen de la bodega productiva. Las múltiples alimentaciones en la línea permiten que los operarios no requieran moverse de su puesto de trabajo para buscar las piezas que utilizarán, así utilizan gran parte de su tiempo solo en agregar valor al producto. Una vez ensambladas las cajas de velocidades, son agrupadas en lotes al interior de jaulas que permiten su almacenamiento en la bodega productiva, en ese momento se encuentran listas para ser despachadas.

¹¹ Kit: conjunto de partes necesarias para montar una caja de velocidades.

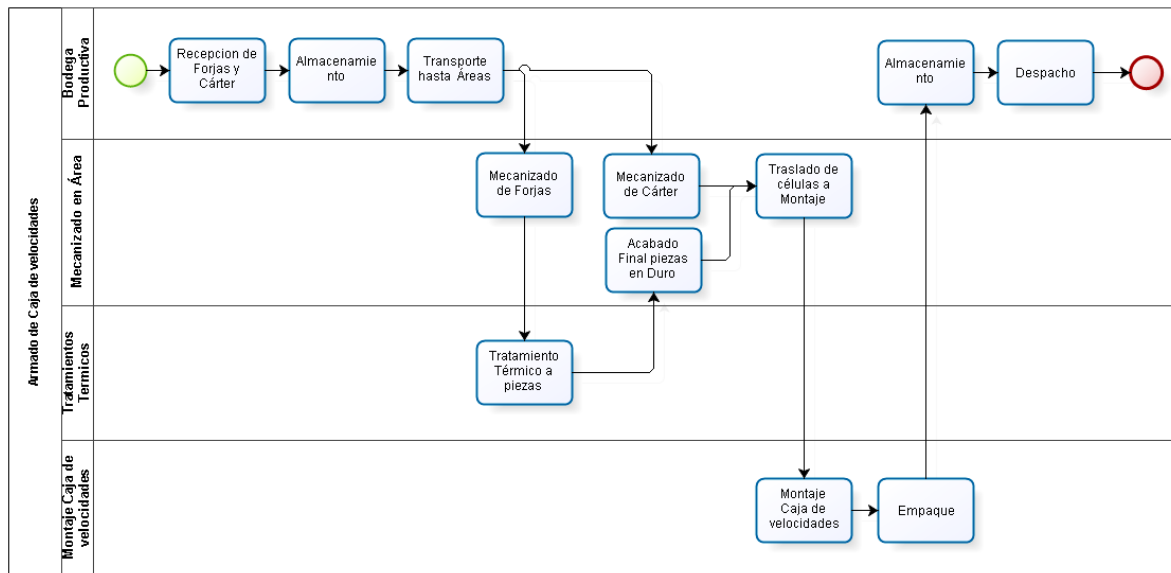


Figura 10 - Diagrama de Flujos área de Armado.

Fuente: Elaboración propia.

1.9.7 Área de Tratamientos térmicos

La Figura 11 representa el flujo de las materias primas al interior de la fábrica y donde se detalla en el *Anexo II* cada proceso que está al interior del área de tratamientos térmicos, aquí el conjunto de piezas debe pasar por cada proceso en el orden que se describe.

El inicio se encuentra en la bodega productiva con la recepción y almacenamiento de las forjas o materias primas provenientes desde Francia, a continuación, se traslada cada tipo de pieza hasta el área respectiva de mecanizado en blando, donde se trabajan las piezas hasta obtener la forma necesaria para el modelo requerido.

Luego de la operación de mecanizado en blando las piezas son trasladadas hasta el área de tratamientos térmicos donde la secuencia de las etapas es la siguiente: Preparación de carga y superficie, Carbonitruración, Temple, Revenido, Granallado, Shot Peening y Fosfatado. Al finalizar las etapas en TT, se traslada las cargas hasta el área de mecanizado en duro respectivo de cada modelo de pieza.

Finalmente, se traslada las piezas ya mecanizadas en duro, a la playa del área de montaje. Un operario es responsable de armar el kit que abastece directamente la línea de armado de caja de velocidades, aquí el producto toma su forma final para ser parte de un

automóvil en alguna otra fábrica del grupo Renault. Para esto, las cajas son empacadas en la célula de armado y apiladas en jaulas para ser almacenadas en la bodega productiva donde esperan el momento que serán despachadas en camiones hasta los diferentes clientes.

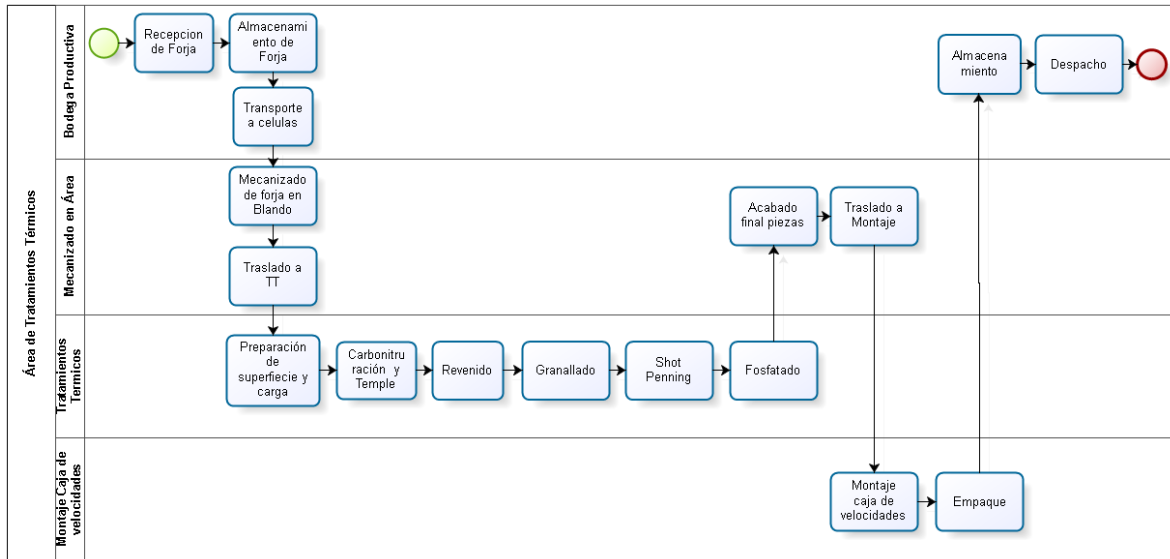


Figura 11 - Diagrama de flujos del área de tratamientos térmicos.

Fuente: Elaboración propia, observación en planta Cormecánica.

Capítulo II: Planteamiento del problema

2.1 Descripción del problema

Actualmente la planta de producción Cormecánica tiene costos totales en la fabricación de las cajas de velocidades que ascienden aproximadamente a 656 millones de pesos mensuales, dentro de estos costos el 23% correspondiente a 151 millones de pesos mensuales se encuentran asociados al consumo eléctrico, como se presenta en la Figura 12. Cabe destacar que la planta cuenta con 33 células divididas en mecanizado y montaje funcionando las 24 horas del día de lunes a domingo.

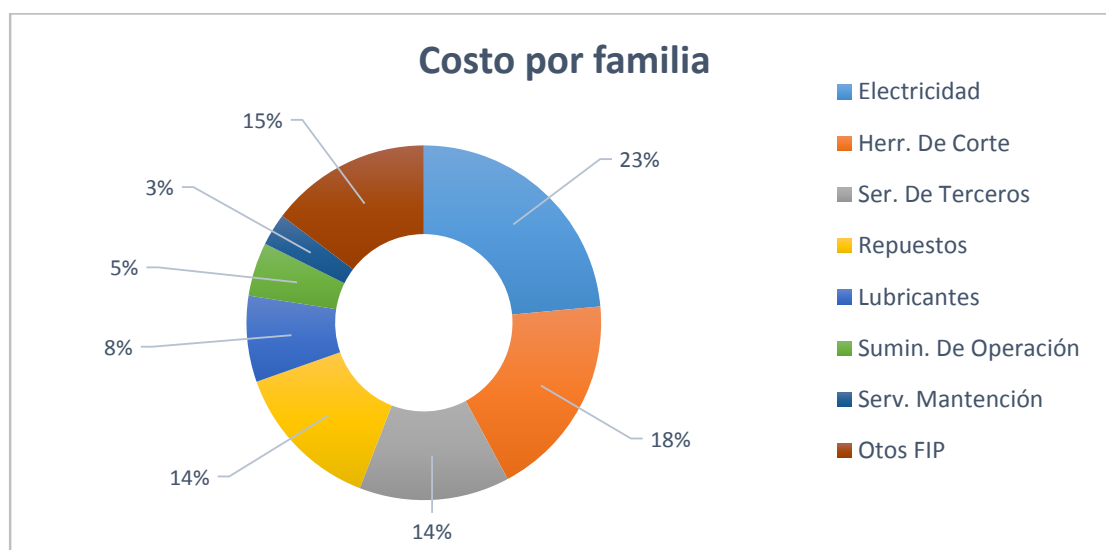


Figura 12 - Costo de producción.

Fuente: Elaboración propia, información obtenida en la empresa.

La planta posee medidores que permite medir el consumo de energía eléctrica en diferentes puntos de la planta, pero, no se tiene conocimiento del consumo en cada una de las 33 células de mecanizado. Sin embargo, es importante conocer cuánto es el consumo de energía eléctrica en el área donde se encuentra el problema.

Para el presente proyecto, el problema se encuentra específicamente en el área de tratamientos térmicos, debido a que las dos lavadoras son los que consumen más energía eléctrica al interior de la célula. En la planta se realiza una medición del consumo de energía

eléctrica, periódicamente para la célula de tratamientos térmicos. A continuación, en la Figura 13 se muestra el consumo de la planta general y también el consumo de la célula de tratamientos térmicos.

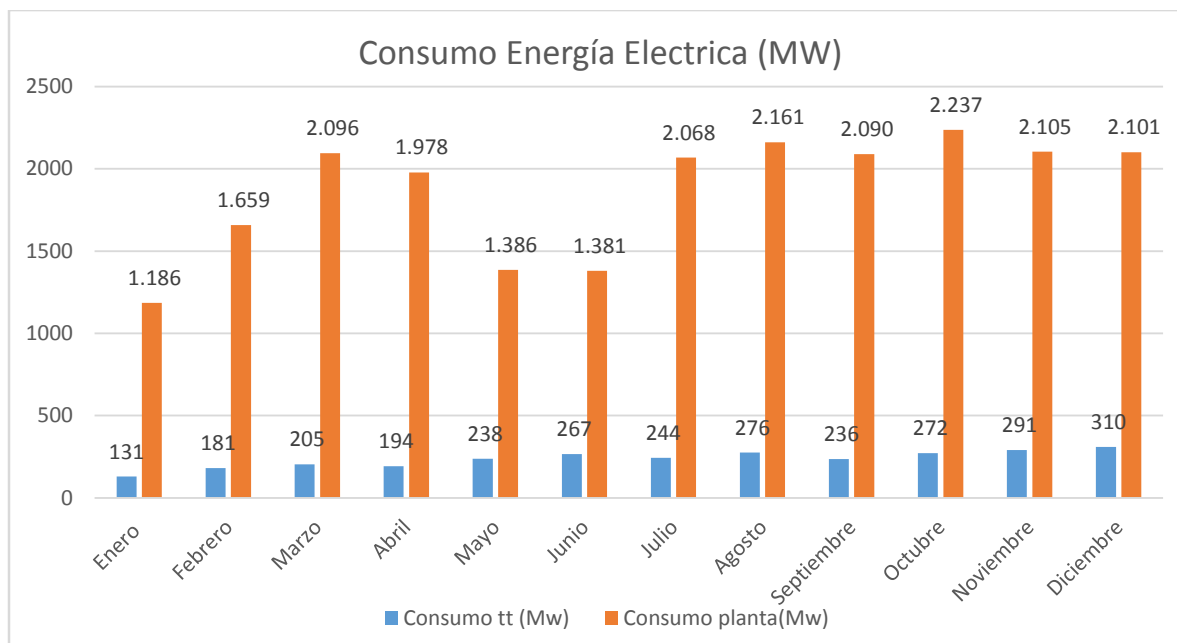


Figura 13 - Consumo eléctrico planta Cormecánica.

Fuente: Elaboración propia, información obtenida en la empresa.

Se puede observar que el área de tratamiento térmico representa gran parte del total en comparación al resto de la planta compuesta por el consumo de las 32 células más los edificios administrativos. Luego se puede observar la representación porcentual del consumo de TT respecto al total de la planta, véase la figura 14. El valor más bajo es 9,78 % el mes de marzo y el valor más alto es 19,34% el mes de junio, obteniendo un promedio de 12,89 % respecto al consumo total de la planta mensualmente que representa 13,3 millones de pesos mensuales.

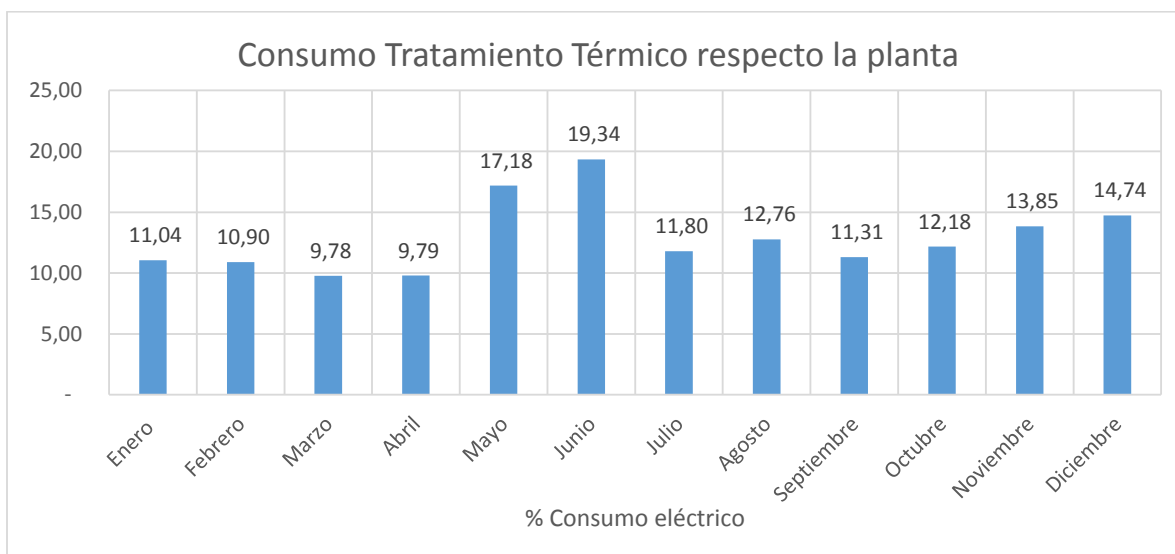


Figura 14 - Consumo eléctrico de TT respecto la Planta (%).

Fuente: Elaboración propia, información obtenida en la empresa.

Luego de analizado el flujo de las materias primas que ingresa a la célula de tratamiento térmico, se observó que las piezas ingresan recubiertas por aceite proveniente desde el usinado en blanco para su limpieza, la empresa utiliza maquinas lavadoras encargadas de retirar el aceite. El proceso consta de dos etapas, la primera mediante aspersores se lanza agua con detergente y en la segunda etapa las piezas son sometidas a un secado aplicando aire a 90 °C.

Para el secado, cada lavadora tiene 12 resistencias de 3 (KW) para llevar el aire a 90 °C. Actualmente, la célula de tratamientos térmicos tiene dos lavadoras operando 24 horas al día para la etapa de preparación de superficie. Esta operación conlleva a un alto consumo de energía eléctrica para la empresa.

2.2 Objetivos del proyecto

2.2.1 Objetivo general

- Reducir el consumo de energía en el proceso de secado de piezas y cajas de velocidades.

2.2.2 Objetivos específicos

- Hacer un levantamiento del proceso de la planta y de la célula de tratamiento térmico.
- Medir el consumo diario de energía eléctrica, en la planta y en la célula de tratamiento térmico, para comparar y confirmar el consumo teórico del equipo.
- Estimar la potencia descargada al ambiente, con los gases de combustión de los hornos.
- Medir los flujos de entrada y salida, de aire en la lavadora y de los gases de combustión del horno.
- Medir el requerimiento energético en la lavadora durante el proceso de secado.
- Determinar los procesos y tiempos de operación de las piezas en los equipos involucrados.
- Identificar grupos de piezas que requieran la misma cantidad de tiempo en la lavadora para conformar cargas mixtas.
- Diseñar alternativas de recuperación de calor descargado al ambiente, para reducir los costos asociados al consumo de energía eléctrica.
- Evaluar económicamente la posible implementación de la alternativa elegida.

2.3 Metodología

- Definir el área de investigación: Delimitar el área de investigación, permite visualizar el alcance que tiene la posible aplicación del proyecto al interior de la empresa y los efectos que la intervención o diseño de un nuevo proceso pueda provocar. No perder el horizonte de observación permite recolectar datos empíricos mediante mediciones para obtener un modelo representativo de la realidad.

- Delimitar los procesos para reconocer restricciones de presupuesto, tiempos en procesos y recursos energéticos disponibles: Observar el funcionamiento de maquinarias y equipos en los procesos involucrados en el desarrollo del trabajo, en la búsqueda de alternativas como: fuentes de energía, información o recursos que permitan reducir los costos y materiales, además, determinar el comportamiento de los equipos durante sus ciclos de trabajo en condiciones normales en el área donde se encuentra el problema.

- Plantear diseño de proceso para verificar mediante cálculos las alternativas de acción y su evaluación: Luego del alcance del marco teórico definir el diseño estructural de la mejor alternativa que permita dar solución al problema detectado. Este diseño debe ir acompañado con los cálculos respectivos que respalden la solución escogida. Finalmente determinar el diseño y dimensiones del equipo que cumpla los requerimientos de las variables en el proceso de secado.

- Viabilidad de la propuesta investigada para cumplir el objetivo de una reducción en el costo energético. La factibilidad económica de una posible implementación del proyecto permitirá vislumbrar el horizonte donde los recursos que deberán ser invertidos en la implementación de la propuesta, pueden ser recuperados. Es por esto que se podrá concluir que el diseño del nuevo proceso sea capaz de reducir el costo energético que actualmente la empresa está utilizando para el secar de las piezas.

Capítulo III: Marco Teórico

3.1 Área de Investigación

A continuación, se muestra los diversos procesos y etapas por los que debe pasar las piezas al interior del área de tratamientos térmicos. Las etapas que requieren las cargas pueden variar generando diversas combinaciones, para mayor detalle se puede consultar el *Anexo II* donde se explica los procesos de forma sucesiva teniendo en cuenta un grupo de piezas que reciben todos los procesos que se mencionan de forma secuencial.

Los procesos que se encuentran al interior del área permiten mejorar las propiedades de las piezas en cada etapa mediante transformaciones físicas y químicas, así lograr un mejor desempeño en la caja de velocidades. Esto se debe a que gran parte de las piezas mecanizadas que conforman la caja son sometidas a un alto torque¹² y fricción¹³ a lo largo de su vida útil.

En este proyecto de ingeniería el problema se encuentra en el proceso o etapa de Preparación de la superficie, observando la figura 15 se puede identificar que representa el primer proceso donde se intervienen las piezas en la línea de tratamientos térmicos.

La figura 15 muestra los procesos por los que tienen que pasar las piezas en orden descendente, ahí se representa una visión global de los procesos como guía para conocer la secuencia de cada uno de ellos al interior de la célula.

¹² Torque: aplicación de un momento sobre un eje longitudinal.

¹³ Fricción: fuerza que existe entre dos superficies de contacto que se opone al movimiento entre ambas.



Figura 15 - Esquema de procesos en área de Tratamientos Térmicos.

Fuente: Elaboración propia, información recopilada en la empresa.

3.2 Objetivo de la preparación superficial

El Área de Tratamientos Térmicos es una de las principales áreas en la línea de producción Cormecánica, ya que, todas las piezas fabricadas en la planta deben pasar por esta célula para mejorar las propiedades, el rendimiento y calidad del producto.

El primer proceso es la preparación de la superficie de las piezas, en el equipo llamado Lavadora para lograr los siguientes objetivos:

- Dejar la superficie de la pieza limpia, sin aceite o elementos residuales producto del mecanizado que al ser fundidos puedan producir la formación de hollín al interior del horno.
- Evitar la contaminación del horno y sondas de oxígeno en su interior, como consecuencia de la evaporación de residuos y aceite en la superficie de la pieza.

3.3 Situación actual

Considerando que el primer proceso del área de TT requiere limpiar y secar las piezas que pasarán por los distintos procesos de mecanizado en blando donde en cada una de las células se aplica una gran cantidad de aceite y líquido refrigerante, para remover el material mecanizado de las forjas y obtener un mejor acabado.

Para este proceso la empresa tiene una Lavadora, que consta de dos etapas. La primera etapa es el lavado, que retira todo tipo de contaminación y sedimentos sobre la superficie de la pieza utilizando agua mezclada con detergente a 40°C. Esta alimentación viene desde otro punto de la planta. La mezcla se aplica mediante aspersión, sobre el grupo de piezas para cubrir mayor área, por unos 20 minutos aproximadamente.

Posteriormente, las piezas se someten a un secado de superficie. El equipo para ésta etapa cuenta con un soplador que alimenta al grupo de secado con aire del ambiente, pasando por un conjunto de 12 resistencias, que permite aumentar su temperatura hasta los 90°C, para retirar la humedad residual del lavado. Esta última etapa es la que tiene un alto consumo de energía. Este equipo funciona tres turnos de lunes a domingo las 24 horas del día.

Piezas que circulan por el equipo:

Tabla 2 - Piezas tratadas en el equipos de lavado.

Nombre de equipo	Piezas sometidas a este equipo
Lavadora 25	Cubos, Desplazables, Piñones locos, Piñón Fijo, PIMA, Árbol Secundario

Fuente: Elaboración propia, Observación en la planta.

3.3.1 Especificación Técnica de Lavadora

Para mejor comprensión del equipo y funcionamiento, es necesario describir la estructura que lo compone donde permite realizar ambas etapas del proceso, a continuación, se detalla la estructura de la lavadora mencionando las partes más importantes para el proceso.

I. La Figura 16 muestra el equipo:

1. *Equipo lavadora*
2. *Cinta transportadora*
3. *Circuito de lavado*

- 4. Condensador
- 5. Sistema de secado
- 6. Bandeja piso
- 7. Gabinete eléctrico
- 8. Mesa descenso salida

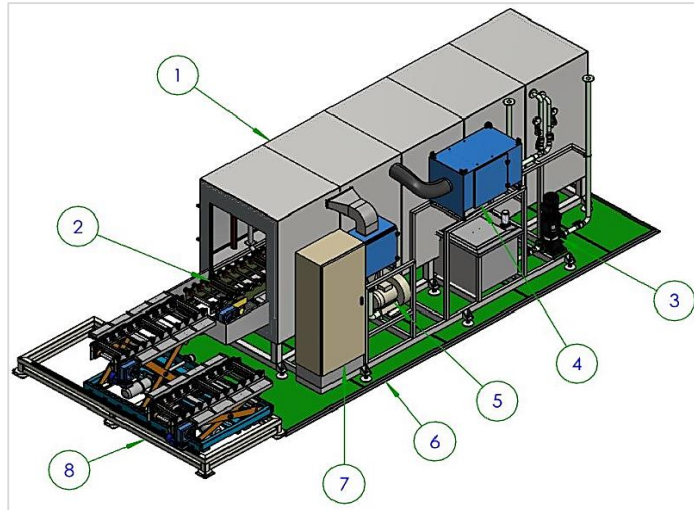


Figura 16 - Lavadora y sus componentes.

Fuente: Manual de proveedor.

II. Descripción de Componentes de lavadora.

- Grupo de transporte: se encarga de trasladar las cargas a través de las dos etapas del proceso de lavado, tomando la carga en la mesa de entrada y entregándolos al final del proceso en la mesa de salida. El mecanismo de funcionamiento está compuesto por un tren de ruedas solidario en ejes impulsados por un motor.

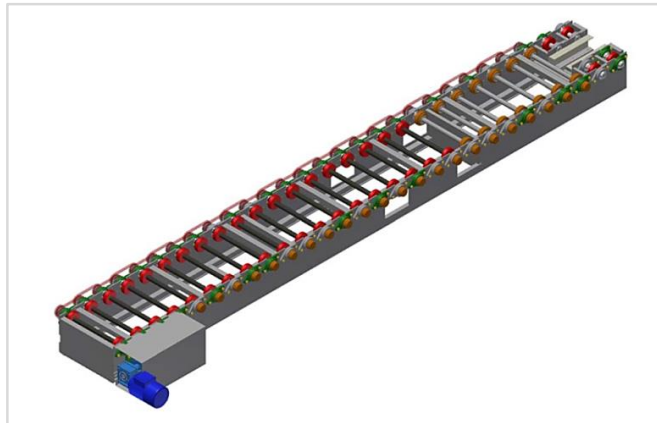


Figura 17 - Grupo de Transporte en lavadora.

Fuente: Manual de proveedor.

- Circuito de agua: el circuito se encarga de la función vital del equipo (el lavado), en esta etapa del proceso las cargas transportadas son lavadas con agua a alta presión suministrada por las cañerías del circuito, el objetivo es eliminar los residuos del proceso de mecanizado anterior al lavado. Las piezas son atacadas desde todos los ángulos por medio de una serie de aspersores a alta presión. Además, el sistema cuenta con un depósito de líquido que posee una cañería de retorno para reutilizar el líquido.

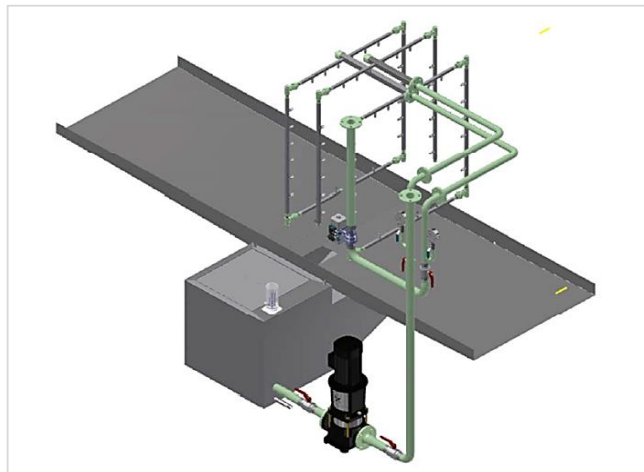


Figura 18 - Circuito de agua en lavadora.

Fuente: Manual de proveedor.

- Grupo de secado: los elementos transportados a través de la lavadora llegan a la etapa de secado luego de haber sido debidamente lavados en la etapa anterior. La unidad de secado aplica a las piezas aire caliente para evaporar el líquido que haya resultado depositado en la pieza luego del lavado. El vapor resultante del proceso será luego tomado por el condensador de vapores y humos. La unidad de secado está compuesta por:

- Ventilador axial.
- Resistencias eléctricas.
- Estructura de soporte.

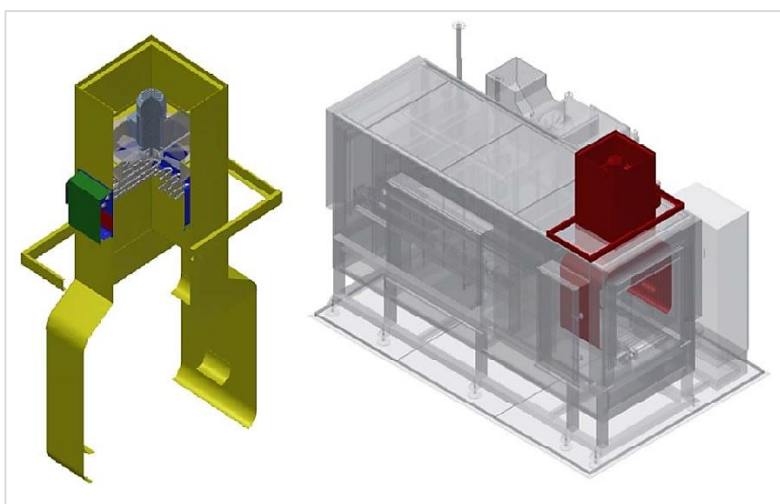


Figura 19 - Grupo de secado de lavadora.

Fuente: Manual de proveedor.

- Grupo condensador de vapores y humos: se encarga de los vapores resultantes del secado para filtrarlo y extraerlo de la máquina utilizando un ventilador. El ventilador succiona los gases resultantes de la parte superior de la lavadora para condensarlo a través de los paneles filtrantes con un sistema oleofilico¹⁴ y devuelve el condensado al sistema de líquido para poder reutilizarlo posteriormente. La unidad está formada por:

- Ventilador axial.
- Paneles filtrantes.
- Estructura soporte.

¹⁴ Oleofilico: capacidad de absorber aceites rápidamente.

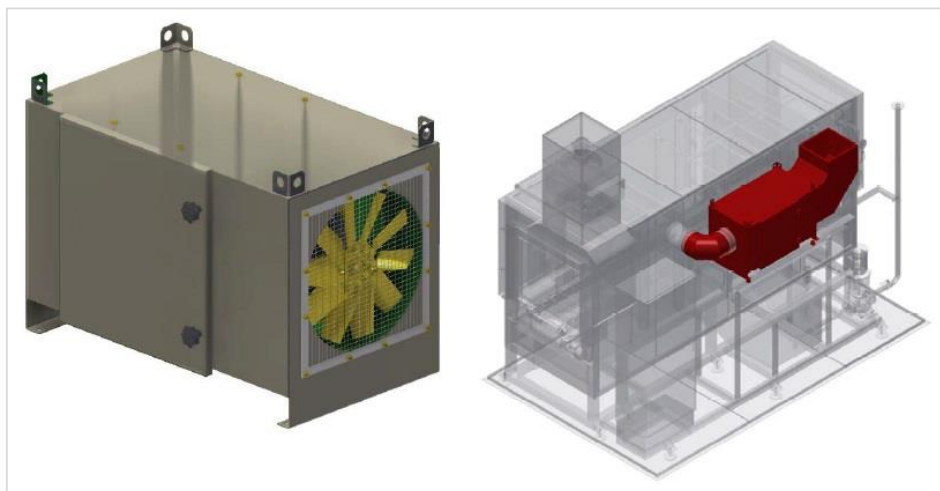


Figura 20 - Grupo condensador de lavadora.

Fuente: Manual de proveedor.

3.3.2 Consumo de energía teórico en la Lavadora

Conforme al objetivo de este trabajo de título, es necesario determinar el consumo de energía de la lavadora. Como ya se ha mencionado la lavadora tiene el mayor consumo de energía eléctrica, en la célula de tratamientos térmicos. Además de representar el mayor costo en la fabricación de las cajas de velocidades. En la Tabla 3 se muestra la potencia eléctrica de cada componente del equipo, véase la siguiente tabla.

Tabla 3 - Potencia eléctrica de componentes en Lavadora.

Componente	Función	Potencia (KW)
2 Motor cinta de transporte	Grupo de transporte	1,10
Bomba retorno lavado CR 32-01	Circuito de agua	2,20
Motor de soplado KRT 450-4 P20	Grupo de secado	0,37
Motor aspiradores de lavado	Grupo de lavado	0,37
Motor aspiradores de vapores	Grupo de lavado	0,37
12 Resistencias de 2,8 KW	Grupo de secado	33,6
Total		38,01

Fuente: Elaboración Propia, información extraída del manual de proveedor.

En esta tabla se ve que la potencia eléctrica total es 38,01 (KW) que requiere el equipo en pleno funcionamiento. Además, se puede ver que la mayor potencia eléctrica requerida es la

de las resistencias de calentamiento del aire, hasta los 90 °C. Esta potencia representa el 88,4% de la potencia total de la lavadora. El consumo, considerando que el equipo funciona todo el día es de 912 (KWh).

3.3.3 Diagnóstico de investigación

Conforme a lo mostrado en la tabla, es conveniente buscar una fuente alternativa de energía, que permita cubrir total o parcialmente el requerimiento de calentamiento del aire de secado. Una posible fuente de energía consiste en aprovechar los gases de combustión extraídos por las chimeneas desde el horno. En el horno se mantienen altas temperaturas para la carbonitruración de las piezas.

Este proceso anteriormente explicado se realiza mediante la reacción de un conjunto de gases por un período de tiempo de aproximadamente 4 horas desde que la carga ingresa al horno hasta que sale del mismo, además el horno está operativo durante las 24 horas del día. En la operación del horno se desecha gases de combustión con temperaturas entre los 350°C y los 590°. Estos gases son la fuente alternativa de energía.

3.3.4 Especificación técnica del Horno

El horno ubicado en la célula de tratamiento térmico *HAT- 09* es de tipo BATCH¹⁵ cuya característica principal es que la carga ingresa y se retira por una misma puerta. La estructura del horno permite el ingreso de una segunda carga de piezas, mientras la primera se encuentra en el área inferior sometida al tratamiento de temple. Como se ha dicho, en este horno se hace el tratamiento de carbonitruración, con el objetivo de aumentar la duración de las piezas mecanizadas.

¹⁵ BATCH: traducción al español “lotes”.



Figura 21 - Horno en célula de TT.

Fuente: Captura propia.

La Tabla 4 muestra la ficha técnica del horno, extraída del manual del proveedor

Tabla 4 - Descripción del Horno.

Sistema de calentamiento del horno	Tubos radiantes recuperativos de fuego alto-bajo con encendedores de chispa.
Gas	Propano (cortina de flama, pilotos efluentes y enriquecimiento)
Calentamiento máximo	1800°F (982°C)
Temperatura mínima de operación	1400°F (760°C)
Control de ciclo	PLC logic (Allen-Bradley SLC 5/05)
Controles neumáticos	80-100 psi
Sistema de atmosfera	Surface combustión endothermic nitrogen-methanol.
Capacidad normal del temple	2236 galones
Temperatura de operación Temple	350°F (176°C)
Calentamiento de Temple	108 kW
Enfriamiento del Temple	enfriador aire/aceite
Agitación de Temple	(2) 20'' diámetro, patea de 3 aspas. 5 hp por motor/agitador, velocidad variable

Fuente: Manual de proveedor.

I. Descripción del interior:

- El diseño del techo elimina la turbulencia en los gases causada por esquinas, así permite una mejor circulación de éstos.
- La carga de trabajo está montada sobre carriles de rodillos y con estructura tipo muelle de la base, para permitir la circulación de los gases de la atmosfera a través de ellos y por alrededor de la carga de trabajo.
- Sistema de calefacción adaptado que permite homogenizar la temperatura dentro del horno de modo que se obtienen diferencias en el interior, no más de 6°C.
- Posibilidad de montaje de un ventilador en el techo debido a su forma, ya que posee un espacio amplio para este tipo de adaptación, esto permite dar una mejor circulación de la Atmosfera y lograr una mejor homogenización de la temperatura.

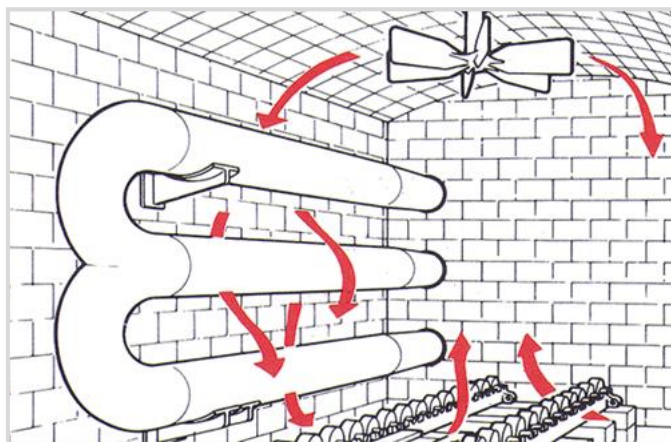


Figura 22 - Interior del Horno.

Fuente: Manual del Proveedor.

En la Figura 22 se muestra el calentador tridente, con forma de E, que proporciona la temperatura del horno mediante radiación proveniente del calor de la flama de los quemadores, la ubicación de las piezas se realiza sobre los rieles en el inferior que sirven de guía para el movimiento de la carga en las bandejas, además, el ventilador provoca la circulación de los gases dentro de la atmosfera como se indicada con flechas rojas y finalmente se puede observar

que, la estructura de las paredes está compuesta por ladrillos refractarios capaces de soportar altas temperaturas por el tiempo que dura el tratamiento térmico de las piezas.

3.4 Posición respecto al proceso investigativo

Una vez definida al área de investigación y posteriormente identificado el equipo involucrado en el gasto de energía eléctrica, es necesario conocer los componentes que le permiten realizar su función.

Para el proyecto fue necesario conocer la situación actual de la lavadora en normal funcionamiento. El principal factor que se debe medir en este proceso es la potencia de las resistencias para determinar el consumo del equipo que se busca cubrir. Conocida esta variable, es indispensable identificar la fuente de energía disponible para suministrar al equipo.

Los hornos utilizados para el proceso de tratamientos térmicos son la fuente disponible para suministrar energía a la lavadora, ya que, los gases emitidos al ambiente tienen temperaturas alrededor de 500 °C, lo que debe ser verificado. Sin embargo, los gases emitidos por las chimeneas del horno tienen monóxido de carbono y dióxido de carbono, componentes tóxicos para la salud, por ello, no se debe utilizar directamente estos gases para secar las piezas.

Por lo anterior, se requiere un intercambiador de calor para usar la energía disponible de los gases de descarga del horno. El tipo de transferencia de calor que se utiliza en proceso son: conducción a través del material de los tubos y convección donde los flujos tendrán el contacto con el tubo. Para el diseño del intercambiador de calor se considera intercambiador de calor de tubos concéntricos e intercambiador de calor de tubos y coraza.

Según los tipos de intercambiadores de calor explicados en el *Anexo III* se define las condiciones de operación de acuerdo a sus clasificaciones. El intercambiador según el tipo de operación será en contraflujo ya que la transferencia de calor en este tipo de operación es más eficiente respecto a flujos en el mismo sentido. El número de pasos que tendrá el intercambiador de calor será determinado por los cálculos que demuestren el cumplimiento de los requerimientos del sistema. El tipo de intercambiador según su función recae en un modelo de

tipo no regenerativo donde, el intercambio de calor ocurre en fluidos no necesariamente del mismo tipo debido que, por un lado, fluirá aire y por otro lado gases de combustión.

El trabajo y los cculos que se desarrolla más adelante son bajo las condiciones ya indicadas. Se busca disminuir las posibles opciones evaluadas, obviamente descartando las alternativas que no cumplen los requisitos definidos para la operación.

Capítulo IV: Metodología

4.1 Diseño metodológico

El resultado del estudio permite obtener una solución para reducir el consumo de energía eléctrica en la lavadora. La propuesta para reducir el consumo de energía se logra con la aplicación de un intercambiador de calor en el proceso que permita cubrir el requerimiento de la lavadora. Los resultados posteriormente permitirán aceptar o rechazar la propuesta.

4.2 Recolección de datos

El rea donde se desarrolla este trabajo de título es la célula de tratamientos térmicos. Los equipos que forman parte del proyecto son: Lavadora y Horno. El análisis se enfoca en determinar las variables que determinan el natural funcionamiento de los equipos, por ejemplo: flujos, temperaturas, tiempos de proceso.

4.2.1 Operación de la Lavadora

Proceso en lavadora

La Figura 23 presenta el proceso de funcionamiento de la lavadora. El equipo cuenta con dos sectores de operación en su interior. En el primer sector, las piezas montadas en las cargas ingresan al grupo de lavado. En esta parte del proceso, las piezas son expuestas a agua

con detergente a 40 °C retirando el aceite desde la superficie de las piezas. El aceite es requerido en mecanizado. Posteriormente, la carga con piezas ingresa al segundo sector, compuesto por el grupo de secado. En este sector se aplica aire a 90 °C secando las piezas, que posteriormente son manipuladas por los operarios para el tratamiento siguiente en la célula. En lo que continua se determinan las variables más relevantes para el desarrollo del proyecto.

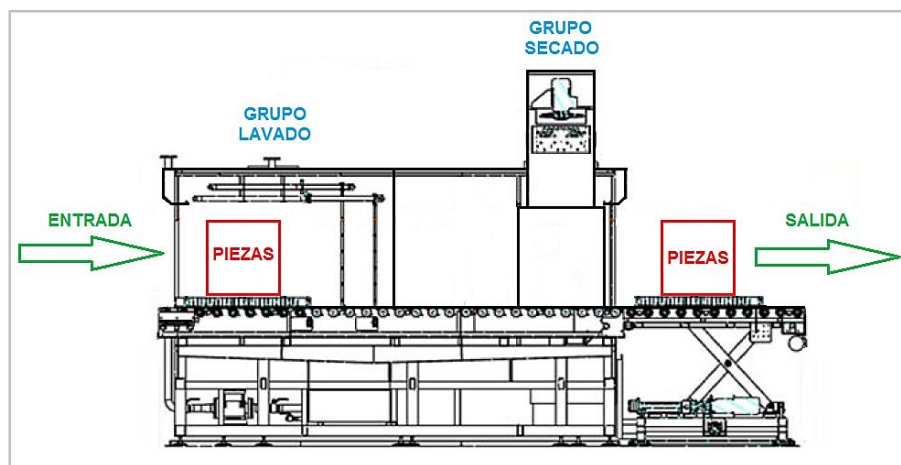


Figura 23 - Proceso el interior del equipo lavadora.

Fuente: Elaboración propia.

Resultado en las piezas

La Figura 24 muestra imágenes de una pieza, antes del ingreso a la lavadora y después de pasar por ambas etapas de ella. Para el ejemplo se utilizó un cubo, nombre de la pieza sometida al proceso. El resultado que se observa es la base de la necesidad que debe cubrirse ya que es la representación de, cómo está operando el equipo actualmente. Posteriormente se analiza las variables más relevantes para el desarrollo de este proyecto de ingeniería.

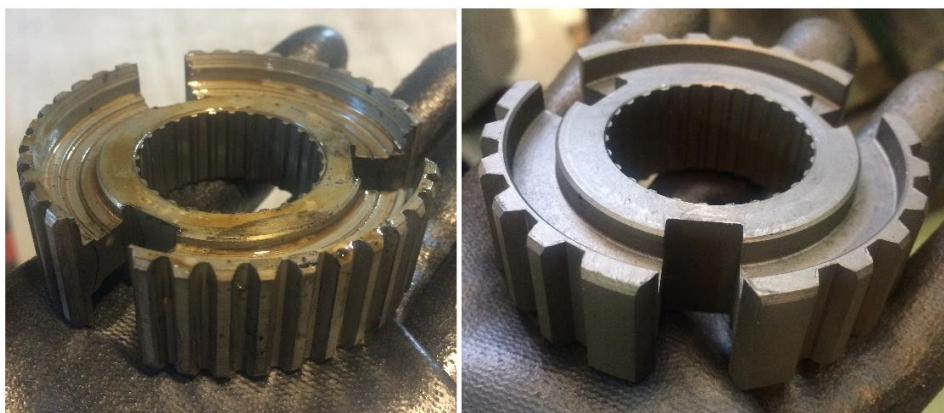


Figura 24 - Cubo antes de ingresar a la lavadora (izquierda) y después de salir (derecha).

Fuente: Captura propia.

En la primera imagen se puede observar la superficie de la pieza recubierta por el aceite necesario en el mecanizado en blando. Adicionalmente tiene restos de virutas y de partículas en la superficie. En la imagen de la derecha se observa el resultado del proceso completo donde la pieza se retira limpia, sin residuos y seca.

Tiempo de tratamiento de las piezas

Es necesario determinar el tiempo que cada tipo de pieza permanece en el interior de cada etapa. Con este fin se utilizó el método empírico de observación durante la operación normal del equipo. En la siguiente Tabla 5 se presenta el tiempo registrado para los distintos tipos de piezas.

Tabla 5 - Tiempos de operación de lavadora.

Tiempos de operación					
Pieza	Cantidad	Tiempo inicio (min)	Tiempo término (min)	Lavado (min)	Secado (min)
Desp. 1/2	357	0	50	20	30
PL	240	20	74	20	34
AS	77	40	88	20	28
AS	77	60	105	20	25
PL	240	80	136	20	36
PL	240	100	153	20	33
Cubo	320	120	173	20	33

Fuente: Elaboración propia.

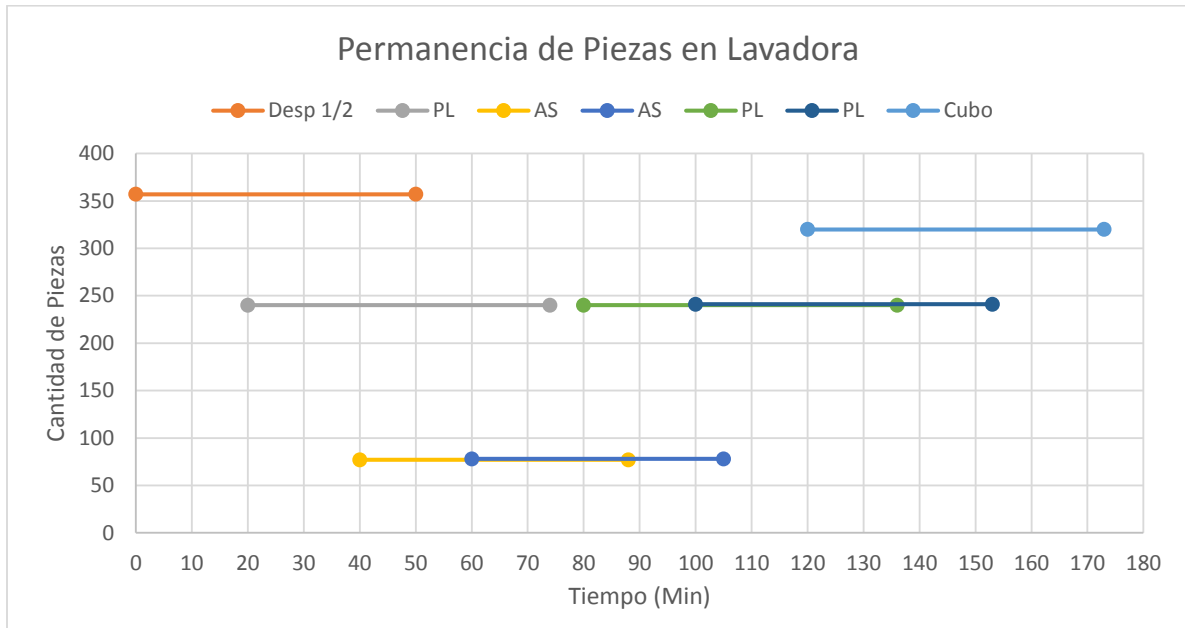


Figura 25 - Permanencia de piezas al interior de lavadora.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que el tiempo de permanencia en la primera etapa, etapa de lavado es 20 minutos. Posteriormente, las piezas pasan a la segunda etapa, de secado, donde se registra un tiempo de 25 hasta 36 minutos. El motivo de la diferencia en esta etapa se debe a la manipulación de los operarios, dado que, si una pieza finaliza la etapa de secado y no es retirada de la línea de salida, esta acción no permitirá que el equipo haga el ingreso automático de la siguiente carga con piezas.

Gran parte de las ocasiones que esta situación se observó, se debe a que los operarios estaban montando cargas para hacer el ingreso de las piezas a los hornos. También es importante mencionar que, aunque las piezas en el grupo de secado permanezcan mayor tiempo, no afecta la calidad de la pieza ni el resultado de la operación.

La cantidad de piezas por carga depende de las dimensiones de cada modelo de pieza. Obviamente, el número de piezas que se puede montar será mayor para piezas pequeñas.

Grupo de secado

Para determinar el flujo a través del grupo de secado, primero se debe conocer la estructura de conjunto. En la Figura 26 se detallan las partes que componen el conjunto del grupo de secado. También se muestra el paso del flujo de aire utilizado para secar las piezas a través del ducto en un correcto funcionamiento.

Las dimensiones del equipo son las siguientes: alto 1,6 (m), ancho 0,6 x 0,6 (m), en su interior posee un soplador axial y 12 resistencias que permiten elevar la temperatura del flujo de aire al pasar por el ducto.

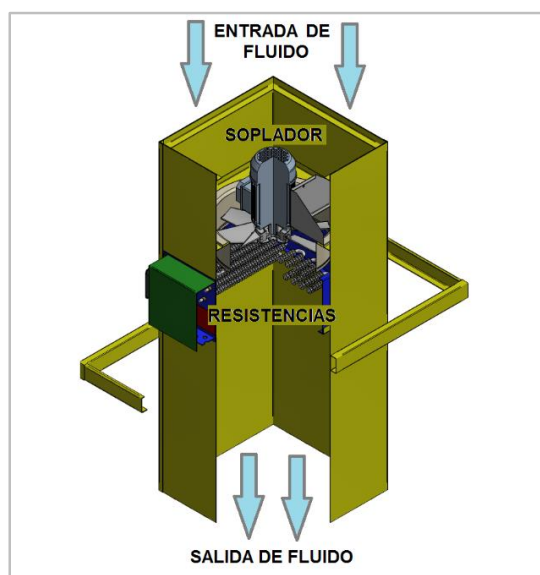


Figura 26 - Estructura del grupo de secado.

Fuente: Manual de usuario con adaptaciones propias.

Conocida la estructura y el funcionamiento del grupo de secado, se deben medir e identificar las variables relevantes para visualizar el comportamiento del fluido al pasar por el conjunto. Al observar la entrada y salida del flujo de aire por el equipo, es preciso definir y calcular las dimensiones físicas que posee el fluido durante el paso por la estructura, por ejemplo: flujo másico, temperatura, viscosidad, densidad, etc. A continuación, se expone el procedimiento utilizado para determinar las dimensiones.

Energía que proporciona el grupo de secado

El grupo de secado consta de un ventilador soplador que permite el paso del flujo de aire a través del grupo de secado. Para conocer la variación de temperatura del flujo fue necesario inicialmente medir la temperatura del aire antes del ingreso al grupo de secado obteniendo un valor de $30,07\text{ }^{\circ}\text{C}$, valor que para efectos del cálculo se utilizará como $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las características del instrumento que se usó en la medición de la temperatura del aire se encuentra en el *Anexo V*.

Luego que el aire ingresa al grupo de secado por medio del soplador, el flujo es calentado hasta $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, que es la requerida por el tratamiento. Conocida la temperatura teórica en la salida del flujo aire, se debe comprobar con las actuales condiciones de operación.

Para obtener la variación de las temperaturas que entrega el grupo de secado se observó el controlador automático que posee el equipo en su operación para un día normal. En este controlador se puede observar la temperatura del aire en tiempo real. La Figura 27 muestra registros de esa temperatura.

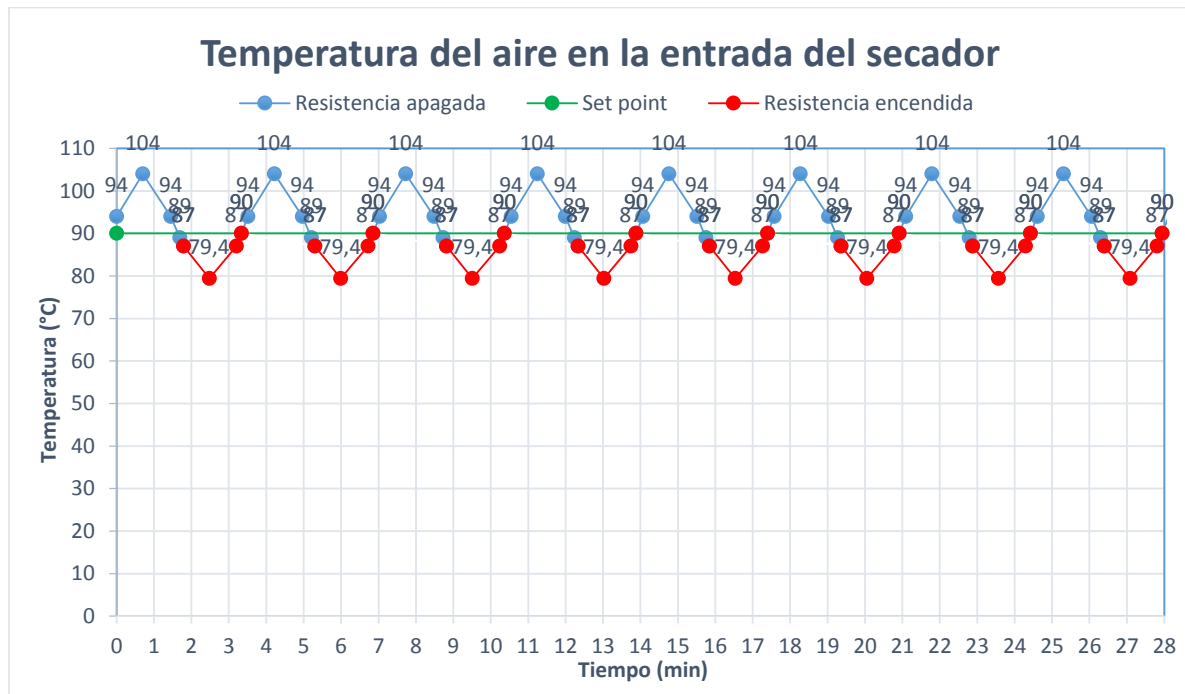


Figura 27 - Variación de temperatura del fluido en secador.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 27 permite observar el comportamiento de la temperatura en las resistencias cuando el flujo pasa por el grupo de secado. El equipo se encuentra programado para un punto de control estable en 90 °C. Cuando la temperatura del aire baja hasta 90 °C, el sistema de control automático suministra energía eléctrica a las resistencias, para calentar el aire a 90°C. Las resistencias eléctricas se calientan lentamente por su inercia térmica. En el tiempo de calentamiento de las resistencias, la temperatura del aire ha bajado hasta un mínimo de 79,4 °C. Posteriormente, cuando la temperatura del aire llega a los 90 °C, el sistema de control automático suspende el suministro de energía eléctrica a las resistencias. La inercia térmica de las resistencias sigue suministrando calor al aire, aumentando su temperatura hasta alcanzar una máxima temperatura de 104 °C. Desde esta temperatura, baja la temperatura hasta los 90°C, procediendo el control automático a suministrar energía eléctrica. Así procede el ciclo mostrado en la Figura 27.

Flujo de aire utilizado en el proceso de secado

Para medir el flujo de aire usado en el proceso de secado, se usó un anemómetro que se describe en el *Anexo V*. La forma geométrica del ducto es un cuadrado de 60 cm x 60 cm en la entrada y en la salida del equipo. Para que la medición del flujo de aire tenga una buena precisión, se hizo 64 mediciones con la distribución que se muestra en la Figura 28.

Las mediciones realizadas con el anemómetro fueron realizadas en la entrada del ducto donde se logra conseguir condiciones de medida estables. Las condiciones de operación son las siguientes: temperatura ambiente de 30 °C; presión total de 1 atm. A continuación, se muestran los resultados.

0,5	0,5	0,7	0,8	0,6	0,4	0,4	0,2
0,6	1,4	1,5	1,7	1,9	1,7	1	0,4
0,8	1,8	2,4	2,5	2,5	2,3	1,6	0,6
1,1	2,1	2,7	2,8	2,7	2,6	2,2	0,7
1,1	2,1	2,6	2,7	2,8	2,7	1,9	0,8
0,9	1,8	2,3	2,3	2,5	2,3	1,5	0,7
0,7	1,5	1,6	1,8	1,8	1,6	1,1	0,5
0,3	0,3	0,5	0,8	0,5	0,5	0,3	0,3

Figura 28 - Recorrido definido para las mediciones junto a los resultados.

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de la figura se encuentran en metros/segundo. Corresponden a velocidades del aire en el centro de cuadrados de 7,5 cm de lado. El objetivo es determinar el caudal a través de la velocidad media creando un perfil para el comportamiento del fluido.

$$\text{Suma de velocidades} = 90,8 \text{ (m/s)}$$

$$\text{Total, mediciones} = 64$$

$$\text{Velocidad media} = 1,42 \text{ (m/s)}$$

$$\text{Caudal} = V_{\text{media}} \times \text{Área} = 1,42 \text{ (m/s)} \times 0,60 \text{ (m)} \times 0,60 \text{ (m)} = 0,51 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$\text{Flujo másico} = \text{caudal} \times \text{densidad (aire a } 30^\circ\text{c)}$$

$$\text{Flujo másico} = 0,51 \text{ (m}^3\text{/s)} \times 1,164 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0,59 \text{ (kg/s)}$$

Entonces, el flujo másico en la entrada del grupo de secado es 0,59 (kg/s). La velocidad de transferencia de calor al flujo de aire, es:

$$Q = C_p \dot{m} \Delta T = 1,007 \times 0,59 \times 60 = 35,36 \text{ kW}$$

Donde:

\dot{m} : flujo másico del aire = 0,59 (kg/s)

C_p : calor específico del aire = 1,007 (KJ/Kg°K)

ΔT : diferencia de temperatura = 60 °C

Se requiere 35,36 (KW) para calentar el flujo de aire. Sin embargo, la potencia instalada en las resistencias es de solo 33,6 (KW). Con esa potencia, el flujo másico de aire que se podría calentar desde 30 a 90°C es de 0,56 (kg/s).

Para explicar la diferencia de flujos de aire, se plantea la hipótesis de una variación en el flujo másico conforme a las variaciones en la densidad y la viscosidad del fluido.

En la Tabla 6, se muestra la variación del flujo másico conforme cambia la temperatura del fluido considerando las siguientes condiciones:

Hipótesis: 1 El flujo es estacionario y compresible debido a que la presión produce una pequeña variación de densidad, haciéndola despreciable comparando con el cambio por temperatura. 2 Los efectos de entrada son despreciables por lo tanto el flujo está totalmente desarrollado. 3 El tramo del ducto no incluye accesorios como codos, válvulas o uniones.

Datos:

Área del ducto = 0,36 (m²)

Sección transversal del ducto = 0,6 (m)

Flujo másico inicial de entrada = 0,59 (Kg/s)

Velocidad inicial de ingreso = 1,42 (m/s)

Presión absoluta de entrada = 1 (atm)

Temperatura entrada = 30 (°C)

Análisis: Dado que la presión de entrada como la presión de salida son iguales se obtiene que:

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g_c}$$

Donde:

f : factor de fricción [-] adimensional

L : largo del ducto (m)

D : 4 veces el diámetro hidráulico (m) = $4R_h$

g_c : gravedad específica (m/s)

v : velocidad (m/s)

ΔP es la energía que entrega el ventilador al aire.

Considerando la caída de presión constante y agrupando las variables igualmente constantes como el largo del ducto, diámetro y gravedad específica se obtiene:

$$\frac{\Delta P D 2g_c}{L} = f v^2$$

Teniendo en cuenta $f v^2$ se comporta de forma constante se puede determinar $f v^2$ para cada variación en la temperatura obteniendo de esta forma:

$$f_i v_i^2 = f_j v_j^2$$

Entonces se puede determinar el factor de fricción y la velocidad para cualquier i, j siendo éstas, distintas para cada temperatura del fluido. Bajo esta condición el primer paso es determinar el radio hidráulico a través de:

$$R_h = \frac{A}{P_m}$$

Donde:

R_h : radio hidráulico (m)

A : área ducto (producto de secciones transversales) = $0,36(\text{m}^2)$

P_m : Perímetro mojado (4 veces la sección transversal) = $2,4$ (m)

Reemplazando en la ecuación anterior se obtiene que el radio hidráulico es de 0,15 (m). El número de Reynolds para el flujo en secciones no circulares se calculó con la siguiente ecuación extraída del libro *Mecánica de fluidos aplicada de Robert L. Montt* que se detalla en la bibliografía:

$$R_e = \frac{V_m(4R_h)\rho}{\mu}$$

Donde:

V_m : velocidad media (m/s)

R_h : radio hidráulico (m)

ρ : densidad (Kg/m³)

μ : viscosidad dinámica (Kg/m s)

De acuerdo a las consideraciones mencionadas y los cálculos realizados, se elaboró la siguiente tabla para determinar la variación del flujo másico dado que, las distintas temperaturas del fluido como hace variar su viscosidad y densidad, ver Tabla 28, en el *Anexo V* donde se muestran las distintas viscosidades y densidades del aire a variadas temperaturas.

Tabla 6 - Flujo másico respecto a la variación de la temperatura.

T (°C)	R_h (m)	ρ (Kg/m ³)	μ (Kg/m s)	\dot{m} (kg/s)	v_i (m/s)	R_e	f_i	v_j (m/s)
30	0,6	1,164	1,872E-05	0,594	1,418	52.902,3	0,02041	1,416
35	0,6	1,145	1,895E-05	0,584	1,395	50.568,1	0,02061	1,411
40	0,6	1,127	1,918E-05	0,575	1,396	49.206,4	0,02074	1,391
45	0,6	1,109	1,941E-05	0,566	1,395	47.834,5	0,02087	1,391
50	0,6	1,092	1,963E-05	0,557	1,396	46.603,8	0,02100	1,391
60	0,6	1,059	2,008E-05	0,541	1,375	43.514,4	0,02133	1,385
70	0,6	1,028	2,052E-05	0,525	1,376	41.375,2	0,02157	1,367
80	0,6	0,9994	2,096E-05	0,510	1,379	39.438,6	0,02181	1,369
90	0,6	0,9718	2,139E-05	0,496	1,379	37.586,4	0,02206	1,371
100	0,6	0,9458	2,181E-05	0,483	1,380	35.908,2	0,02229	1,372
120	0,6	0,8977	2,264E-05	0,458	1,346	32.019,5	0,02290	1,362

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla a medida que la temperatura del aire aumenta su densidad disminuye y su viscosidad aumenta. Este efecto tiene como directa consecuencia que

la velocidad de dicho fluido disminuya, para esta situación en donde la velocidad del flujo cae, la permanencia del mismo es mayor al contacto con las resistencias por lo que su temperatura aumenta dado que las resistencias alimentan una potencia de 33,6 KW independiente del flujo circulante.

Considerando que la velocidad del aire disminuye al avanzar por el ducto secador entonces el flujo másico que sale, de igual forma disminuye proporcionalmente. Dada esta condición, se puede demostrar que debido a la variación del flujo másico que permanece un mayor tiempo al interior del equipo se produce un aumento gradual de la temperatura del fluido por sobre los 90°C.

Pero dado que, de acuerdo con las leyes de conservación de masa, el flujo másico que entra es igual al flujo másico que sale.

Entonces, la fluctuación que ocurre en la cantidad del fluido que pasa por el grupo de secado, cumple la siguiente condición: conforme aumenta la viscosidad del fluido, el aire que circula por el grupo de secado disminuye la velocidad, impidiendo el ingreso de la misma cantidad de flujo másico inicial, dado a esto el flujo másico disminuye conforme aumenta la temperatura.

Consumo real de energía en la lavadora

En el Capítulo III Marco teórico se muestra la tabla con los consumos de los componentes en la lavadora, los consumos ahí expuestos son con base al manual entregado por el proveedor del equipo para la empresa Cormecánica. Bajo esta situación se hace indispensable verificar empíricamente el consumo del equipo al interior de la célula de tratamientos térmicos. Se consiguió los permisos necesarios, conforme al protocolo de seguridad de la empresa. La descripción del instrumento utilizado para realizar la medición se describe en el *Anexo V*.

Los parámetros utilizados en el equipo son mediciones consecutivas para cada 5 segundos, bajo un funcionamiento normal en un tiempo de 2 horas, dada la gran cantidad de registros que arroja el instrumento. La Figura 29 muestra un extracto del consumo eléctrico de la lavadora.

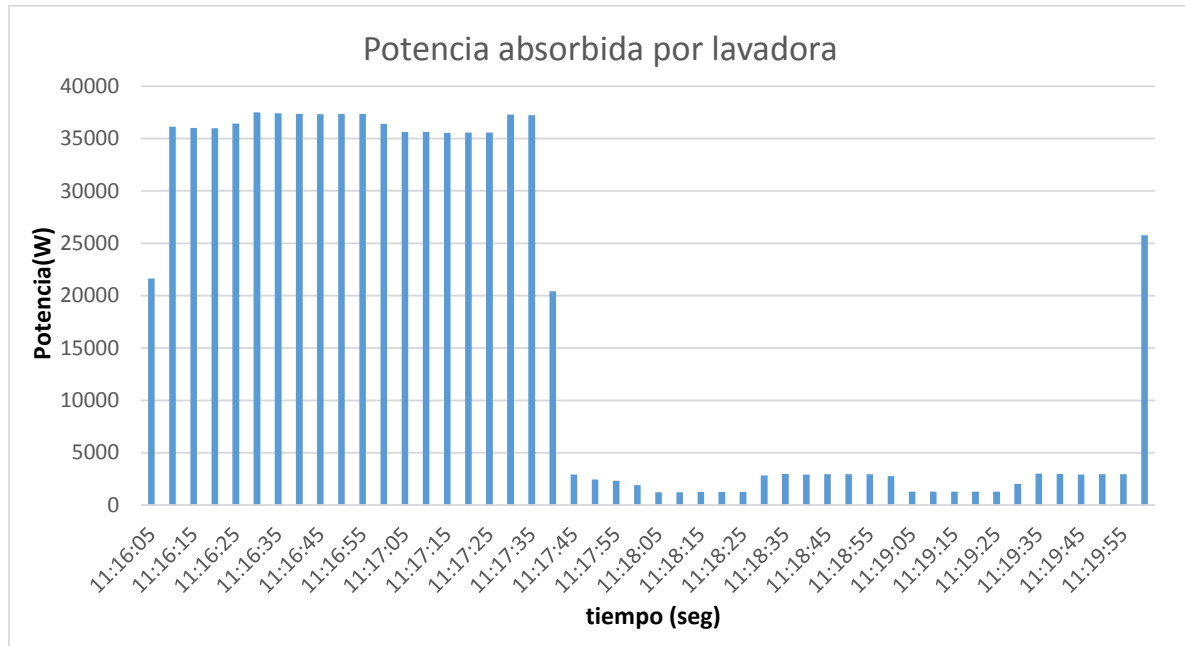


Figura 29 - Medición de potencia absorbida por la lavadora.

Fuente: Datos extraídos del instrumento de medición.

En la figura se puede observar las mediciones realizadas para un tiempo de 5 minutos, dado que las mediciones completas duraron 2 horas y la frecuencia de medida era cada 5 segundos. Como el número de datos tabulados fue 1448, fue necesario graficar los datos sólo para el ciclo entre resistencias encendidas y resistencias apagadas. En figura se puede observar la variación desde que las resistencias empiezan a recibir energía eléctrica, a las 11:16:05 versus cuando dejan a recibir energía eléctrica a las 11:17:45 segundos. Se puede observar que las mediciones corresponden al consumo descrito en el manual del proveedor, ya que, en su conjunto el equipo requiere cerca de 38.000 (W) equivalentes a 38 (KW) y las resistencias por si solas equivalen a 33 (KW) aproximadamente. Los resultados se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7 - Medición de potencia utilizada por lavadora.

Modelo 8335	Numero serial	214387	Hardware Rev 1.1
Equipo	LAV25		
Fecha Inicio	Hora inicio	Fecha Término	Hora Término
30-03-2017	11:16:05	30-03-2017	13:16:00
Confección tipo: 3-Fase	MN93 Sonda		
Fecha	Hora	Frecuencia (Hz)	Potencia (W)
30-03-2017	11:16:05	49,98	21630,10
30-03-2017	11:16:10	49,99	36143,43
30-03-2017	11:16:15	49,98	36027,39
30-03-2017	11:16:20	49,98	35982,09
30-03-2017	11:16:25	49,97	36422,96
30-03-2017	11:16:30	49,96	37503,66
30-03-2017	11:16:35	49,95	37398,74
30-03-2017	11:16:40	49,94	37363,14
30-03-2017	11:16:45	49,95	37318,87
30-03-2017	11:16:50	49,96	37346,52
30-03-2017	11:16:55	49,96	37342,15
30-03-2017	11:17:00	49,93	36390,17
30-03-2017	11:17:05	49,90	35630,22
30-03-2017	11:17:10	49,90	35615,89
30-03-2017	11:17:15	49,90	35539,91
30-03-2017	11:17:20	49,91	35554,29
30-03-2017	11:17:25	49,95	35580,69
30-03-2017	11:17:30	49,99	37299,01
30-03-2017	11:17:35	50,01	37230,45
30-03-2017	11:17:40	50,01	20414,34
30-03-2017	11:17:45	50,01	2930,76
30-03-2017	11:17:50	50,02	2454,42
30-03-2017	11:17:55	50,01	2335,52
30-03-2017	11:18:00	50,01	1923,03
30-03-2017	11:18:05	50,02	1228,68
30-03-2017	11:18:10	50,02	1238,09
30-03-2017	11:18:15	49,99	1242,63
30-03-2017	11:18:20	49,97	1247,48
30-03-2017	11:18:25	49,95	1254,30
30-03-2017	11:18:30	49,92	2827,98
30-03-2017	11:18:35	49,90	2978,59
30-03-2017	11:18:40	49,93	2930,73
30-03-2017	11:18:45	49,95	2936,58
30-03-2017	11:18:50	49,97	2938,96
30-03-2017	11:18:55	50,00	2946,04
30-03-2017	11:19:00	50,02	2770,05

30-03-2017	11:19:05	50,03	1277,78
30-03-2017	11:19:10	50,03	1280,25
30-03-2017	11:19:15	50,01	1274,06
30-03-2017	11:19:20	50,00	1280,53
30-03-2017	11:19:25	50,02	1276,18
30-03-2017	11:19:30	50,04	2017,61
30-03-2017	11:19:35	50,02	3000,29
30-03-2017	11:19:40	49,98	2965,07
30-03-2017	11:19:45	49,93	2932,23
30-03-2017	11:19:50	49,93	2948,15
30-03-2017	11:19:55	49,94	2940,23
30-03-2017	11:20:00	49,96	25756,75

Fuente: Datos extraídos del instrumento de medición.

4.2.2 Gases de Combustión del Horno

Si bien el funcionamiento del horno se explicó en el capítulo anterior, es este apartado el enfoque está en los gases que perderán parte de su energía para ser utilizada en el proceso de secado en la lavadora.

Extracción de gases de combustión del horno

El flujo de gases de combustión ingresa y evacúa el horno por la parte posterior de su estructura. La Figura 30 muestra el flujo de entrada destacado con color amarillo y el flujo de salida destacado con color naranja.

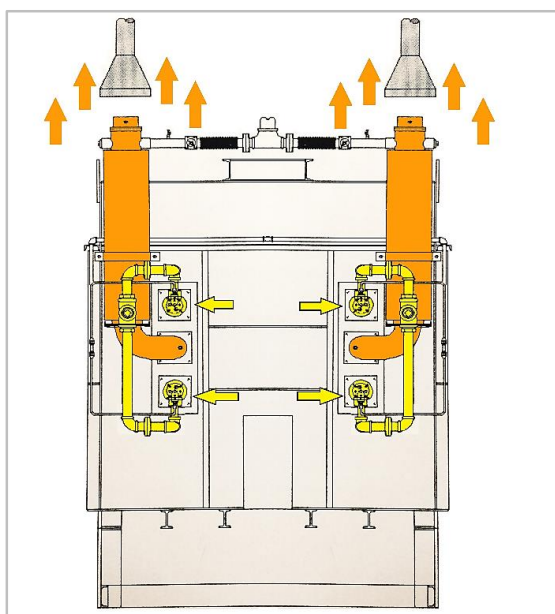


Figura 30 - Flujos de entrada y salida del horno.

Fuente: Elaboración propia.

Para más detalle se describe el mecanismo utilizado para calentar el interior de la atmósfera del horno. El calefactor, llamado tridente, es la base para calcular los flujos y la composición de los gases que salen del horno, por las chimeneas. El interior del horno posee dos tridentes donde cada uno tiene dos alimentaciones y una sola salida con los gases de combustión. En la Figura 31 se muestra el diagrama con las representaciones de cada flujo.

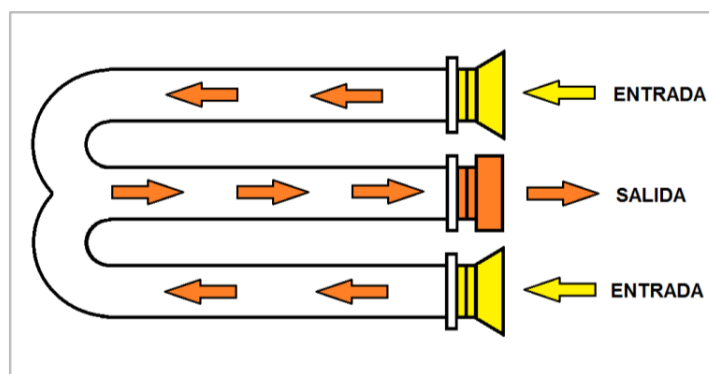


Figura 31 - Tridente con flujos de gases.

Fuente: Elaboración propia.

En esa figura se puede observar la alimentación al tridente con flechas de color amarillo. Esta alimentación se compone de aire mezclado con gas natural. La ignición se realiza por medio de una chispa en el inyector. En este punto los gases de combustión circulan por el tridente, entregando la energía térmica por conducción a través del metal hacia la atmósfera interior del horno y por convección, cuando los gases interiores del horno están en contacto con las paredes externas del tridente. Esta combustión es la que entrega toda la energía para el proceso de carbonitruración de las piezas al interior del horno.

Variación de temperatura en los gases de salida

Los gases que son expulsados al ambiente tienen temperaturas entre 350 °C y 580 °C. Debido a esta variación es necesario registrar la temperatura de esos gases. Para esa medición se usó el instrumento *Testo 380* que se describe en el *Anexo V*. El instrumento se instaló en el

ducto de salida de los gases. Se lo programó para registrar las temperaturas en la operación completa de una carga sometida al tratamiento de carbonitruración. La extracción de los gases es por tiro natural, no requiere extracción forzada. La Figura 32 muestra la variación de la temperatura de los gases de combustión.

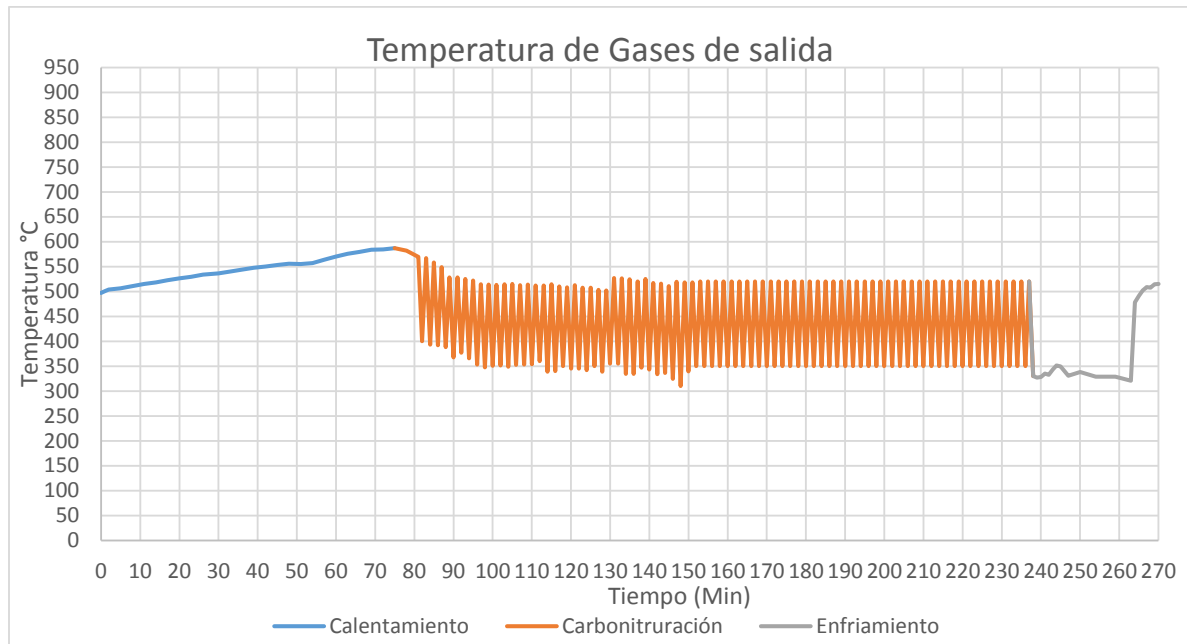


Figura 32 - Temperatura de los gases de combustión.

Fuente: Elaboración propia.

La figura muestra las tres etapas claves en el proceso de operación del horno. La primera etapa es el calentamiento del horno, en esta etapa el horno se prepara para llegar a los 880 °C en la atmósfera de tratamiento de las piezas. La segunda etapa muestra fluctuaciones entre los 350°C y los 530°C de los gases. Esta etapa es la más extensa del proceso, donde la atmósfera se debe mantener en 880°C. Finalmente, en la tercera etapa la temperatura de los gases de combustión cae hasta los 350°C.

Flujos de gases en el sistema

La composición en la entrada del tridente de combustión está compuesta por aire seco y gas natural licuado. Al interior de la empresa Cormecánica se realiza diariamente el registro

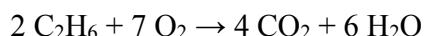
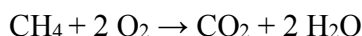
del suministro de los gases utilizados en la célula de tratamientos térmicos. La Tabla 8 muestra las características del gas natural licuado.

Tabla 8 - Propiedades del gas natural licuado.

Propiedad	Gas natural licuado
P (KPa)	102,83
V (m ³ /hr)	3,83
T (°C)	17
φ (Kg/m ³)	0,56
ṁ (kg/s)	1,89

Fuente: Elaboración propia, seguimiento en planta.

Con el instrumento *Testo 380* utilizado para registrar la temperatura de los gases de combustión en la salida del tridente, se determinó el exceso de aire en la composición de la mezcla. Se midió el registro $\lambda = 1,34$. Eso quiere decir que la combustión tiene un exceso de aire en un 34% en volumen. Además, el rendimiento del equipo se encuentra es 82,7 %. Teniendo en consideración ambos factores y bajo las siguientes consideraciones: existe una combustión completa por exceso de aire, el rendimiento del equipo es de 82,7 % y las reacciones ocurren simultáneamente. Se puede utilizar las siguientes ecuaciones estequiométricas para representar la combustión de la mezcla.



La composición del gas natural licuado se muestra en la Tabla 9:

Tabla 9 - Composición del gas natural licuado.

Gas natural licuado	PM	n	Y _i (%) ¹⁶
CH ₄	16	111,52	95
C ₂ H ₆	30	3,52	3
Total	16,1 ¹⁷	117,39	

Fuente: Internet, GNL Quintero.

¹⁶ La composición del 2 % restante es un conjunto de gases que no influyen para efecto del cálculo.

¹⁷ PM total en base de cálculo como peso molecular promedio.

Desde las ecuaciones de combustión, se puede determinar la presencia del oxígeno y a su vez la cantidad de aire que ingresa a la mezcla. La cantidad de oxígeno de la primera reacción se determina que el número de moles de oxígeno es 223,04 moles y de la segunda reacción que el número de moles de oxígeno es 12,32 moles. Por lo tanto, los moles totales de oxígeno que ingresan al tridente son 315,38 moles, considerando el exceso del 34. En la Tabla 10 se muestra la composición del aire en condiciones normales.

Tabla 10 - Composición del aire.

Aire	PM	n	Y_i (%)
O ₂	32	235,36	21
N ₂	28	1186,43	79
Total		1421,79	

Fuente: Química general, 7^{ma} edición, Raymond Chang.

Considerando los flujos de entrada al sistema del tridente, donde ocurre la combustión de los gases utilizados en el proyecto, se calcula la salida de gases de combustión del sistema. Estos gases son los que se utilizará para calentar el aire de secado en la lavadora. De la primera reacción se tiene

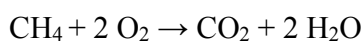


Tabla 11 - Cálculo para la reacción 1.

Compuesto	Entra	Reacciona	Produce	Sale
CH ₄	111,52	111,52x0,827 = 92,23	/	19,29
O ₂	O ₂	184,45	/	O ₂ - 184,45
CO ₂	/	/	92,23	92,23
H ₂ O	/	/	184,45	184,45
N ₂	N ₂	/	/	N ₂

Fuente: Elaboración propia.

De la segunda reacción se tiene

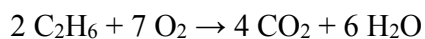


Tabla 12 - Cálculo de reacción ecuación 2.

Compuesto	Entra	Reacciona	Produce	Sale
C ₂ H ₆	3,52	$3,52 \times 0,827 = 2,91$	/	0,61
O ₂	O ₂	10,19	/	O ₂ - 10,19
CO ₂	/	/	5,82	5,82
H ₂ O	/	/	8,73	8,73
N ₂	N ₂	/	/	N ₂

Fuente: Elaboración propia.

Combinando los resultados de ambas reacciones el flujo de salida de los gases es el mostrado en la Tabla 13.

Tabla 13 - Determinación del flujo másico.

Compuesto	Entra (gr mol/s)	Sale (gr mol/s)	PM	\dot{m} (kg/s)
CH ₄	111,52	19,29	16	0,31
O ₂	315,38	$315,38 - 184,45 - 10,19 = 120,74$	32	3,86
CO ₂	/	$92,23 + 5,82 = 98,05$	44	4,32
H ₂ O	/	$184,45 + 8,73 = 193,18$	18	3,48
N ₂	1186,43	1186,43	28	33,22
C ₂ H ₆	3,52	0,61	30	0,02
Total				45,21

Fuente: Elaboración propia.

Una vez determinado el flujo másico de los gases de combustión, se puede determinar el calor específico de esta mezcla.

Tabla 14 - Calor específico en la salida de los gases.

Compuesto	C _p compuesto (KJ/Kg°K)	% volumen	C _p en mezcla (KJ/Kg°K)
CH ₄	3,158	1,19	0,04
O ₂	0,997	7,46	0,07
CO ₂	1,060	6,06	0,06
H ₂ O	1,997	11,94	0,24
N ₂	1,070	73,31	0,78
C ₂ H ₆	1,744	0,04	0,00
C _p de mezcla			1,19

Fuente: Calores específicos para compuestos. Transferencia de calor, 3^{ra} edición, Yunus A. Cengel.

Energía disponible

Conocidas las propiedades del flujo del gas de combustión y conocido el requerimiento de energía para calentar el aire de secado, se debe determinar la energía disponible en los gases de combustión.

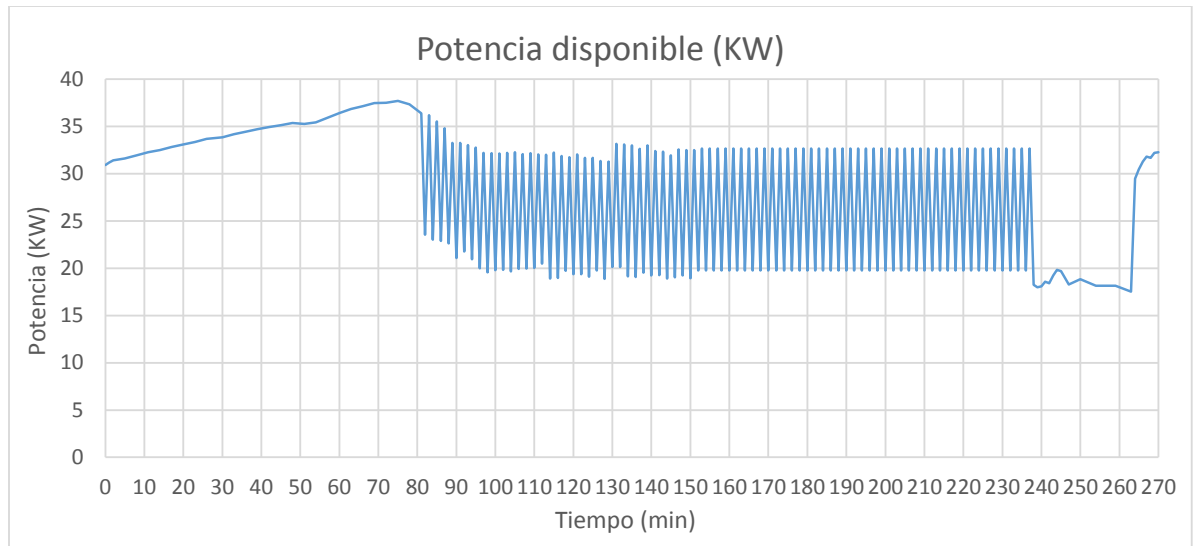


Figura 33 - Potencia en gases de combustión.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 33 muestra la potencia disponible en los gases de combustión. La disponibilidad fluctúa entre una potencia mínima de 17,5 (KW) y una potencia máxima de 37,3 (KW). La potencia disponible aumenta hasta los 75 minutos donde alcanza su máximo valor, luego, aproximadamente desde los 80 minutos hasta los 240 minutos la potencia varía entre los 20 (KW) y los 35 (KW). Existe un periodo de 35 minutos en que la potencia se mantiene baja en los 18 (KW), esto ocurre en el momento que el horno realiza el temple a las piezas y queda a la espera de la siguiente carga. El horno opera en las condiciones indicadas las 24 horas del día, en condiciones cíclicas uniformes

4.3 Cálculo de Intercambiadores de Calor considerados utilizables.

Intercambiador de Calor de Tubos Concéntricos

La Tabla 15 muestra los resultados obtenidos para un intercambiador de calor de tubos concéntricos. La metodología utilizada y el desarrollo del cálculo está detallado en el *Anexo IV*. Para el diseño se consideró las especificaciones dadas por un proveedor, para las dimensiones del tubo interior y exterior.

Tabla 15 - Resultados obtenidos de Intercambiador de calor doble tubos.

Carga de calor	Q (Kw)	35,6
Dif. de temperatura media logarítmica	ΔTL (°C)	133,1
Flujo de gas para calentamiento	\dot{m} (kg/h)	490,4
Largo Tubo exterior	L (m)	4,88
Área en tubo interior	A_t (cm ²)	9,7
Área en anillo	A_a (cm ²)	7,7
Fluido en tubo interior, Aire	\dot{m} (kg/h)	2.124
Fluido en anillo, Gases de Combustión	\dot{m} (kg/h)	490
Coefficiente de película para el tubo	h_i (W/m ² k)	1914
Coefficiente de película para el anillo	h_o (W/m ² k)	18
Coefficiente total de transferencia de calor	U (W/m ² K)	17
Área necesaria para la operación	A_o (m ²)	15,5
Longitud total del intercambiador	L_t (m)	117,8
Numero de Horquillas	N_h	12
Velocidad lado del tubo	v_t (m/s)	0,58
Caída de Presión lado del tubo	ΔP (KPa)	7,10
Velocidad lado carcaza	v_a (m/s)	0,32
Caída de Presión lado del anillo	ΔP (KPa)	0,27

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a las condiciones establecidas para el diseño del intercambiador en la tabla anterior, considerando el largo de los tubos disponible por el fabricante, 4,88 metros, se puede observar que el número de horquillas necesarias para la transferencia de calor es de 12 en serie, donde la estructura del intercambiador tendría que estar compuesta por 24 tubos dobles. Es

preciso mencionar que el largo de los tubos es inversamente proporcional al número de horquillas, si se considera una longitud menor para los tubos de acuerdo a las características del fabricante el número de horquillas necesarias para conseguir el área que requiere la transferencia de calor entre el aire y los gases aumenta automáticamente.

Para el intercambiador de calor de tubos concéntricos se determinó el curso de los fluidos según la consideración del fluido con mayor flujo másico realice el paso por los tubos. De este modo, el aire fluye por los tubos y los gases de la chimenea fluyen por el anillo. La caída de presión para el lado del tubo es de 7,10 (KPa) y la caída de presión para el lado del anillo es de 0,27 (KPa).

Dada las condiciones requeridas para la aplicación de este equipo, se descarta una posible implementación, ya que, la estructura necesaria para el intercambio de calor se debería componer por 24 tubos de 4,88 metros de largo donde, se deberá ocupar un área muy grande de aproximadamente 1 x 1,5 metros de ancho en las instalaciones, por esta razón se descarta esta alternativa.

A continuación, se evaluarán otras alternativas que permitan comparar los resultados obtenidos.

Intercambiador de Calor Tubos y Carcaza

La Tabla 16 muestra los resultados obtenidos para cuatro modelos de intercambiadores de calor, del tipo tubos y carcasa, incluyendo el número de pasos presente en su estructura. La metodología y el desarrollo de los cálculos se encuentran en el *Anexo IV*. Los cálculos fueron realizados para estructuras de intercambiadores de calor estándar normalizados por TEMA (Standards of the Tubular Exchanger Manufacturers Association), para intercambiadores con diseño tubular.

Tabla 16 - Resultados obtenidos de Intercambiador de calor tubos y carcaza.

Numero de pasos, Carcaza – Tubo		1-1	1-2	1-2	1-4
Calor transferido	Q (Kw)	35,65	35,65	35,65	35,65
Dif. de temperatura media log.	ΔT_L (°C)	133,14	133,14	133,14	133,14
Características de tubos, largo.	L (m)	4,83	4,83	4,83	4,83
Área lateral total	Alt (m ²)	0,303	0,303	0,303	0,303
Distancia entre tubos	Config.	Triangulo	Triangulo	Cuadrado	Triangulo
Método de Kern	U (W/m ² °K)	65	65	65	65
Número de tubos disponibles	Nt Fabricante	33	32	26	48
Diámetro del casco	Ds (mm)	223,43	229,55	235,57	282,39
Flujo másico en tubos	mt (kg/s)	0,14	0,14	0,14	0,14
Coef. De película en tubos	hi (W/m ² °K)	20,40	42,08	51,79	56,11
Flujo másico en carcaza	ṁ (kg/s)	0,59	0,59	0,59	0,59
Coef. De película en carcaza	hs (W/m ² °K)	1.750.112	1.703.402	1.659.876	1.384.694
Conductividad térmica de la aleación	Kw (W/m°K)	50	50	50	50
Coefficiente total de transferencia de calor	U(W/m ² °K)	16,1	32,7	40,0	43,3
Área necesaria para la transferencia de calor	A (m ²)	22,38	11,01	9,00	8,33
Área disponible	Ad (m ²)	10,01	9,71	7,89	14,57
Caída de presión lado de tubos	ΔP (KPa)	0,0037	0,0312	0,0473	0,1110
Caída de presión lado de carcaza	ΔP (KPa)	0,0535	0,0467	0,0410	0,0166

Fuente: Elaboración propia.

Considerando los resultados presentados en la tabla anterior, se puede mencionar lo siguiente: el largo considerado es standard de acuerdo a la disponibilidad de fabricación y se utilizó el mismo para los 4 casos donde la longitud establecida es de 4,83 metros, la misma consideración se utilizó para las dimensiones en los tubos que componen el intercambiador, aleación Cu Ni con una conductividad térmica de 50 (W/m°K).

La configuración para la distancia entre tubos utilizada en los cálculos fue triangular y cuadrada para observar el comportamiento de los fluidos. Los intercambiadores de calor con configuración 1 – 2, un paso por carcaza y dos pasos por tubos, se utilizó ambas distancias entre tubos y se puede observar que el área necesaria disponible para la transferencia de calor disminuye en ambas situaciones.

Observando los resultados para las caídas de presión se puede concluir que, el comportamiento de acuerdo a la configuración es la siguiente: utilizando la distancia entre tubos con configuración triangular la caída de presión será mayor en el lado de la carcaza, mientras que, utilizando la distancia entre tubos con configuración cuadrada la caída de presión será mayor en el lado de los tubos.

Bajo los resultados obtenidos, se puede descartar algunas alternativas. Los intercambiadores de calor de tubos y carcaza calculados son intercambiadores en función del área de transferencia. Bajo esta elección, si se observa el área necesaria versus el área disponible para la transferencia de calor, se puede concluir que los intercambiadores con configuración 1 – 1, 1 – 2 triángulo y 1 – 2 cuadrado, no cumplen con la condición, ya que el área disponible es menor que el área necesaria para la transferencia de calor en una potencia de 35,6 (KW). En atención a esta restricción, la transferencia necesaria de calor no es factible.

Observando los resultados obtenidos por el intercambiador de calor con configuración 1 – 4, un paso por carcaza y cuatro pasos por tubos, el área necesaria para la transferencia de calor es de 8,33 (m²) y el área disponible por parte del intercambiador es de 14,57 (m²) cumpliendo con el requerimiento para poder lograr la transferencia. La siguiente variable para analizar son las caídas de presión, para el lado de la carcaza es de 0,017 (KPa) y la caída de presión para el lado de los tubos es de 0,111 (KPa) donde son muy buenos resultados ya que, las caídas de presión no alcanzan a ser ni siquiera 1 (Psi) unos 6,89 (KPa). Además, el intercambiador utilizará dimensiones aproximados en la estructura de 4,8 (m) de largo con 28 (cm) de diámetro facilitando la instalación.

Dado las condiciones analizadas anteriormente, la mejor alternativa analizada es el intercambiador de calor con un paso por carcaza y cuatro pasos por tubos donde todas las variables analizadas se encuentran conforme al requerimiento para lograr el intercambio de calor en el proyecto.

Tiraje de los Gases de Combustión en el Ducto de Chimenea.

La chimenea tiene por misión la conducción de los gases de la combustión desde el horno hasta el medioambiente exterior. El tiraje es el efecto de empuje que se produce en una chimenea, por la diferencia de densidad del gas caliente, en la chimenea y el aire frío que la rodea. La densidad de los gases disminuye con el aumento de la temperatura. Así, el tiraje o empuje es:

$$Tiraje = g H (\varphi_{a.e} - \varphi_{g.c})$$

Donde:

g: Aceleración de gravedad = 9,806(m/s²)

H: Altura eficaz de chimenea = 6 (m).

$\varphi_{a.e}$: Densidad de aire exterior = 1,13 (kg/m³) a una temperatura de 38 °C.

$\varphi_{g.c}$: Densidad de gases de combustión.

“Según Pedro Fernández, El tiro necesario en la base de la chimenea según el libro, con calderas que utilizan combustibles sólidos es:

$$Tiro \geq 3 \text{ mm c. a}$$

Además, Si la caldera funciona con combustibles fluidos (gasóleo o gas), el tiro necesario en la base de la chimenea es:

$$Tiro \geq 1 \text{ mm c. a}$$

Refrigeración y calefacción, Cap. 8 Chimeneas de calefacción”

De acuerdo a la fórmula para determinar el empuje en los gases se puede considerar lo siguiente: la altura o largo de chimenea es de 6,0 metros en la planta. No es modificable, la densidad del aire en el ambiente se considera en el peor de los casos, que para la ciudad de Los Andes representa su máxima en verano, véase la Tabla 29 en el *Anexo V*. De esta forma se puede evaluar el tiraje de los gases de combustión en la chimenea para las diferentes temperaturas de salida luego del intercambiador de calor. Así se puede determinar la temperatura adecuada para descargar los gases de combustión al ambiente con un empuje no forzado después de pasar por el intercambiador.

Datos para el cálculo del tiraje:

$$g = 9,81(m/s^2);$$

$$H = 6 (m);$$

$$\varphi_{a,e} = 1,13 (kg/m^3) \text{ a una temperatura de } 38 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$\varphi_{g,c} = \text{para temperaturas entre } 80 \text{ } ^\circ\text{C y } 130 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Tabla 17 - Tiro de gases en chimenea luego del intercambiador.

Temperatura gases ($^\circ\text{C}$)	φ (Kg/m^3)	Tiro (Pa)
80	0,70	25,13
85	0,66	27,56
90	0,62	29,71
95	0,59	31,64
100	0,56	33,37
105	0,53	34,94
110	0,51	36,37
115	0,49	37,67
120	0,47	38,87
125	0,45	39,97
130	0,43	40,98

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 17 muestra que el tiro aumenta a medida que aumenta la temperatura de los gases en la salida del intercambiador, esto se produce porque aumenta la diferencia en las densidades entre el exterior y el interior del ducto. Considerando que en la combustión utilizan gases, donde el valor necesario para que el tiro sea en forma natural por el ducto, debe ser mayor o igual a 9,81 (Pa), se puede observar que los resultados para las diferentes temperaturas de los gases en la salida del intercambiador de calor permiten la evacuación de los mismos en forma natural, además considerando que el requerimiento que necesita el grupo de secado en la lavadora alcanza los $90 \text{ } ^\circ\text{C}$ se puede afirmar que luego del intercambiador de calor no se requiere de algún equipo como turbina para el empuje de los gases.

4.4 Costo de la Nueva Operación

En el apartado anterior se determinó el intercambiador de calor necesario para calentar el aire de secado de las piezas. También se determinó que no se requiere tiraje forzado en la chimenea. Corresponde hacer la evaluación económica de la operación del nuevo sistema.

En la Tabla 18 se consigna los costos necesarios para evaluar el proyecto en un periodo de 20 días consecutivos y de igual forma se asignan costos por obra terminada. Se considera la estructura del intercambiador seleccionado anteriormente, exponiendo los costos de materiales, mano de obra y maquinarias que se requiere para la operación.

Tabla 18 - Costos en material.

Especificación de material	Unidad	Cantidad	Precio. U (\$)	Total (\$)
Equipo intercambiador de calor	unidad	1	8.383.480	8.383.480
Tubo galvanizado 6" x 0,5(mm) x 1(m)	metros	13	7.000	91.000
Codo 45° 6" x 0,5 (mm)	unidad	3	8.000	24.000
Reducción 10"/6"	pulg	2	17.000	34.000
Plancha Galvanizada 0,5(mm) 1x3(m)	metros	1	12.990	12.990
Lana Mineral Aislante 1x2,4(m)	metros	3	9.500	28.500
Perfil cuadrado 40x40x2(mm) x 6 (m)	metros	4	7.770	31.080
Electrodos	unidad	1	3.515	3.515
A) Total materiales			\$	8.608.565

Fuente: Elaboración propia.

Los costos de los materiales necesarios para la instalación del proyecto están considerados de acuerdo a la estructura necesaria para adaptar el equipo a las instalaciones en la planta, el costo mayor corresponde al intercambiador de calor, valor que fue cotizado en la empresa HRS Heat Exchangers por medio de internet para el equipo que cumple las especificaciones requeridas en la operación.

Tabla 19 - Costos de Mano de obra.

Mano de obra	Unidad	Días	Valor Diario	Total (\$)
Maestro mayor	hd	20	25.500	510.000
Maestro soldador	hd	20	25.500	510.000
Técnico especialista en intercambiadores de calor	hd	20	33.600	672.000
B) Total mano de obra			\$	1.692.000

Fuente: Elaboración propia.

La mano de obra consta de tres personas necesarias para armar la estructura: un maestro mayor que posee conocimiento general en construcción, un maestro soldador que fabrique la estructura que soporta el intercambiador de calor y las partes necesarias para adaptar los equipos, finalmente un especialista con experiencia en este tipo de proyectos, capaz de instalar el intercambiador entre el horno y la lavadora, además que lidere los maestros y el proceso de instalación.

Tabla 20 - Costos de maquinarias.

Maquinaria	Unidad	Obra	Valor Diario	Total (\$)
Equipo de hojalatería	Global	1	40.000	40.000
Máquina de soldar	Global	1	45.000	45.000
C) Total maquinaria			\$	85.000

Fuente: Elaboración propia.

Los costos de maquinarias incluyen materiales, equipos y herramientas necesarias para realizar la instalación del intercambiador de calor. El costo se asocia al arriendo o uso de los implementos de los maestros para la ejecución del proceso.

Tabla 21 - Costo Total de implementación.

<i>Total Costo (A + B + C)</i>		\$	10.385.565
<i>Gastos generales y utilidades</i>	13%	%	1.350.123
Total		\$	11.735.688

Fuente: Elaboración propia.

4.5 Evaluación económica

Para lograr decidir si la instalación y operación del intercambiador de calor es económicamente aceptable, se hace analiza el período de recuperación de la inversión en la instalación del equipo. De acuerdo a la evaluación que se realiza al interior de la empresa, los proyectos para ser considerados se evalúan en un periodo de doce meses, donde deben existir beneficios de acuerdo al estudio realizado.

El financiamiento que justifica el proyecto se encuentra en la reducción del consumo de energía eléctrica en el proceso de secado. El intercambiador de calor permite una reducción de 20 (KWh) como mínimo, considerando un flujo de operación estable en el proceso de secado de las piezas. Teniendo en cuenta esta condición se compara financieramente, la situación actual de la empresa con el equipo de secado funcionando normalmente en 33,6 (KWh) versus la situación donde el intercambiador de calor instalado que logra reducir a 13,6 (KWh) la potencia necesaria para el calentamiento del aire de secado.

La implementación del proyecto considera el valor de la energía eléctrica a \$78,49 el (KWh), dato dado en la empresa y que es el valor que utilizan para evaluar los proyectos de energía en sus instalaciones.

De acuerdo a los costos determinados anteriormente, la inversión necesaria para evaluar la instalación del intercambiador de calor en las instalaciones de la empresa Cormecánica es de \$ 11.735.688. La Tabla 22 muestra la comparación del costo de las dos condiciones de operación, situación actual, sin hacer cambios y situación con proyecto, con la instalación del intercambiador de calor.

Tabla 22 - Evaluación económica.

Meses	Situación Actual		Situación con Proyecto		Ahorro	Descuento a la inversión
	Consumo 33,6 (KWh)	Costo energía eléctrica	Consumo 13,6 (KWh)	Costo energía eléctrica		
0						-\$ 11.735.688
1	20966	\$ 1.645.663	8486	\$ 666.115	\$ 979.549	-\$ 10.756.140
2	20966	\$ 1.645.663	8486	\$ 666.115	\$ 979.549	-\$ 9.776.591
3	20966	\$ 1.645.663	8486	\$ 666.115	\$ 979.549	-\$ 8.797.042
4	20966	\$ 1.645.663	8486	\$ 666.115	\$ 979.549	-\$ 7.817.493

5	20966	\$ 1.645.663	8486	\$ 666.115	\$ 979.549	-\$ 6.837.945
6	20966	\$ 1.645.663	8486	\$ 666.115	\$ 979.549	-\$ 5.858.396
7	20966	\$ 1.645.663	8486	\$ 666.115	\$ 979.549	-\$ 4.878.847
8	20966	\$ 1.645.663	8486	\$ 666.115	\$ 979.549	-\$ 3.899.298
9	20966	\$ 1.645.663	8486	\$ 666.115	\$ 979.549	-\$ 2.919.750
10	20966	\$ 1.645.663	8486	\$ 666.115	\$ 979.549	-\$ 1.940.201
11	20966	\$ 1.645.663	8486	\$ 666.115	\$ 979.549	-\$ 960.652
12	20966	\$ 1.645.663	8486	\$ 666.115	\$ 979.549	\$ 18.897

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos permiten observar que para la inversión de \$ 11.735.688 millones de pesos en la instalación del intercambiador, el ahorro que se puede obtener con el proyecto permite recuperar la inversión en doce meses.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede determinar que la instalación del equipo parece atractiva para la implementación, financieramente se justifica la inversión con el ahorro generado para una implementación, ya que, al cabo de solo 11 meses el proyecto queda plenamente financiado. A partir del segundo año, el proyecto genera un ahorro en energía eléctrica, de unos \$11.735.688 anuales, dinero de julio de 2017.

Capítulo V: Conclusiones

La empresa Cormecánica presenta altos consumos de energía eléctrica debido al uso de resistencias eléctricas para calentar el aire de secado de piezas mecanizadas. El costo de la energía eléctrica consumida en esta sección es de 151 millones de pesos mensuales. Específicamente en el proceso de tratamientos térmicos se ubica el secado de las piezas, con costos de cerca del 10 % del consumo general de energía eléctrica.

Considerando que el problema que se quiere resolver se encuentra en el equipo de secado de las piezas mecanizadas, con una potencia instalada de 36 KW, se decidió buscar una fuente interna de energía, para reemplazar todo o parte del consumo demandado.

La fuente interna de energía es los gases de combustión de un horno, que se descartan a la atmósfera a alta temperatura. Los cálculos termodinámicos indicaron que es factible recuperar parte de la energía calórica de esos gases, para calentar el aire de secado, sin afectar con ello el tiraje de la chimenea.

Evaluando térmicamente algunos intercambiadores de calor, se selecciona aquel que tenía la menor pérdida de presión por flujo, transfiriendo la carga de calor requerida.

La evaluación económica del proyecto indica que la inversión total requerida se recupera en 12 meses, siendo plena aceptable para la empresa.

Con el proyecto se logra una disminución de a lo menos un 60% del consumo de energía eléctrica, durante 30 minutos. El máximo ahorro corresponde a un 66% aproximadamente, durante 4,5 horas.

Bibliografía

- [Claudio86] Claudio, M (1986) **Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas.** (2^{da} ed.) España: Castillo S. A.
- [Donald99] Donald, K (1999) **Procesos de transferencia de calor.** (31^{ra} rei.) México: McGraw-Hill.
- [Gabriel01] Gabriel, U (2001) **Evaluación de proyectos.** (4^{ta} ed.) México: McGraw-Hill.
- [Hugoberto07] Hugoberto, V (2007) **Diseño y cálculo de chimeneas para calderas de calefacción.** Tesis para optar al título de Ingeniero Constructor. Universidad Austral. Valdivia.
- [Nassir&Reinaldo08] Nassir, Ch y Reinaldo Ch (2008) **Preparación y evaluación de proyectos.** (5^{ta} ed.) México: McGraw-Hill.
- [Raymond&Williams02] Raymond, Ch y Williams, C (2002) **Química.** (7^{ma} ed.) México: McGraw-Hill.
- [Robert96] Robert, M (1996) **Mecánica de fluidos aplicada.** (4^{ta} ed.) México: Pearson Educación.
- [Robert06] Robert, M (2006) **Mecánica de fluidos.** (6^{ta} ed.) México: Pearson Educación.
- [Yunus07] Yunus, Ç (2007) **Transferencia de calor. Un enfoque práctico.** (3^{ra} ed.) México: McGraw-Hill.
- [Yunus&Jhon06] Yunus, Ç y Jhon, C (2006) **Mecánica de fluidos. Fundamentos y aplicaciones.** (1^a ed.) México: McGraw-Hill.
- [Yunus&Michael12] Yunus, Ç y Michael, B (2012) **Termodinámica.** (7^{ma} ed.) México: McGraw-Hill.

Anexo I: Detalles del producto

Cajas de velocidades fabricadas en Cormecánica

En la planta Cormecánica se fabrica solo un producto comercial que son las cajas de velocidades, a pesar de esto, existe una gran cantidad de modelos que se fabrican, estos modelos se diferencian desde pequeñas modificaciones en su cárter hasta el ensamble de componentes distintas en su estructura. En la siguiente tabla se clasifican los modelos de cajas de velocidades según los países de distribución y además los modelos presentes solo para la marca Nissan.

Tabla 23 - Modelo de cajas de velocidades fabricadas.

Argentina	Brasil	Colombia	Nissan
JB3-977	JH3-088	JH3-358	JH3-306**
JH3-093	JH3-093	JH3-365	JH3-362
JH3-385	JH3-371	JH3-369	JH3-366
JH3-386	JH3-381	JH3-370	JH3-373
JR5-352	JH3-382	JH3-385	JH3-390
	JH3-385	JH3-386	JR5-056
	JH3-386	JR5-379	
	JR5-052		
	JR5-054		
	JR5-393		
	SG1-002		
	SG1-004		
	SA1-003		

Fuente: Elaboración propia, entrevista al personal.

**Modelo de caja de velocidades a fabricar próximamente en la nueva línea de montaje de la planta.

Partes de una caja de velocidades

La composición de la caja de velocidades se encuentra dividida en dos partes principales las cuales son: cárter mecanismo y cárter embriague. A continuación, se mencionarán las componentes que forman ambos tipos de cárter. Donde hay componentes principales que son mecanizados en la planta como, por ejemplo: árbol primario, árbol secundario, piñón loco 1ra, 2da, 3ra, 4ta, 5ta, piñón fijo, PIMA, desplazables de 1/2, 3/4 y desplazable de 5ta. Además del mecanizado en la planta de ambos cárters.

Tabla 24 - Componentes de caja de velocidades.

Carter Mecanismo	Carter Embriague
Orrin	Cubeta
3 Dedos de trabas	Rodametro árbol 2°
3 PTF (Ablandador de cambios)	Rodametro árbol 1°
3 Ejes horquilla	3 PTF (Ablandador de cambios)
Cubeta	Arred gaine
2 Rodamientos gemelos	Concéntrico hidráulico
Placa de lubricación	Anillo sincronizador 1,2,3,4
Conector de 2 vías	Anillo sincronizador 5ta (kyowa)
Swich marcha atrás	2 Lunetas
Arandela separadora 4ta	16 Pernos de amarre
Piñón loco 5ta	1 Tuerca 27 mm
Buje de 5ta	1 Perno árbol 2°
Arandela separadora de 5ta	Tapón de vaciado
Piñón loco 4ta	Arandela de cobre
Piñón loco 3ra	
Piñón loco 2da	
Piñón loco 1ra	
PIMA	
Desplazable 1/2	
Desplazable 5	
Desplazable 3/4	
2 Reten diferencial	

Fuente: Elaboración propia, entrevista al personal.

Anexo II: Procesos en área de tratamientos térmicos

Preparación de superficie

El primer proceso compuesto por la preparación de superficie se describió anterioridad en el cuerpo presente trabajo.

Preparación de carga

La preparación de las cargas es el segundo proceso e igual de importante que la preparación de carga, ya que, por esta célula deben pasar todas las piezas de la planta provenientes de los usinados en blando para ser sometidas a los procesos en la célula de tratamientos térmicos, en primer lugar, los operarios del mecanizado en blando trasladan las piezas hasta la playa de preparación de la carga donde son seleccionadas las cargas con mayor requerimiento.

A continuación, las piezas son montadas por los operarios en las bandejas de acero que han sido fabricadas con cromo y níquel para hacerlas resistentes al proceso de carbonitruración, proceso que se explica en este capítulo. Las piezas pueden ser montadas con cargas del mismo tipo de pieza o con cargas de otras piezas diferentes (cargas combinadas). Se debe tener en consideración lo siguiente para utilizar correctamente las bandejas y dar un buen mantenimiento en los montajes:

- Control por observación de la limpieza (hollín¹⁸) y de las deformaciones en la estructura de las bandejas.
- Utilizar por ambos lados los montajes de forma simétrica (cuando sea posible) para compensar las deformaciones.
- Limpieza por granallado (quemado los fines de semana, seguido por lavado).

Cuando los operarios terminan de montar las piezas, las bandejas deben ser cargadas en un vehículo transportador que se desplaza por rieles y permite mover las cargas entre hornos,

¹⁸ Hollín: Polvo producto de la combustión de la carbonitruración.

esta acción se realiza para ingresar y retirar las cargas de los hornos. Dado a que el vehículo transportador está adaptado a la altura de la puerta del horno los operarios hacen uso de una prensa hidráulica para elevar las cargas a la altura del vehículo.

Carbonitruración y/o Cementado

En el tercer proceso es necesario explicar la diferencia entre cementado, método que representa el origen de la técnica y carbonitruración, método que actualmente se realiza en la célula de tratamientos térmicos.

La Cementación es un tratamiento termoquímico que tiene por objetivo endurecer la superficie de la pieza sin modificar su núcleo. El recubrimiento rico en carbono que se utiliza para aumentar la resistencia al desgaste mediante la creación de una capa superficial endurecida. La etapa consiste en someter la pieza durante varias horas a altas temperaturas, generalmente a 900°C, en estas condiciones el carbono es capaz de penetrar la superficie de la pieza. A continuación, la pieza cementada se somete al tratamiento térmico de temple y revenido.

La Carbonitruración es un tratamiento térmico superficial del acero, implica suministrar carbono y nitrógeno a la superficie de una pieza de forma simultánea para proporcionar las características de dureza deseada. El objetivo del proceso es obtener piezas con superficies con elevada dureza y resistencia al desgaste, pero que igualmente conserven un núcleo tenaz. El endurecimiento se consigue con la adición de amoníaco a la atmosfera del horno que aporta nitrógeno y el agente carburante encargado de aportar el carbono se utiliza gas propano.

i. Interior del horno

En la figura 16 se muestra el interior del horno donde se realiza el tratamiento térmico de carbonitruración, compuesto por un calentador que proporciona la temperatura del horno proveniente de la flama de los quemadores, las piezas se ubican en bandejas en la parte inferior sobre guías con ruedas que permiten movilidad para cargar y descargar, además el ventilador

permite la circulación de los gases en la atmosfera interior del horno. La circulación está indicada por flechas rojas.

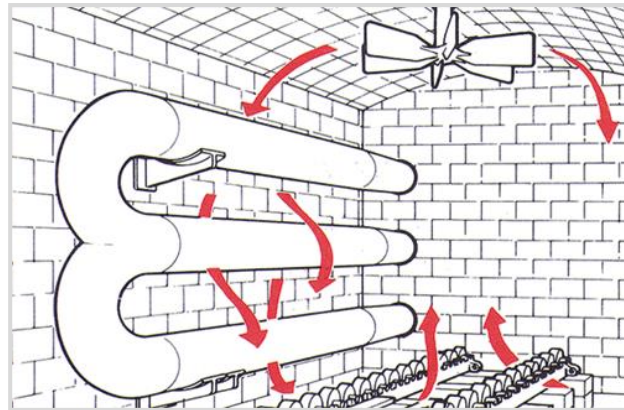


Figura 34 - Estructura del Interior del Horno.

Fuente: Manual del horno.

Temple posterior a la carbonitruración

La etapa del temple es realizada en la parte inferior del horno, véase la figura 17, donde las piezas se sumergen en aceite a 190°C, dependiendo de cada pieza, generalmente durante 10 min aproximadamente y luego se elevan al vestíbulo 20 min sobre el depósito para estilar el exceso de aceite de las piezas. Como las piezas se introducen a más temperatura que el aceite, estas cederán calor al aceite y para hacer que el aceite permanezca a una temperatura constante se ocupan calentadores de aceite a través de resistencias y agitadores para lograr las condiciones de temple.

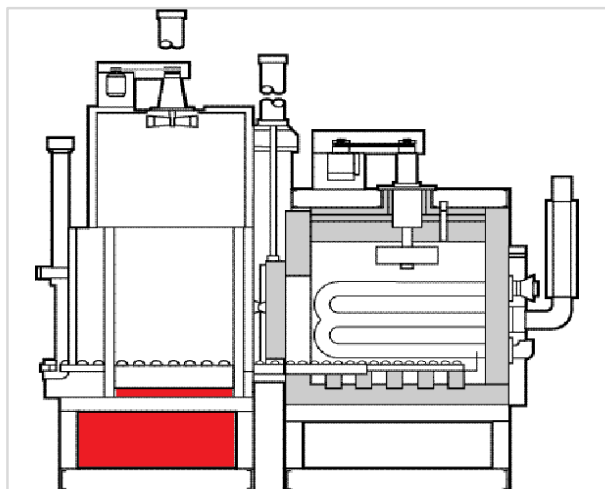


Figura 35 - Lugar donde se realiza el Temple de las piezas.

Fuente: Manual del Horno.

El proceso de temple se encuentra en las fichas maestras que son específicas para cada horno y donde se especifica las combinaciones de piezas que puede ser introducidas al horno para ser tratadas, las fichas también poseen información como: tiempo de calentamiento, tiempo de tratamiento, temperatura del aceite de temple, porcentaje de carbono que debe quedar en la superficie de la pieza, etc.

El objetivo del temple es: endurecer la capa carbonitrurada, endurecer la subcapa y el núcleo, obtener estructuras moleculares deseadas y controlar deformaciones. Simultáneamente se debe tener en cuenta lo siguiente: elección de la temperatura apropiada para el temple (compatible con los contenidos en carbono en las superficies y en el centro, depende de la pieza a tratar) y las condiciones de refrigeración del fluido para el temple que es aceite.

Revenido

El revenido es un tratamiento térmico de un material con el objetivo de variar su dureza¹⁹ y cambiar su resistencia mecánica. El propósito fundamental es disminuir la gran fragilidad y tensión²⁰ que tienen los componentes de acero debido al temple.

¹⁹ Dureza: resistencia a la deformación plástica.

²⁰ Tensión: estado del acero muy quebradizo o frágil que impide su manejo.

El proceso de revenido busca ayudar al temple a aumentar la tenacidad²¹ de la aleación a cambio de dureza y resistencia, disminuyendo su fragilidad. Este proceso consiste en aplicar una temperatura inferior a la del punto crítico que se aproxime bastante, mientras mayor es el tiempo de permanencia, mayor es la disminución de la dureza y resistencia con una mejor tenacidad. La velocidad de enfriamiento no afecta el resultado final.

Para definir la temperatura y el tiempo que se someterán las piezas en el proceso de revenido, antes se realiza un ensayo de rockwell para medir la dureza de la pieza tras el proceso de temple, para esto se utiliza un penetrador cónico de diamante. Actualmente los operadores realizan tres tipos de ensayos:

- Rockwell A: 60kg
- Rockwell 15N: 15 Kg
- Rockwell C: 100 kg

De acuerdo al ensayo de Rockwell realizado a una pieza se acepta o rechaza el lote, en este procedimiento se toma una muestra no destructiva de 5 piezas y la pieza debe tener una dureza mayor o igual 79 HRA y menor o igual a 81 HRA.

- i. Objetivo del revenido
 - Mejorar los efectos del temple, llevando al acero a un punto de mínima fragilidad.
 - Reducir las tensiones internas de transformación que se originan en el temple.
 - Cambiar las características mecánicas en las piezas templadas generando efectos como reducir la resistencia a la rotura por tensión, el límite elástico y la dureza.
 - Elevar las características de ductilidad²²; alargamiento estiración y las de tenacidad; resiliencia²³.

²¹ Tenacidad: energía de deformación total que es capaz de absorber un material antes de su rotura.

²² Ductilidad: propiedad de aleaciones que bajo una fuerza pueden deformarse plásticamente de manera sostenible sin romperse.

²³ Resiliencia: trabajo realizado para deformar un material hasta su límite elástico.

ii. Tipo de horno

El horno utilizado en el proceso de revenido consta en su interior de ladrillos refractarios, funciona a temperaturas entre 120°C y 180°C dependiendo de la pieza y del resultado del ensayo de Rockwell. Para alcanzar las temperaturas descritas, el horno posee resistencias que calientan el aire circulante en el interior con un ventilador en su fondo. El tiempo de funcionamiento dependen de la pieza y la dureza de esta, generalmente es 1 hora aproximadamente.

Granallado

El proceso de granallado es una limpieza que consta inicialmente con el lavado de las piezas. El ingreso de las piezas en el área se realiza en carros de transporte, para poder introducir las piezas a las lavadoras primero se deben montar manualmente cada una de ellas, luego, a unas estructuras colgantes llamadas Pinos adaptadas especialmente para reducir el esfuerzo de los operadores, al trasladar las piezas desde la máquina de lavado a la máquina de granallado.

Cuando se ha realizado el temple o revenido, dependiendo del tipo de pieza, estas se introducen a una lavadora donde se limpiarán las superficies con detergente para retirar residuos y el aceite que ha quedado en ellas después del tratamiento.

Luego del lavado, las piezas son introducidas a otro equipo de limpieza mediante el granallado que es una técnica de tratamiento de limpieza superficial por impacto de pequeñas partículas de polvo, así se puede lograr un acabado superficial y simultáneamente una correcta terminación que: al impactar con la pieza, produce la eliminación de los contaminantes de la superficie. Todas las piezas que ingresan a la célula de tratamientos térmicos deben pasar por la limpieza por granallado.

La granalla que se utiliza es un acero en forma de polvo que circula en el interior de la maquina he impacta con las piezas para retirar suciedad que contamine la pieza como pequeñas rebabas²⁴.

Shot Peening

Es una técnica que induce tensiones de compresión en la superficie metálica mediante impacto exponiéndola a un chorro de partículas esféricas a alta velocidad manteniendo controlados los parámetros de la operación.

Durante el granallado, además de producir el efecto mencionado se limpia la superficie como en una tarea normal de granallado, pero éste es sólo un efecto secundario del proceso, siendo el propósito principal el incremento de la resistencia a la fatiga del material. Acción de martillado con partículas esféricas.

Cuando la granalla, de forma esférica, es impulsada en un flujo de alta velocidad, impacta sobre la superficie metálica conformando en la misma un perfil superficial constituido por valles y crestas redondeadas y productos por la deformación plástica del metal durante el impacto. Dicha deformación se extiende entre los 50 y 250 micras de profundidad. En resumen, el Shot Peening aumenta la resistencia a la fatiga de engranajes y como efecto secundario produce un aumento de la resistencia a la corrosión, la eliminación de tensiones residuales induciendo una tensión de compresión uniforme en toda la superficie además de limpiarla mediante el granallado. El proceso dura aproximadamente 8 segundos.

Fosfatado

La corrosión es el fenómeno por el cual los metales son atacados por los agentes atmosféricos, especialmente el oxígeno, destruyéndolos lenta y rápidamente. Los esmaltes o pinturas no ofrecen una buena protección, sino que, es necesario cambiar químicamente la superficie fabricando sobre la misma, productos que no se vean afectados por su reacción con

²⁴ Rebabas: exceso de material luego de una transformación física.

el aire y la humedad. Eso es precisamente el fosfatado, el proceso mediante el cual algunos productos químicos reaccionan con el metal base para ofrecer una barrera química contra la corrosión y como beneficio secundario aumentan la adherencia de la pintura.

i. Proceso de fosfatado

El circuito consta de 15 etapas, en su interior posee 11 cubas²⁵ que permiten sumergir las piezas a través de una garra hidráulica llamada hoits que sumerge las piezas para ser tratadas y así mejorar su resistencia a la corrosión y mejorar la adherencia del aceite lubricante cuando la caja de velocidades se encuentra en funcionamiento. El circuito de fosfatado tarda 45 minutos en transcurrir completamente desde que inicia la carga, hasta que son retirados. El fosfato a base de manganeso en la pieza alcanza una profundidad de 8 micras. A continuación, se describen las etapas de fosfatado.

1. Mesa de carga: montaje de la carga en riel de entrada.
2. Piscina de lavado con detergente para retirar los residuos del transporte.
3. No habilitada (lavado).
4. Enjuague de las piezas con agua.
5. Enjuague de las piezas con agua.
6. Enjuague de las piezas con agua.
7. Afinado: preparación de superficie para que se adhiera el fosfato, se agita el agua.
8. No habilitada (lavado).
9. Aplicación de película de fosfato.
10. Enjuague post fosfatado.
11. Enjuague post fosfatado.
12. Enjuague de piezas en agua caliente (80°C).
13. Secado con aire caliente.
14. Secado con aire frío para la manipulación de los operarios.
15. Mesa de salida: desmontaje por los operarios.

²⁵ Cubas: Recipientes cúbicos que contienen los químicos y aguas utilizadas para sumergir las piezas a tratar.

Los fosfatizantes son en general productos químicos derivados del ácido fosfórico que reaccionan con el metal base produciendo una película continua y poco porosa que inhibe el desarrollo de la corrosión. En general se denominan fosfatizantes varios tipos de productos, que pueden inclusive no contener ácido fosfórico.

La etapa de fosfatado es el último proceso en la célula de tratamientos térmicos, una vez finalizado, los operadores transportan los carros con cargas hacia las diferentes células de mecanizado en duro y algunos tipos de piezas son trasladadas directamente al área de montaje ya que no requieren de un rectificado en duro.

Anexo III: Generalidades y principios básicos

La termodinámica plantea la transferencia de calor a medida que un sistema pasa por un proceso de un estado de equilibrio a otro. Además, se puede definir calor como la forma de la energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia en la temperatura. La ciencia que trata de la determinación de las razones de esa transferencia es la transferencia de calor.

Transferencia de calor

La transferencia de calor consiste en determinar con qué rapidez ocurre la transferencia de energía de un cuerpo a otro y no solo la forma en que ocurre el intercambio de calor ya que, la rapidez en la transferencia de energía puede variar respecto a condiciones aleatorias. La transferencia de calor contempla el primer y el segundo principio de la termodinámica al proporcionar reglas experimentales para determinar la rapidez de transferencia de energía.

Tipos de transferencia de calor

Existen tres formas diferentes en que se puede transferir calor desde un cuerpo con mayor a uno con menor energía térmica, aunque aplicaciones en la realidad se compone por la combinación de dos o las tres formas. Estas formas son: conducción, convección y radiación.

I. Transferencia de calor por conducción: La conducción es el mecanismo de transferencia de calor en escala atómica a través de la materia por actividad molecular, por el choque de unas moléculas con otras, donde las partículas más energéticas le entregan energía a las menos energéticas, produciéndose un flujo de calor desde las temperaturas más altas a las más bajas. Los metales son los mejores conductores de calor.

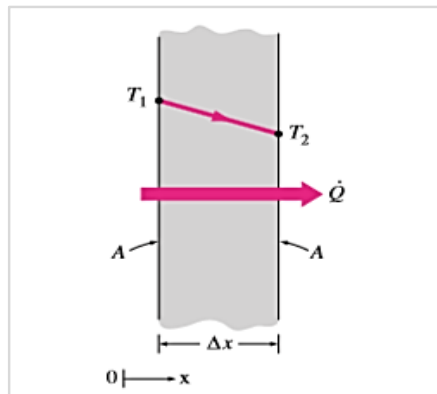


Figura 36 - Conducción de calor a través de una pared plana de espesor Δx y área A .

Fuente: A. Cengel. Transferencia de calor y masa.

Para un volumen de espesor Δx , con área de sección transversal A y cuyas caras opuestas se encuentran a diferentes temperaturas T_1 y T_2 , se encuentra que el calor Δq transferido en un tiempo Δt fluye del extremo caliente al frío. La rapidez de transferencia de calor q está dada por la ley de conducción de calor de Fourier.

$$q = -kA \frac{dT}{dx}$$

Donde:

A : Área de transferencia de calor (m^2)

k : Conductividad térmica del material ($W/m^{\circ}K$)

dT/dx : Gradiente de temperatura

II. Transferencia de calor por convección: la convección es el mecanismo de transferencia de calor por movimiento de masa o circulación dentro de la sustancia. Puede ser natural, producida solo por las diferencias de densidades de la materia; o forzada, cuando la materia es obligada a moverse de un lugar a otro, por ejemplo, el agua con una bomba. Sólo se produce en líquidos y gases donde los átomos y moléculas son libres de moverse en el medio.

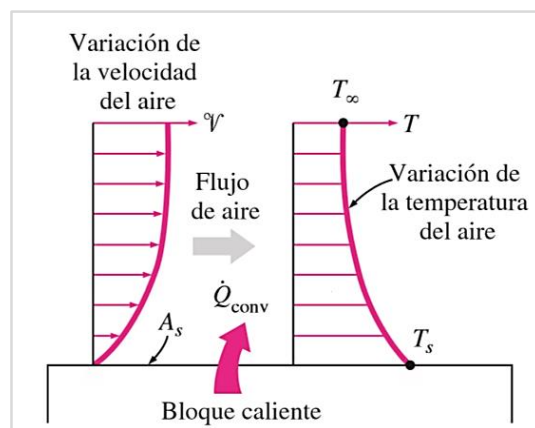


Figura 37 - Transferencia de calor de una superficie caliente hacia el aire por convección.

Fuente: A. Cengel. Transferencia de calor y masa.

La superficie A entrega calor con una temperatura T_2 al fluido adyacente que se encuentra a una temperatura T_1 . Un modelo de transferencia de calor q por convección, llamado ley de enfriamiento de Newton, es el siguiente:

$$q = hA(T_2 - T_1)$$

Donde:

h : Coeficiente de convección (W/m^2K)

A : Superficie que entrega calor (m^2)

III. Transferencia de calor por radiación: a radiación térmica es la energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura dada, se produce directamente desde la fuente hacia afuera en todas las direcciones. Esta energía es producida por los cambios en las

configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivas y transportadas por ondas electromagnéticas. A diferencia de la conducción y la convección, o de otros tipos de onda, como el sonido, que necesitan un medio material para propagarse, la radiación electromagnética es independiente de la materia para su propagación, de hecho, la transferencia de energía por radiación es más efectiva en el vacío.

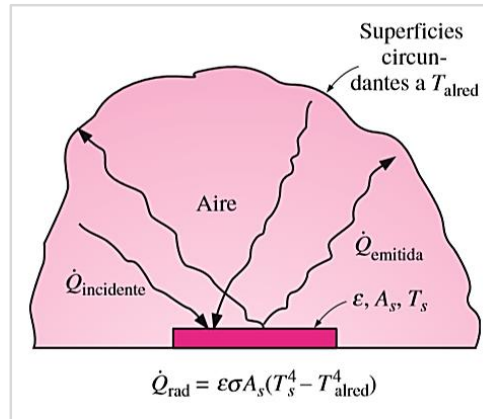


Figura 38 - Transferencia de calor por radiación entre una superficie y las superficies que la circundan.

Fuente: A. Cengel. Transferencia de calor y masa.

Considerar la transferencia de radiación por una superficie de área A , que se encuentra a una temperatura T . La rapidez a la cual se libera energía se llama potencia de radiación q . Esto se conoce como ley de Stefan, que se escribe como:

$$q = \epsilon\sigma AT^4$$

Donde:

ϵ : Emisividad, sus valores varían en el rango $0 < \epsilon < 1$

σ : Constante de Stefan Boltzmann $5,67 \times 10^{-8}$ (W/m²°K⁴)

Intercambiadores de calor

En la industria química, nuclear, mecánicos y más, existe la necesidad de transferir el calor de un punto a otro o, de un fluido a otro. Este propósito puede ser ejecutado a través de un dispositivo intercambiador de calor bajo ciertos parámetros y variables controladas. Es preciso entender cómo operan y funcionan para los requerimientos a cubrir. Las principales razones para utilizar un intercambiador de calor son las siguientes:

- Reducir la temperatura de un fluido mediante un fluido con menor temperatura.
- Elevar al punto de ebullición un fluido mediante un fluido con mayor temperatura.
- Condensar un fluido en estado gaseoso por medio de un fluido frío.
- Calentar un fluido mediante un fluido con mayor temperatura.
- Elevar al punto de ebullición a un fluido mientras un fluido gaseoso se condensa.

En síntesis, los intercambiadores de calor poseen como función la transferencia de calor para dos fluidos que tengan distintas temperaturas, esto se cumple para fluidos líquidos como para fluidos gaseosos, además, es preciso aclarar que los fluidos utilizados no se encuentran en contacto entre ellos. El calor es transferido desde el fluido de mayor temperatura con el de menor temperatura al encontrarse ambos en contacto térmico con las paredes metálicas del intercambiador que los separan. Debido a la variedad de intercambiadores de calor, a continuación, se clasificarán de acuerdo a las características predominantes.

Tipos de intercambiador de calor por su operación

I. Flujo paralelo: cuando un flujo interno y externo fluyen en la misma dirección se determina como paralelo, para este tipo de intercambiador de calor ambos fluidos ingresan por el mismo extremo y estos presentan una significativa diferencia en la temperatura. El comportamiento de la temperatura busca el equilibrio entre ambas, mientras el de mayor temperatura disminuye, por el contrario, el de menor temperatura aumenta, pero nunca alcanza la temperatura del fluido más caliente. Como se ilustra en la figura siguiente.

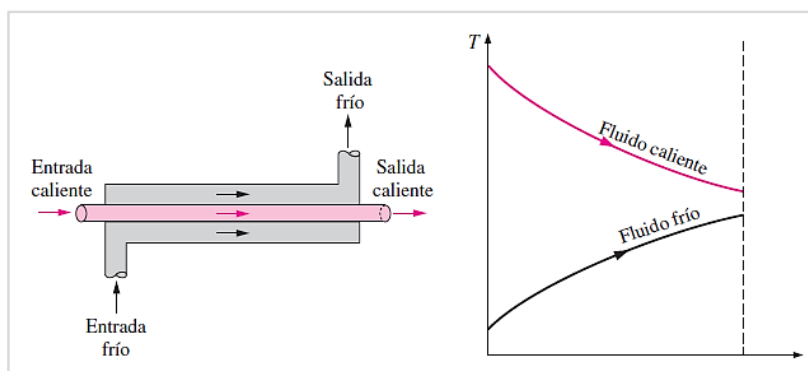


Figura 39 - Intercambiador de calor de flujo paralelo.

Fuente: A. Cengel. Transferencia de calor y masa.

II. Contraflujo: ocurre cuando ambos fluidos fluyen en la misma dirección, pero en sentido opuesto. En este tipo de intercambiador de calor cada fluido ingresa por diferentes extremos, cuando el fluido con menor temperatura sale en contra flujo del intercambiador de calor en el extremo donde ingresa el fluido de mayor temperatura, la temperatura del fluido más frío se aproximará a la temperatura del fluido que ingresa. Este tipo de intercambiador de calor puede elevar más la temperatura del fluido frío y bajar la del fluido caliente al realizar la transferencia de calor siendo más eficiente que el intercambiador de flujo paralelo, en la siguiente figura se puede observar el comportamiento del intercambiador.

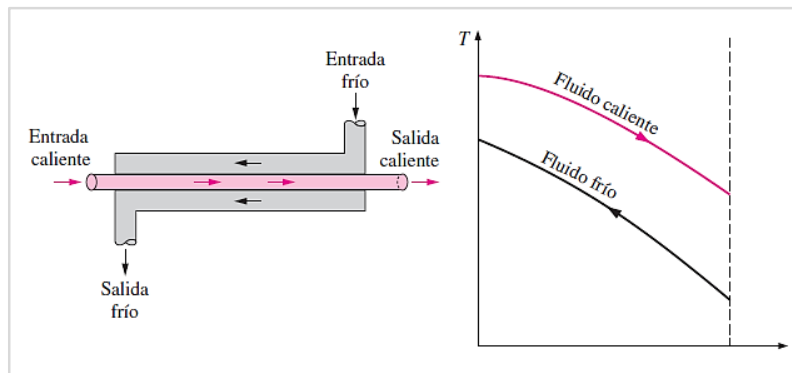


Figura 40 - Intercambiador de calor en contraflujo.

Fuente: A. Cengel. Transferencia de calor y masa.

III. Flujo cruzado: se presenta cuando uno de los fluidos fluye de forma perpendicular al otro fluido, uno pasa a través de tubos formando un ángulo de 90° como se muestra en la siguiente figura. Aunque en la industria actualmente se utiliza una combinación de dos o más intercambiadores de calor en uno, ésta acción se realiza para maximizar la eficacia del intercambiador dentro de las restricciones producidas por el diseño.

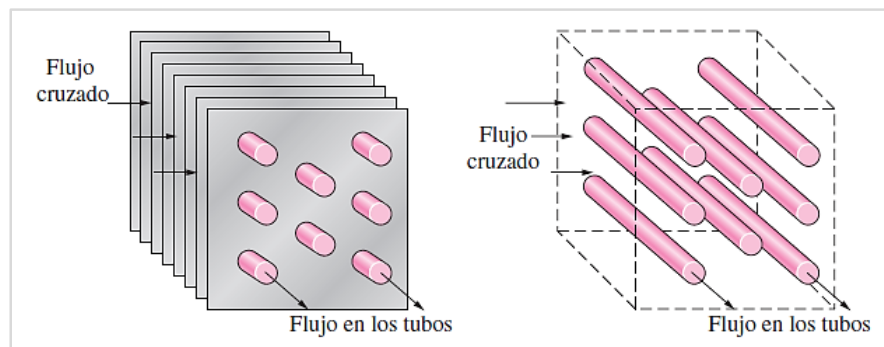


Figura 41 - Intercambiador de calor de flujo cruzado.

Fuente: A. Cengel. Transferencia de calor y masa.

IV. Intercambiador paso simple y múltiple: un método que combina las características de más de un intercambiador de calor que permite mejorar el desempeño del intercambio de calor es, hacer pasar los fluidos más de una vez por el interior de un intercambiador de paso simple, cuando los fluidos interactúan más de una vez intercambiando calor se denomina intercambiador de múltiples pasos, por el contrario, si el fluido interactúa

solo una vez se denomina intercambiador de calor de paso simple, a continuación se puede observar el ejemplo en la siguiente figura.

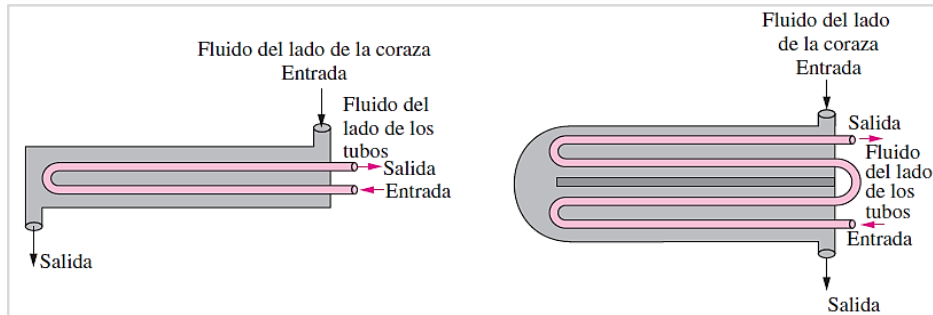


Figura 42 - Intercambiador de calor pasos múltiples.

Fuente: A. Cengel. Transferencia de calor y masa.

Tipos de intercambiador de calor por su función

Es importante destacar que la clasificación del intercambiador de calor por el concepto regenerativo/no regenerativo responde el ¿cómo funciona?, se refiere particularmente al desarrollo del intercambiador de calor como un sistema y no el tipo de intercambiador.

I. Intercambiador de calor regenerativo: ocurre cuando el fluido a mayor temperatura cede su energía al pasar por el sistema regenerador saliendo al ambiente y luego reingresa nuevamente para entregar energía. Los intercambiadores regenerativos se utilizan mayormente en sistemas con altas temperaturas en donde el flujo principal es alimentado por pequeños flujos retirados del mismo flujo principal para utilizar su energía. Como característica principal es que los intercambiadores de calor regenerativos utilizan el mismo tipo de fluido a baja temperatura como alta temperatura.

II. Intercambiador de calor no – regenerativo: para un intercambiador de energía no-regenerativo el fluido con mayor temperatura es enfriado por un fluido a baja temperatura que no necesariamente es el mismo tipo de fluido y este se encuentra en un sistema separado. Además, la energía retirada del fluido no se integrada nuevamente al sistema.

Tipos de intercambiador de calor por la forma de construcción

I. Intercambiador de calor doble tubos: Se emplea para el intercambio de calor de pequeños caudales, formado por dos tubos concéntricos, donde, el fluido circula por la tubería interna cede calor y el fluido que se quiere calentar circula por el espacio anular comprendido entre las tuberías. El intercambio de calor ocurre por convección y conducción a través de la pared que separa ambos fluidos, su utilización permite el intercambio térmico sin que ocurra un cambio de estado en los fluidos, además se pueden conectar en serie o en paralelo para aumentar el área de transferencia, esta área se determina por el tubo interno ya que, el área del tubo externo solo sirve como envolvente.

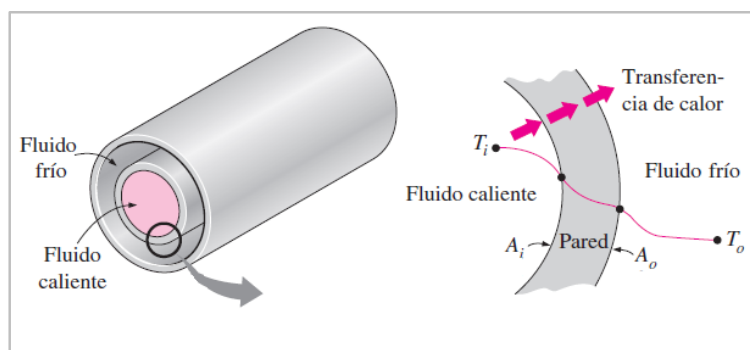


Figura 43 - Intercambiador de calor doble tubo.

Fuente: A. Cengel. Transferencia de calor y masa.

II. Intercambiador de calor de corazas y tubos: Este tipo de intercambiador consiste en un grupo de tubos al interior de un contenedor llamado coraza, el flujo compuesto por el fluido que circula dentro de los tubos se denomina flujo interno mientras que el fluido que circula al interior del contenedor o coraza se denomina flujo exterior, en los extremos del intercambiador, el fluido interno es separado del fluido externo de la coraza por las placas del tubo, los tubos sujetados se sueldan a la placa para proporcionar un sello adecuado. Para los sistemas donde los fluidos poseen gran diferencia entre sus presiones, el fluido con mayor presión se hace circular normalmente a través de los tubos y el fluido con una presión más baja se hace circular por el interior de la coraza.

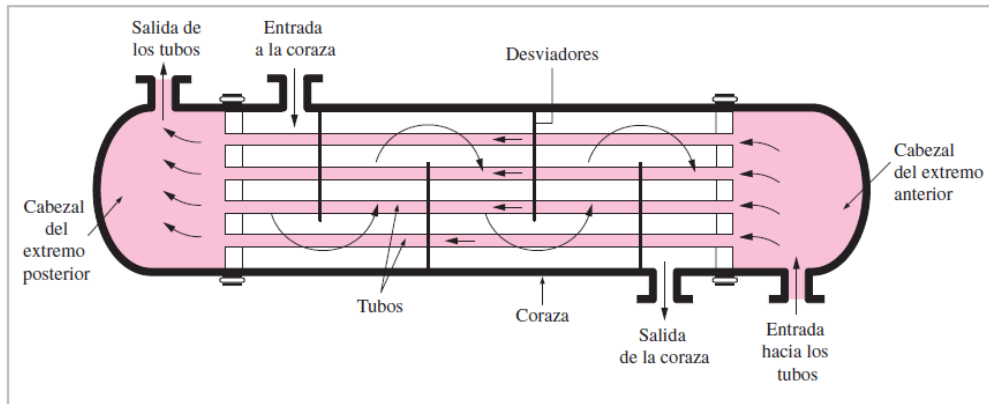


Figura 44 - Intercambiador de calor de coraza y tubos.

Fuente: A. Cengel. Transferencia de calor y masa.

I. Intercambiador de calor de superficie extendida: los tubos aleteados se utilizan por que las aletas aumentan el intercambio de calor en alrededor de 10 a 15 veces por unidad de longitud, además, las aletas se pueden fabricar de una gran variedad de diseños y formas geométricas. Las aletas longitudinales se usan en intercambiadores de doble tubo, mientras que las aletas transversales circulares cortas se usan en intercambiadores de tubos y coraza. Esto se debe al hecho que en los intercambiadores de doble tubo el flujo es paralelo a los tubos, en los intercambiadores de tubos y coraza el flujo es normal al banco de tubos. Existe una enorme variedad de diseños de intercambiadores con superficies extendidas, pero los más comunes son derivados de los diseños básicos de intercambiadores de tubos lisos.

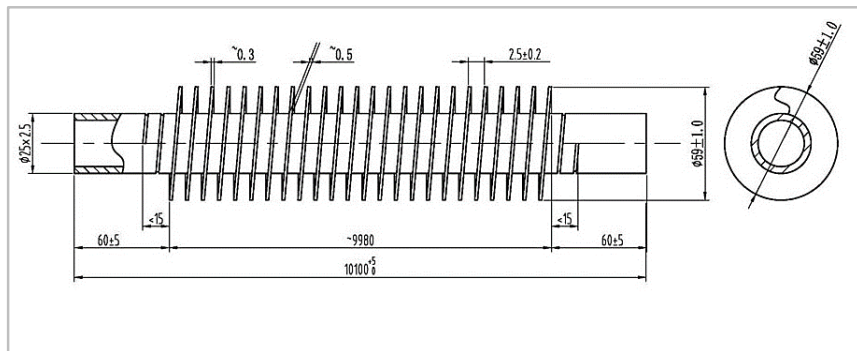


Figura 45 - Intercambiador de calor con superficie extendida.

Fuente: Catálogo Reliance International Trade.

II. Intercambiador de calor de placas: está formado por placas en lugar de tubos para separar el fluido caliente y el frío. Los fluidos son alternados entre cada una de las placas y los deflectores dirigen el flujo líquido entre las placas. Ya que cada una de las placas posee un área superficial muy grande, las placas proveen un área bastante grande de transferencia térmica a cada uno de los líquidos. Por lo tanto, un intercambiador de placa es capaz de transferir mucho más calor con respecto a un intercambiador de coraza y tubos con volumen semejante, esto se debe a que las placas pueden entregar mayor área de transferencia térmica que los tubos, por esto que los intercambiadores de placas son más pequeños en comparación a los intercambiadores de calor de coraza y tubos, ya que al poseer mayor área logran ser más eficaces para el mismo intercambio de calor. Sin embargo, el intercambiador de placa no se utiliza masivamente debido a la imposibilidad de sellar confiablemente las juntas entre cada una de las placas, por causa de este problema este tipo de intercambiador es utilizado solamente para aplicaciones donde la presión es pequeña.

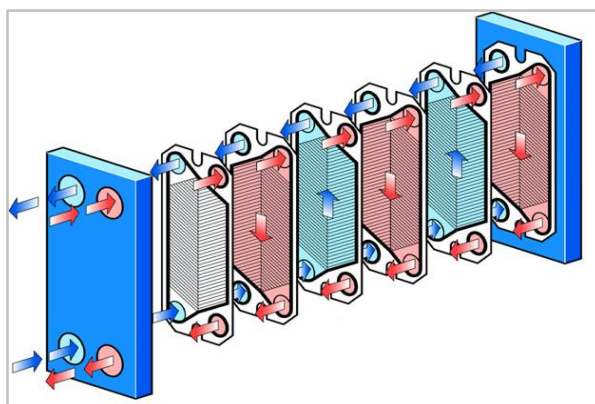


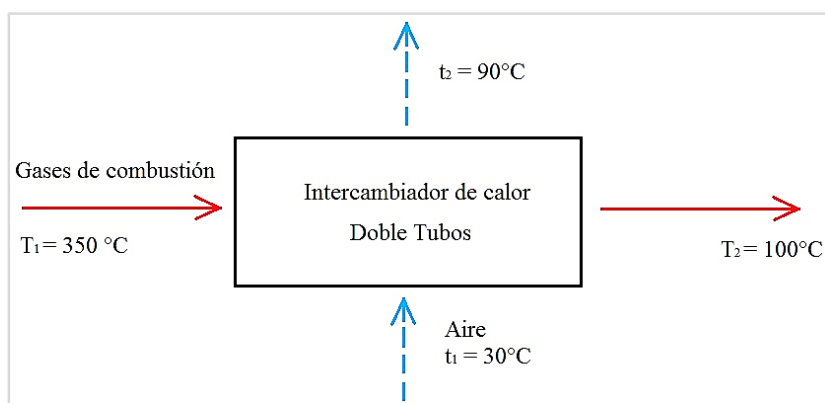
Figura 46 - Intercambiador de calor de placas.

Fuente: Catálogo de producto Teva.

Anexo IV: Métodos y cálculos de Intercambiadores de Calor

Diseño de Intercambiador de calor Doble Tubo

Se desea calentar 0,59 (Kg/s) de aire desde 30°C hasta 90°C, para tal efecto se desea emplear gases de combustión como medio de calentamiento la cual está disponible a 350°C. Según materiales utilizados por el fabricante se dispone de aleación Cu-Ni de 2'' x 1 ¼''.



1. Propiedades físicas de los fluidos.

Gases $T_m = 225\text{ °C}$		Aire $t_m = 60\text{ °C}$	
T_e (°C)	350	t_e (°C)	30
T_s (°C)	100	t_s (°C)	90
T_m (°C)	225	t_m (°C)	60
ϕ (Kg/m ³)	0,560	ϕ (Kg/m ³)	1,059
C_p (KJ/Kg°K)	1,0467	C_p (KJ/Kg°K)	1,007
k (W/m°K)	0,004254	k (W/m°K)	0,02808
μ (Kg/m s)	2,849E-05	μ (Kg/m s)	2,008E-05
Pr	0,7078	Pr	0,7202
\dot{m} (kg/s)	-	\dot{m} (kg/s)	0,59

2. Características de los tubos.

El tubo seleccionado se obtiene de unidades comerciales cuyas dimensiones se dan en la Tabla 25.

Intercambiador IPS	Áreas del flujo	De
--------------------	-----------------	----

		Anillo: a_a		Tubo interior a_t			
mm	pulg	cm^2	$pulg^2$	cm^2	$pulg^2$	cm	pulg
50 x 32	2 x 1 1/4	7,67	1,19	9,67	1,5	2,32	0,915

Para Tubo interior:

$$D_o = D_i = 42 \text{ (mm)}$$

$$D_m = \frac{D_o + D_i}{2} = 38 \text{ (mm)}$$

$$D_i = 35 \text{ (mm)}$$

$$x_w = 7 \text{ (mm)}$$

$$k_w = 50 \text{ (W/m}^\circ\text{k)}$$

Para Tubo exterior:

$$D_i = D_2 = 5,25 \text{ (mm)}$$

$$\text{Longitud, } L = 4,88 \text{ (m)} = 16 \text{ (pies)}$$

3. Carga de calor (Aire)

$$Q = C_p \dot{m} \Delta T = 1,007 \times 0,59 \times (90 - 30) = 35,65 \text{ (kW)}$$

Diferencia de temperaturas: Considerando el flujo en contracorriente.

$$\Delta T_L = \frac{(t_s - t_e) - (T_s - T_e)}{\ln\left(\frac{t_s - t_e}{T_s - T_e}\right)} = 133,14 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

4. Curso de los fluidos

Cantidad de gases para el calentamiento:

$$\dot{m} = \frac{Q}{C_p \Delta T} = 490,43 \text{ (kg/h)}$$

Luego, el curso de los fluidos será:

Por el tubo interior: $a_t = 9,67 \text{ (cm}^2\text{)}$ se envía el aire, 2.124 (kg/h)

Por el anillo: $a_a = 7,67 \text{ (cm}^2\text{)}$ se envían los gases de combustión, 490 (kg/h)

5. Coeficientes individuales de película

5.1. Tubo interior h_t

$$G_t = \frac{\dot{m}_t}{a_t} = 610,13 \text{ (kg/s m}^2\text{)}$$

$$Re = \frac{\varphi v D_1}{\mu} = \frac{G_t D_i}{\mu} = 1.063.421 (-)$$

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} = 0,72 (-)$$

Despreciando el término de corrección para la viscosidad (μ / μ_w):

$$\frac{L}{d_i} = 139 (-)$$

De la Fig.47 $J_H = 3,4 \times 10^{-3}$

$$h_t = J_H \left(\frac{k}{D_i} \right) Re \left(\frac{C_p \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} = 1.914 (W/m^2 \cdot C)$$

5.2. Lado del anillo h_a

$$G_a = \frac{m_t}{a_t} = 177,60 (kg/s m^2)$$

$$Re = \frac{\varphi v D_1}{\mu} = \frac{G_t D_i}{\mu} = 14.338 (-)$$

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} = 7,01 (-)$$

Despreciando el término de corrección para la viscosidad (μ / μ_w):

$$\frac{L}{d_i} = 212 (-)$$

De la Fig.47 $J_H = 3,3 \times 10^{-3}$

$$h_a = J_H \left(\frac{k}{D_e} \right) Re \left(\frac{C_p \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} = 17,65 (W/m^2 \cdot C)$$

6. Resistencias a la incrustación

6.1. Lado del tubo (aire), $r_t = 0,00033 (W/m^2 \cdot C)$

6.2. Lado del anillo (gases), $r_t = 0,00020 (W/m^2 \cdot C)$

7. Coeficiente total de transferencia de calor

$$\frac{1}{U} = \left(\frac{D_0}{h_i D_i} \right) + r_t \left(\frac{D_0}{D_i} \right) + \left(\frac{x_m D_0}{k D_m} \right) + r_a + \left(\frac{1}{h_s} \right) = 0,058 (m^2 \cdot C/W)$$

$$U = 17,23 (W/m^2 \cdot C)$$

8. Calcular el área necesaria para la operación Ec.2.6 a

$$A_0 = \frac{Q}{U \Delta T_L} = 15,5 \text{ (m}^2\text{)}$$

9. Longitud total del intercambiador

$$L_t = \frac{A_0}{a_1} = \frac{A_0}{\pi D_0} = 117,5 \text{ (m)}$$

Número de Horquillas:

$$N_H = \frac{L_t}{2L} = 12 \text{ (horquillas)}$$

Se usarán 12 Horquillas

10. Caídas de presión ΔP para cada fluido.

10.1. Lado del tubo:

$$v_t = \frac{G_t}{\varphi} = 0,58 \text{ (m/s)}$$

De la Fig.48; para $Re = 1.063.421, f = 1,5 \times 10^{-3}$

Despreciando el término de corrección para la viscosidad (μ / μ_w):

$$\Delta P_T = 8 f \left(\frac{L'}{D_i} \right) \left(\frac{\varphi u_t^2}{2} \right)^{\frac{1}{3}} = 7.152,6 \left(\frac{N}{m^2} \right) = 7,15 \text{ (KPa)} = 1,04 \text{ (Psi)}$$

10.2. Lado del anillo:

$$v_a = \frac{G_a}{\varphi} = 0,32 \text{ (m/s)}$$

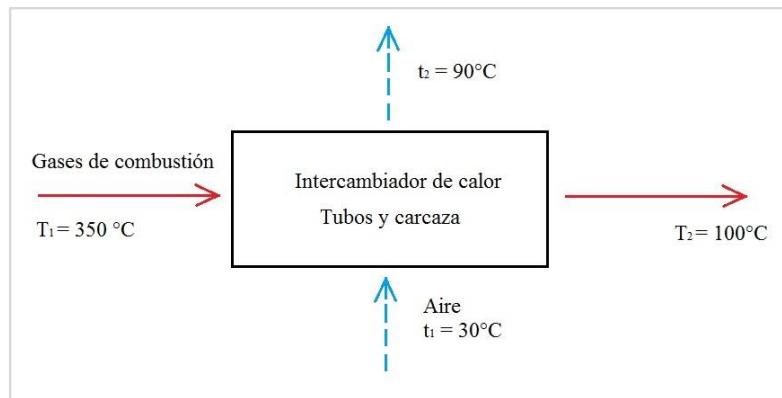
De la Fig.48; para $Re = 14.338, f = 3,5 \times 10^{-3}$

Despreciando el término de corrección para la viscosidad (μ / μ_w):

$$\Delta P_T = 8 f \left(\frac{L'}{D_i} \right) \left(\frac{\varphi u_t^2}{2} \right)^{\frac{1}{3}} = 4.088,1 \left(\frac{N}{m^2} \right) = 4,1 \text{ (KPa)} = 0,59 \text{ (Psi)}$$

Diseño de Intercambiador de calor de Tubos y Carcaza

Diseñar intercambiador para calentar aire del ambiente desde 30°C hasta 90°C. El flujo de masa del aire es de 0,59 (kg/s). Como medio de calentamiento se debe usar gases de combustión a 350°C los cuales se enfrían hasta 100°C.



1 Propiedades físicas de los fluidos.

Gases $T_m = 225^\circ\text{C}$		Aire $t_m = 60^\circ\text{C}$	
T_e ($^\circ\text{C}$)	350	t_e ($^\circ\text{C}$)	30
T_s ($^\circ\text{C}$)	100	t_s ($^\circ\text{C}$)	90
T_m ($^\circ\text{C}$)	225	t_m ($^\circ\text{C}$)	60
ϕ (Kg/m^3)	0,560	ϕ (Kg/m^3)	1,059
C_p ($\text{KJ}/\text{Kg}^\circ\text{K}$)	1,0467	C_p ($\text{KJ}/\text{Kg}^\circ\text{K}$)	1,007
k ($\text{W}/\text{m}^\circ\text{K}$)	0,004254	k ($\text{W}/\text{m}^\circ\text{K}$)	0,02808
μ ($\text{Kg}/\text{m s}$)	2,849E-05	μ ($\text{Kg}/\text{m s}$)	2,008E-05
Pr	0,7078	Pr	0,7202
\dot{m} (kg/s)	-	\dot{m} (kg/s)	0,59

2 Tipo de Intercambiador: f(A)

2.1 Calor transferido:

$$Q = C_p \dot{m} \Delta T = 0,59 \times 1,007 \times (90 - 30) = 35,65 \text{ (kW)}$$

2.2 Diferencia de temperaturas:

$$\Delta T_L = \frac{(t_s - t_e) - (T_s - T_e)}{\ln\left(\frac{t_s - t_e}{T_s - T_e}\right)} = 133,14 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

2.3 Coeficiente total de transferencia de calor: $U = 65 \text{ (W}/\text{m}^2\text{C)}$ (Ref. Tabla 26)

2.4 Área Provisional

$$A = \frac{Q}{U \Delta T} = 4,12 \text{ (m}^2\text{)}$$

2.5 Características de los Tubos:

Tubos de $\frac{3}{4}$ (pulg) x 16 (pies) de longitud de aleación Cu-Ni:

$$OD = D_o = 20 \text{ (mm)}$$

$$ID = D_i = 16 \text{ (mm)}$$

$$L = 4,83 \text{ (m)}$$

$$A_{Lt} = 0,303 \text{ (m}^2\text{)}, \text{ \u00e1rea lateral ofrecida por el tubo.}$$

2.6 Resistencias a la incrustaci\u00f3n (Ref. Tabla 27)

$$\text{Aire y gases industriales, } r = 0,0002 \text{ (W/m}^2\text{^\u00b0C)}$$

$$\text{Gases de Chimenea, } r = 0,0005 \text{ (W/m}^2\text{^\u00b0C)}$$

2.7 Curso de los fluidos:

Lado del casco: aire, fluido m\u00e1s limpio con menor r.

Lado de tubos: gases de chimenea, fluido m\u00e1s caliente, reduce el costo total por necesidad de protecci\u00f3n para evitar p\u00e9rdidas de calor y seguridad.

2.8 Distancia entre tubos: como el fluido en el lado del casco es relativamente limpio se usar\u00e1 arreglo triangular con:

$$P_t = 1,25 \times OD = 25 \text{ (mm)}$$

2.9 Tipo o serie del intercambiador: f (Ft)

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = 4,17$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = 0,19$$

$$F_t = \frac{\sqrt{(R^2 + 1) \ln[(1 - S)/(1 - RS)]}}{(R - 1) \ln \left[\frac{2 - S [R + 1 - \sqrt{(R^2 + 1)}]}{2 - S [R + 1 + \sqrt{(R^2 + 1)}]} \right]} = 0,74$$

Por lo tanto, el intercambiador ser\u00e1 de la serie 1 - n (un paso en el lado del casco y 2,4,6,8 o m\u00e1s pasos en el lado de los tubos).

3 Método de Kern

3.1 U supuesto = 65 ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

3.2 Área provisional:

$$A = \frac{Q}{U \Delta T F_t} = 5,54 \text{ (m}^2\text{)}$$

3.3 Número de tubos:

$$N_t = \frac{A}{A_{Lt}} = 18,27 \text{ (tubos)}$$

3.4 Diámetro del haz de tubos:

$$D_b = OD \left(\frac{N_t}{k_1} \right)^{1/\alpha} = 174,45 \text{ (mm)}$$

Usando el tipo de anillo envolvente de cabeza flotante de la Figura 50, diámetro del casco – diámetro del haz = 49 (mm)

3.5 Diámetro del casco, $D_s = 141 + 49 = 223,4$ (mm)

3.6 Intercambiador seleccionado:

Intercambiador de casco y tubos 1-1

Con tubos de $\frac{3}{4}$ (pulg) con 16 (pies) de longitud $L = 4,83$ (m)

Arreglo Δ triangular, $P_t = 1,25 \times OD = 25$ (mm)

Número de tubos, $N_t = 33$ (tubos)

Diámetro del casco, $D_s = 223,4$ (mm)

Pantallas segmentadas al 25%

3.7 Coeficiente de película en el lado de los tubos:

Temperatura media de gases, $t_m = 225$ ($^\circ C$)

Área de sección transversal de un tubo, $a'_t = \frac{\pi}{4} \times (16)^2 = 201$ (mm^2)

Número de pasos = 1

Tubo por paso = 33

Área total de flujo, $a_t = (\text{tubo por paso}) \times a'_t = 0,0066$ (m^2)

Flujo de gases de enfriamiento, $m_t = \frac{Q}{c_p \Delta T} = 0,14$ ($\frac{kg}{s}$)

Velocidad másica de gases, $G_t = \frac{m_t}{a_t} = 20,53$ ($\frac{kg}{s \text{ } m^2}$)

Velocidad lineal de gases, $v = \frac{G_t}{\varphi} = 0,04 \left(\frac{m}{s} \right)$

$$R_e = \frac{G_t D_i}{\mu} = 11.531 (-)$$

$$P_r = \frac{C_p \mu}{k} = 7,01 (-)$$

Despreciando el término de corrección para la viscosidad (μ / μ_w):

$$\frac{L}{d_i} = 302 (-)$$

De la Figura 47, $J_H = 0,0035$

$$h_i = J_H \left(\frac{k}{D_i} \right) R_e \left(\frac{C_p \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} = 20,40 (W/m^2 \cdot ^\circ C)$$

3.8 Coeficiente de película en el lado del casco (aire)

Seleccionando un espacio entre pantallas de, $B = \frac{D_s}{5} = 44,69 (mm)$

Distancia entre centros de tubos, $P_t = 1,35 \times OD = 25 (mm)$

Área de sección transversal en el lado del casco,

$$a_s = \frac{(P_t - D_0) D_s B}{P_t} = 0,002 (m^2)$$

Flujo de aire, $m_s = 0,59 \left(\frac{kg}{s} \right)$

Velocidad másica del aire, $G_s = \frac{m_s}{a_s} = 295,48 \left(\frac{kg}{s m^2} \right)$

Diámetro equivalente

$$D_e = \frac{1,10}{D_0} (P_t^2 - 0,917 D_0^2) = 14,2 (mm)$$

$$R_{e_s} = \frac{G_s D_e}{\mu} = 3.287.723 (-)$$

$$P_r = \frac{C_p \mu}{k} = 0,72 ()$$

Seleccionando pantallas segmentadas al 25%, coeficiente de película.

De la Figura 50, $J_{H_s} = 0,3$

$$h_s = J_{H_s} \left(\frac{k}{D_e} \right) R_{e_s} \left(\frac{C_p \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} = 1.750.112 (W/m^2 \cdot ^\circ C)$$

3.9 Conductividad térmica de la aleación Cu-Ni, $k_w = 50 (W/m \cdot ^\circ C)$

3.10 Coeficiente total de transferencia de calor

$$\frac{1}{U} = \left(\frac{D_0}{h_i D_i} \right) + r_t \left(\frac{D_0}{D_i} \right) + \left(\frac{x_m D_0}{k D_m} \right) + r_s + \left(\frac{1}{h_s} \right) = 0,0621 \text{ (m}^2\text{°C/W)}$$

$$U = 16 \text{ (W/m}^2\text{°C)}$$

3.11 Área necesaria para la transferencia de calor

$$A_0 = \frac{Q}{U \Delta T F_t} = 22,38 \text{ (m}^2\text{)}$$

3.12 Área disponible

$$A_d = A_{Lt} N_t = 10,01 \text{ (m}^2\text{)}$$

4 Caída de presión

4.1 Caída de presión en el lado de los tubos.

De la Figura 48, para $Re = 11.531$, $f = 0,003$

Despreciando el término de corrección para la viscosidad (μ / μ_w):

$$\Delta P_T = N_p \left[8 f \left(\frac{L'}{D_i} \right) + 2,5 \right] \left(\frac{\varphi u_t^2}{2} \right) = 3,67 \left(\frac{N}{m^2} \right) = 0,004 \text{ (KPa)} = 0,014 \text{ (Psi)}$$

4.2 Caída de presión en el lado del casco.

Velocidad lineal, $v = \frac{G_s}{\varphi} = 0,28 \left(\frac{m}{s} \right)$

De la Figura 51, para $Re = 3.287.723$, $f = 0,0015$

Despreciando el término de corrección para la viscosidad (μ / μ_w):

$$\Delta P_s = 8 f \left(\frac{L'}{B} \right) \left(\frac{\varphi v^2}{2} \right) = 53,47 \left(\frac{N}{m^2} \right) = 0,053 \text{ (KPa)} = 0,005 \text{ (Psi)}$$

Anexo V: Figuras, tablas e instrumentos para cálculo de Intercambiadores.

Tabla 25 - Dimensiones de intercambiadores comerciales de doble tubo.

INTERCAMBIADOR IPS		Áreas de flujo				D _e	
		Anillo		Tubo interior			
mm.	pulg.	cm ² .	pulg ²	cm ² .	pulg ²	Cm.	pulg.
50 x 32	2 x 1 ¼	7,67	1,19	9,67	1,50	2,32	0,915
57 x 32	2 ½ x 1 ¼	16,98	2,63	9,67	1,50	5,13	2,020
76 x 50	3 x 2	18,90	2,93	21,64	3,35	3,98	1,570
100 x 76	4 x 3	20,25	3,14	47,41	7,35	2,89	1,140

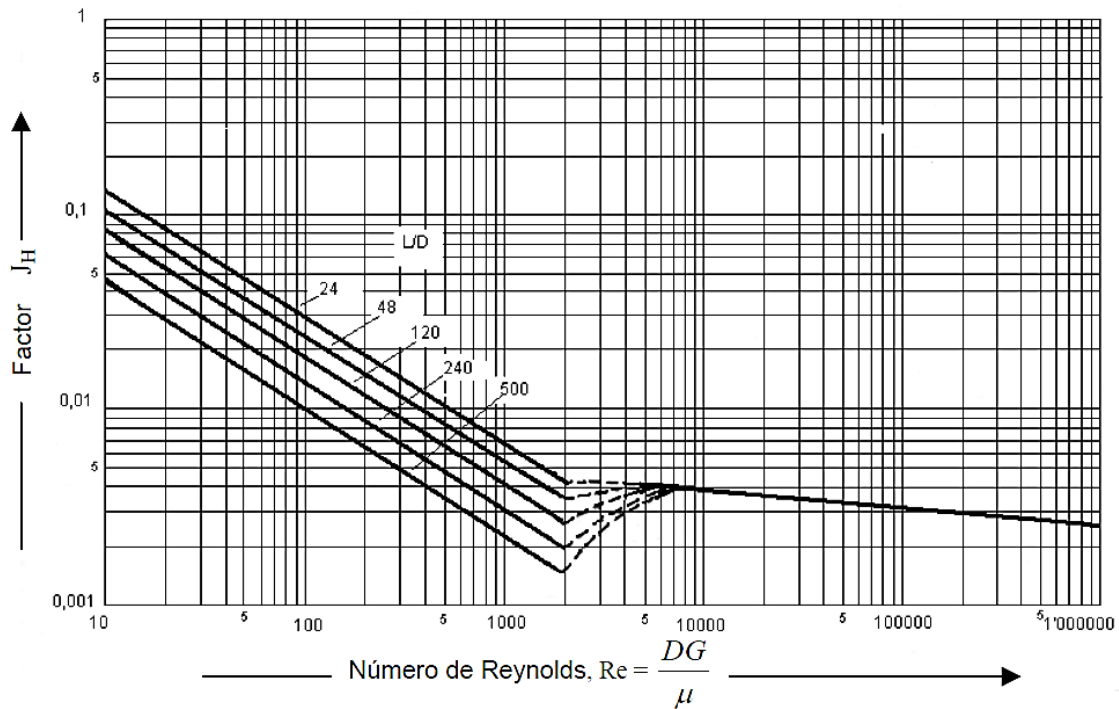


Figura 47 - Coeficientes de película para tubos.

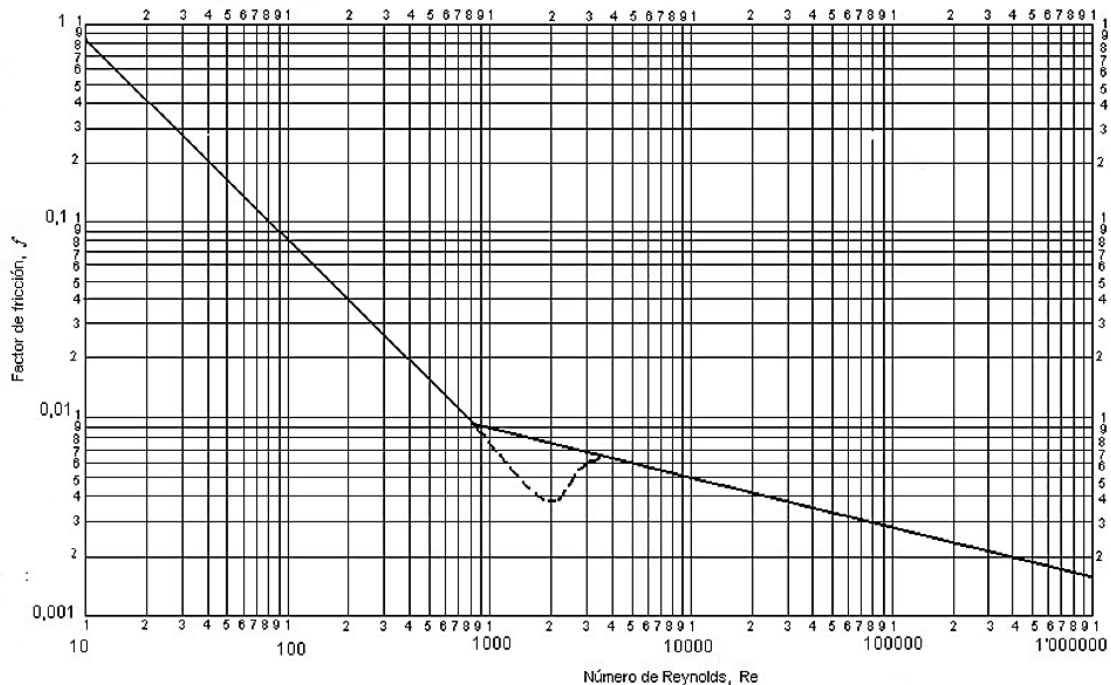


Figura 48 - Factor de fricción para tubos.

Tabla 26 - Coeficientes Totales típicos.

Intercambiadores tubulares		
Fluido caliente	Fluido frío	U: (W.m². °C)
<i>Intercambiadores de calor</i>		
Agua	Agua	800 – 1500
Solventes orgánicos	Solventes orgánicos	100 – 300
Aceites ligeros	Aceites ligeros	100 – 400
Aceites pesados	Aceites pesados	50 – 300
Gases	Gases	10 – 50
<i>Calentadores</i>		
Vapor	Agua	1500 – 4000
Vapor	Solventes orgánicos	500 – 1000
Vapor	Aceites ligeros	300 – 900
Vapor	Aceites pesados	60 – 450
Vapor	Gases	30 – 300
Dowtherm	Aceites pesados	50 – 300
Dowtherm	Gases	20 – 200
Gases de combustión	Vapor	30 – 100
Caldero	Vapores de hidrocarburos	30 – 100

Tabla 27 - Resistencias a la incrustación, valores típicos.

Fluido	Resistencia, $r = (\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$	
	$v > 1,2 \text{ m/s}$	$v < 1,2 \text{ m/s}$
Agua de río	0,00008	---- 0,00033
Agua de mar	0,00033	-----0,00100
Agua de enfriamiento (torres)	0,00020	---- 0,00033
Agua potable (blanda)	0,0002	---- 0,00033
Agua potable (dura)	0,0005	---- 0,00100
Condensado	0,0002	--- 0, 00067
Vapor (libre de aceite)	0,0001	---- 0,00025
Vapor (con trazas de aceite)	0,0002	---- 0,00050
Salmuera	0,0002	---- 0,00033
Aire y gases industriales	0,00067	----0,00020
Gases de chimenea	0,0002	---- 0,00050
Vapores orgánicos	0,00020	
Líquidos orgánicos	0,00020	
Hidrocarburos ligeros	0,00020	
Hidrocarburos pesados	0,00050	
Orgánicos en ebullición	0,00040	
Orgánicos condensando	0,00020	
Fluidos de transferencia de calor	0,00020	
Soluciones acuosas de sales	0,00020	-- 0,00033

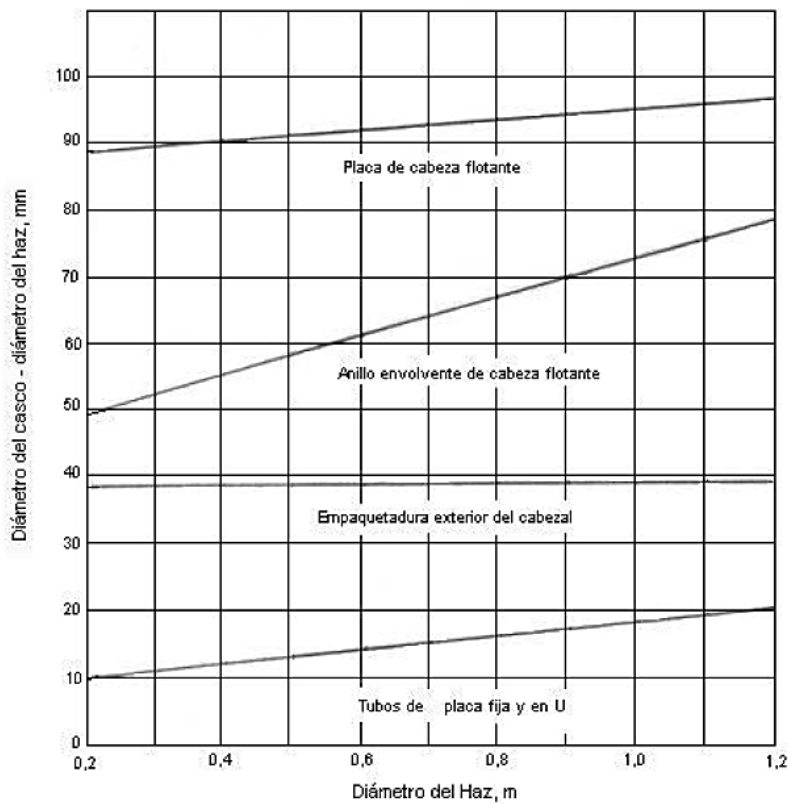


Figura 49 - Espaciado entre el casco – haz de tubos.

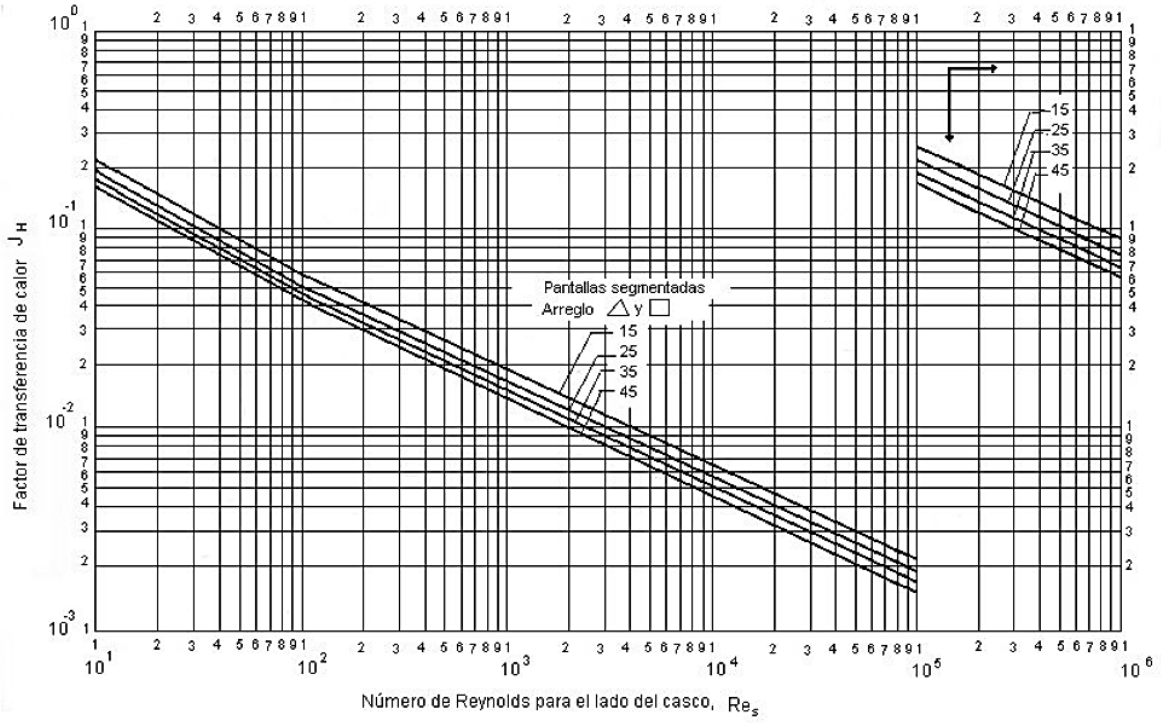


Figura 50 - Factor de transferencia de calor para el lado del casco.

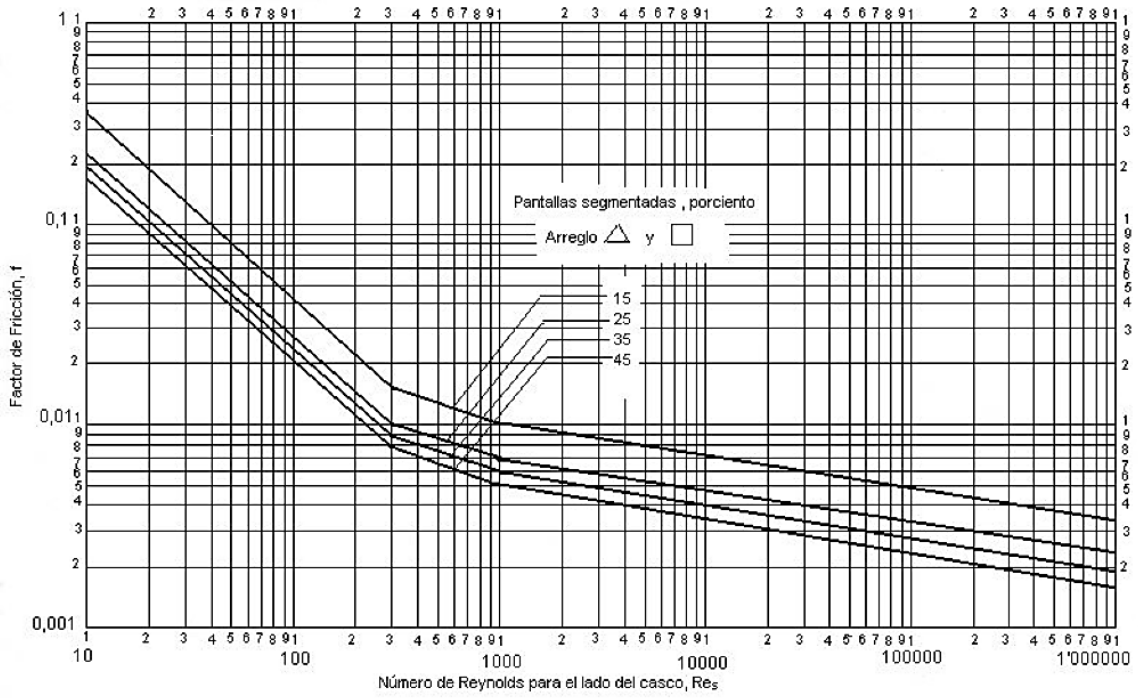


Figura 51 - Factor de fricción para el lado del casco.

Tabla 28 - Propiedades del aire a 1 (atm).

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

Tabla 29 - Temperaturas en la ciudad de Los Andes.

Temperaturas Enero 2016					
Fecha	T °C Máx./Mín.	Fecha	T °C Máx./Mín.	Fecha	T °C Máx./Mín.
do. 01/01	32°/14°	ju. 12/01	34°/16°	lu. 23/01	32°/17°
lu. 02/01	31°/16°	vi. 13/01	35°/17°	ma. 24/01	34°/15°
ma. 03/01	30°/13°	sá. 14/01	33°/17°	mi. 25/01	37°/17°
mi. 04/01	30°/13°	do. 15/01	31°/13°	ju. 26/01	33°/19°
ju. 05/01	32°/14°	lu. 16/01	32°/13°	vi. 27/01	34°/18°
vi. 06/01	31°/14°	ma. 17/01	35°/15°	sá. 28/01	33°/19°
sá. 07/01	31°/15°	mi. 18/01	36°/16°	do. 29/01	34°/18°
do. 08/01	31°/17°	ju. 19/01	36°/15°	lu. 30/01	34°/17°
lu. 09/01	31°/19°	vi. 20/01	38°/17°	ma. 31/01	34°/15°
ma. 10/01	31°/17°	sá. 21/01	35°/17°		
mi. 11/01	32°/15°	do. 22/01	31°/16°		

Fuente: AccuWeather, Internet.

Descripción de instrumentos utilizados para medir.

Descripción de anemómetro

El anemómetro es un instrumento meteorológico que se utiliza para medir la velocidad del viento. Para realizar las mediciones descritas se utilizó un anemómetro de filamento caliente, que consiste en un hilo de platino o níquel calentado eléctricamente, donde, el flujo de viento tiene efecto enfriar el filamento haciendo variar su resistencia, de esta forma, la corriente que atraviesa el hilo es proporcional a la velocidad del viento. A continuación, se muestra en la figura el anemómetro utilizado para realizar las mediciones.



Figura 52 - Anemómetro utilizado para medir la velocidad del aire.

Descripción del instrumento medidor de temperatura del horno

Testo es un instrumento de medición portátil para el análisis de gases de combustión. El instrumento se utilizó para medir el rendimiento del equipo, exceso de aire y temperatura para calcular la composición de los gases de salida en la chimenea. A continuación, en la figura se muestra el instrumento como a su vez los resultados del análisis.



Figura 53 - Instrumento utilizado para la medir temperatura, rendimiento y exceso de aire en gases.