



**FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**REDISEÑO DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA BOBINAS DE
ALUMINIO PROVENIENTES DE LOS HORNOS DE RECOCIDO, EN EMPRESA
PROCESADORA DE ALUMINIO.**

**CHACÓN F. JUAN L.
GONZÁLEZ H. ANGÉLICA M.**

VALENCIA, ABRIL DE 2008



**FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**REDISEÑO DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA BOBINAS DE
ALUMINIO PROVENIENTES DE LOS HORNOS DE RECOCIDO, EN EMPRESA
PROCESADORA DE ALUMINIO.**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

**CHACÓN F. JUAN L.
GONZÁLEZ H. ANGÉLICA M.**

VALENCIA, ABRIL DE 2008



**FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes miembros del jurado asignado para evaluar el trabajo de grado titulado: **“REDISEÑO DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA BOBINAS DE ALUMINIO PROVENIENTES DE LOS HORNOS DE RECOCIDO, EN EMPRESA PROCESADORA DE ALUMINIO”**, realizado por los bachilleres: Chacón F. Juan L. C.I.: 17.032.271 y González H. Angélica M. C.I.: 18.240.995, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

Prof. Ing. Nilo Espinoza

Tutor

Prof. Ing. Mirna Silva

Jurado

Prof. Ing. Oswaldo Urbano

Jurado

Valencia, Abril de 2008

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA

FORMATO TG-8 ACTA DE EVALUACIÓN FINAL

A.- La Monografía.

El jurado considera que el trabajo presentado posee el o los siguientes méritos, según lo definido en la Normativa establecida (subrayar lo que corresponda): aporte, utilidad, diseño y construcción, esfuerzo investigativo y/o aplicación de conocimientos.

En consecuencia queda calificado en el rango I, II, III, IV (encerrar en círculo el correspondiente).

La calidad de ejecución, considerando los reglones señalados en la referida Normativa, es evaluada como: (subrayar el que corresponda) excelente, buena, aceptable.

Por consiguiente y según la tabla de las mencionadas Normas, se califica la Monografía con _____ puntos (_____ ptos.) sobre veinte.

B. Definitiva

Considerando además el dominio del tema que mediante la exposición oral y las respuestas dadas fue demostrado por los promovientes se determina la siguiente calificación definitiva:

Alumno Chacón F. Juan L. (_____) puntos.

Alumno González H. Angélica M. (_____) puntos.

En Valencia, a los _____ días del mes de _____ de _____

Prof. Ing. Nilo Espinoza
Presidente del
Jurado

Prof. Ing. Oswaldo Urbano
Miembro del
Jurado

Prof. Ing. Mirna Silva
Miembro del
Jurado

RESUMEN

El presente trabajo especial de grado está enmarcado dentro de la modalidad denominada Proyecto Factible, teniendo como principal objetivo el rediseñar el sistema de enfriamiento actual con el fin de disminuir el tiempo de enfriamiento de las bobinas de aluminio provenientes de los hornos de recocido. El proceso de laminado que se lleva a cabo en la empresa produce endurecimiento del material debido a las tensiones acumuladas en éste, por esta razón, se hace necesario someterlo a un tratamiento térmico de recocido. El aluminio, laminado y embobinado sale del horno de recocido a una temperatura que varía entre los 335°C y 390°C. El proceso requiere que la temperatura de la bobina descienda hasta 80°C. Actualmente, se realiza el enfriamiento de las bobinas dirigiendo una corriente de aire hacia las mismas, por medio de ventiladores de pie. Esta etapa tiene una duración de 26 horas aproximadamente, lo que genera una parada de la producción debido al estancamiento de material durante el enfriamiento. Debido a esta situación y enmarcado a una base teórica consistente, se trazó una metodología para el estudio y solución de la situación problemática, comenzando por la investigación bibliográfica para luego realizar el diagnóstico de la situación actual, donde se realizó el estudio del material, a fin de determinar su comportamiento mecánico bajo distintos medios de enfriamiento después de un proceso de recocido. Además se analizó el sistema de enfriamiento actual. Luego se diseñaron las propuestas de solución al problema planteado y se seleccionó el sistema de enfriamiento más adecuado de acuerdo a las necesidades de la empresa, el cual consiste en enfriamiento por convección forzada, empleándose como fluido aire, impulsado por ventiladores centrífugos y distribuido a cada una de las bobinas a enfriar, mediante una red de ductos de ventilación. El material será suspendido sobre estibas metálicas que facilitarán la distribución de los ductos alrededor de este. Con la aplicación del nuevo sistema se podrá reducir el tiempo de enfriamiento de las bobinas en 8 horas, lo cual evitará paradas del proceso productivo de la empresa. Posteriormente se efectuó el estudio económico para determinar la factibilidad de instalar el sistema de enfriamiento diseñado, resultando el estudio como un proyecto viable para el mejoramiento del sistema desde el punto de vista económico.

DEDICATORIA

Ante todo a Dios, por haberme regalado la posibilidad de llegar a este momento.

A mi madre, mi consejera y apoyo incondicional durante cada momento importante de mi vida. Incluso en aquellos donde ni yo mismo creí en mí.

A mi padre, a quien Dios le permitió ver este logro.

A mis hermanos (Alberto y Oswaldo) y mi familia, quienes a pesar de los momentos difíciles que hemos pasado seguimos unidos sin importar las barreras físicas que nos separen.

A mis amigos, aquellas personas que estuvieron cerca de mí durante mi carrera, y con quienes compartí alegrías y tristezas, experiencias que nunca olvidare, esperando que sigamos unidos mucho tiempo.

A todos aquellos quienes dejaron en mí una huella de alegría en mí los quiero mucho.

Juan Chacón

DEDICATORIA

A Dios, por llenarme de bendiciones cada día.

A Mamá y Papá, excelentes padres y modelos a seguir, este logro también es de ustedes.

A Bethania, mi hermana, la persona con la que siempre puedo contar.

A Diego, una persona excepcional que se ha cruzado en mi camino.

A Paola, siempre vivirás en mi corazón.

A mis amigos, los viejos que más que amigos son familia y a los nuevos quienes han hecho de la Universidad una experiencia maravillosa.

Angélica M. González H.

AGRADECIMIENTOS

- Al profesor Nilo Espinoza, nuestro tutor por darnos su apoyo y tiempo, acompañándonos durante el desarrollo del trabajo de grado
- A los profesores Oswaldo Urbano y Mirna Silva por aportar su grano de arena en la realización de este trabajo.
- Al personal técnico del laboratorio de materiales de la Universidad de Carabobo, de igual forma a la Sra. Alicia y la Sra. Cira quienes dios puso en nuestro camino para darnos su ayuda en todo lo que estuviera a su alcance.
- A la empresa CVG Alucasa por permitir el desarrollo de este trabajo de grado dentro de las instalaciones de la empresa, en especial al Ing. Víctor Palacios por guiarnos y brindarnos la ayuda necesaria para la culminación de este trabajo.
- A todas las personas de CVG Alucasa que nos brindaron su apoyo y amistad durante nuestra permanencia en la empresa.
- A la empresa Oproca en especial a Sr. Franklin Martínez por su invaluable apoyo en el desarrollo de este trabajo de grado.
- A nuestras familias y amigos que nos acompañaron en todo momento y nos brindaron todo el apoyo para que culmináramos la carrera con éxito.

A todos los anteriormente mencionados nuestros más sinceros agradecimientos, esperando poder retribuirles algún día el apoyo brindado. Gracias.

Juan Chacón y Angélica González

NOMENCLATURA

σ_{maximo} : Esfuerzo máximo (Kg/cm²)

$\sigma_{fluencia}$: Esfuerzo de fluencia (Kg/cm²)

$\sigma_{trabajo}$: Esfuerzo de trabajo (Kg/cm²)

σ_r : Esfuerzo resultante en soldadura (Kg/cm²)

Lf: Longitud final (m)

Lo: Longitud inicial (m)

C: Criterio

S: Solución

T_{IB}: Temperatura inicial de la bobina (°C)

T_{FB}: Temperatura final de la bobina (°C)

Q: Cantidad de calor (KJ)

Ce: Calor específico (J/Kg.K)

W: Cantidad de masa (Kg)

ΔT : Gradiente de temperatura (°C)

Q_{aire}: Caudal de aire (m³/s)

\dot{m}_{aire} : Flujo másico de aire (Kg/s)

ΔP : Perdidas de presión por fricción (mm.c.a)

V: Velocidad (m/s)

t: Tiempo (s)

L: Longitud (m)

Vol: Volumen (m³)

N^oBiot: Número de Biot

N^oFourier: Número de Fourier

Nu_D: Numero de Nusselt

Re: Numero de Reynolds

D_{bo}: Diámetro de la bobina (m)

D_{core}: Diámetro del core (m)

An: Ancho de la bobina (m)

r_o: Radio de la bobina (m)

Lc: Longitud corregida (m)

C_{Fx}: Coeficiente de fricción

F: Factor de fricción

T_{sp}: Temperatura promedio salida del Aire (°C)

Te: Temperatura entrada del aire a la bobina (°C)

Ts: Temperatura salida del aire a la bobina(°C)

h: Coeficiente convectivo (W/m².K)

T_{amb}, T_∞: Temperatura ambiente (°C)

Ab: Área de la bobina (m²)

ρ: Densidad (kg/m³)

K: Conductividad térmica (W/m.K)

μ: Viscosidad dinámica (N.s/m²)

v: Viscosidad cinemática (m²/s)

Pr: Numero de Prandtl

Fs: Factor de seguridad

F: Factor de pérdida en ductos

M_{maximo}: Momento flector máximo Kg.m

V: Fuerza de corte (Kgf)

E: Modulo de elasticidad (Kg/mm)

P_{sold} : Carga aplicada en la soldadura (Kg)

Fv: Esfuerzo por corte directo en soldadura (Kg/cm)

F_M : Esfuerzo flector en soldadura (Kg/cm)

A_w : Longitud total del cordón de soldadura (mm)

T_s : Espesor efectivo de la garganta (mm)

S_u : Esfuerzo último (Kg/cm²)

D_e : Espesor nominal de la soldadura (mm)



INDICE GENERAL

INDICE DE TABLAS	xv
INDICE DE FIGURAS	xvi
INTRODUCCION	1
CAPÍTULO I “DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA“	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.3.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.3.1.Objetivo general	4
1.3.2.Objetivos específicos	5
1.4.JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.6.LIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	6
CAPÍTULO II “MARCO TEÓRICO”	
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	7
2.2 EL ALUMINIO	10
2.2.1 Propiedades físicas del aluminio.	10
2.2.2 Propiedades químicas del aluminio.	11
2.2.3 Propiedades mecánicas del aluminio.	11
2.2.4 Constantes del aluminio	11
2.2.5 Generalidades de las aleaciones de aluminio	12
2.2.6 Nomenclatura de las aleaciones de aluminio	13
2.3. ALEACIÓN DE ALUMINIO AA-8011	15
2.4. ENSAYOS DE TRACCION	15
2.5. TERMODINÁMICA Y TRANSFERENCIA DE CALOR	16
2.6. DEFINICIÓN DE ESTADO DEL CUERPO	17
2.7. NÚMEROS ADIMENSIONALES	18
2.7.1 Número de Reynolds (Re)	18



2.7.2	Número de Nusselt (Nu)	18
2.7.3	Número de Prandtl (Pr)	19
2.8	MODOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR	19
2.8.1	Conducción	20
2.8.2	Convección	20
2.8.2.1	Flujo a lo largo de una placa plana	21
2.8.2.2	Flujo a través de un ducto	21
2.8.2.3	Flujo alrededor de un cilindro	22
2.8.3	Radiación	22
2.9	DISEÑO DE RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE	23
2.9.1	Conductos de aire	23
2.9.2	Impulsión de aire	24
2.9.3	Diseño de conductos	24
2.9.4	Métodos de dimensionamiento	25
2.10	ESFUERZOS EN VIGAS	25
2.10.1	Diagrama de cuerpo libre	25
2.10.2	Fuerza cortante y momento flexionante en vigas	26
2.10.3	Esfuerzo por corte directo	27
2.11	GENERALIDADES DE SOLDADURA	27
2.11.1	Soldaduras de Filete	27
2.11.2	Electrodos para soldadura	28
2.11.3	Esfuerzos admisibles en soldaduras	29
CAPÍTULO III “MARCO METODOLÓGICO”		
3.1.	NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	31
3.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	31
3.3.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	32
3.3.1.	FASE 1: Investigación bibliográfica	32
3.3.2.	FASE 2: Diagnóstico de la situación actual	32
3.3.3	FASE 3 Diseño de las propuestas	33



3.3.4. FASE 4: Selección del sistema de enfriamiento más adecuado para las necesidades de la Empresa	33
3.3.5. FASE 5: Estudio Económico	34
3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA	34
3.5. TIPO DE MUESTREO	34
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	35
3.7. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS	36
CAPÍTULO IV “DESARROLLO DE LA INVESTIGACION”	
4.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	37
4.1.1 El proceso productivo	37
4.1.2 El sistema de enfriamiento actual	41
4.1.3 Recolección de información	43
4.1.4 Delimitación y ubicación del sistema a diseñar	45
4.1.5 Parámetros de diseño	48
4.1.6 Recursos humanos y materiales disponibles	50
4.2 ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL MATERIAL	51
4.2.1 Comportamiento Teórico de la Aleación de Aluminio AA-8011 al temple	52
4.2.2 Comportamiento Experimental del la aleación de aluminio AA-8011 al temple	52
4.2.2.1 Procedimiento experimental	53
4.2.2.2 Valores obtenidos y Discusión de resultados	59
4.3 DISEÑO DE LAS PROPUESTAS	62
4.3.1 Propuesta N°1	62
4.3.2 Propuesta N°2	64
4.3.3 Propuesta N°3	65
4.3.4 Propuesta N°4	67
4.4 SELECCIÓN DE LA MEJOR SOLUCIÓN	68
4.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.	70



4.5.1 Comportamiento térmico del sistema de enfriamiento actual	70
4.5.1.1 Condiciones ambientales a los que se someterá el material una vez salga de los hornos de recocido	71
4.5.1.2 Variación de temperatura de la bobina durante el proceso de enfriamiento	71
4.5.1.3 Variación de temperatura del aire de suministro durante el proceso de enfriamiento	72
4.5.1.4 Flujo de aire suministrado por el conjunto de ventiladores y comportamiento del mismo alrededor de la bobina	72
4.5.2 Modificaciones del sistema de enfriamiento seleccionado	77
4.5.3 Calor emitido por una bobina durante su enfriamiento	78
4.5.4 Flujo másico de aire requerido por el sistema	79
4.5.5 Descripción del sistema de enfriamiento	80
4.5.5.1 Sistema de soporte	80
4.5.5.2 Sistema de enfriamiento	81
4.5.6 Diseño de la red de distribución de aire para el sistema de enfriamiento de bobinas	83
4.5.7 Calibre de los ductos	87
4.5.8 Soportes de los ductos	87
4.5.9 Selección de las rejillas	88
4.5.10 Determinación de camino crítico del sistema de suministro	89
4.5.11 Selección del ventilador	90
4.5.12 Comportamiento térmico del sistema de enfriamiento diseñado	92
4.5.12.1 Flujo de aire suministrado y comportamiento alrededor de la bobina.	93
4.5.12.2 Velocidad de aire de suministro	93
4.5.12.3 Determinación de números adimensionales para placa de espesor $2L$	96



4.5.12.4 Determinación de números a dimensionales para cilindro largo	97
4.5.13 Diseño y cálculos de las estibas de soporte del sistema de enfriamiento propuesto	99
4.5.13.1 Análisis de fuerzas aplicadas	100
4.5.13.2 Diagrama de cuerpo libre	101
4.5.13.3 Diagrama de corte y diagrama de momento aplicado a la viga	102
4.5.13.4 Selección de perfil de viga	103
4.5.13.5 Diseño de la columna a compresión y pandeo	106
4.5.13.6 Refuerzos en las estibas	111
4.5.14 Diseño y cálculos de la soldadura en el sistema de estibas	112
4.5.14.1 Diseño de la soldadura.	113
4.6 ESTUDIO ECONÓMICO	118
4.6.1 Rentabilidad de la instalación del nuevo sistema de enfriamiento	118
4.6.2 Flujos monetarios asociados	118
4.6.3 Inversión inicial (II)	118
4.6.4 Estimación de ingresos	121
4.6.5 Estimación de costos	122
4.6.6 Valor residual (VR)	123
4.6.7 Determinación del valor actual (VA)	123
4.6.8 Tiempo de pago (Tp)	125
CONCLUSIONES	127
RECOMENDACIONES	129
BIBLIOGRAFIA	131
APÉNDICES	
ANEXOS	
PLANOS	

**INDICE DE TABLAS**

Tabla 2.1.- Nomenclatura de las aleaciones según su componente principal	13
Tabla 2.2.- Compatibilidad de Electrodo	29
Tabla 2.3.- Esfuerzos Admisibles en Soldaduras a Filete	29
Tabla 4.1.- Bobinas procesadas en los meses de Julio y Agosto de 2007	44
Tabla 4.2.- Condiciones del sistema de enfriamiento actual	48
Tabla 4.3.- Propiedades mecánicas requeridas del producto Foil Stock	50
Tabla 4.4.- Recursos disponibles para el rediseño del sistema de enfriamiento	50
Tabla 4.5.- Resultados ensayos de tracción N° 2	60
Tabla 4.6.- Resultados ensayos de tracción N° 3	61
Tabla 4.7.- Puntuación dada a cada criterio considerado	69
Tabla 4.8.- Puntuación total de cada solución	69
Tabla 4.9.- Temperatura del aire suministro a la salida de la bobina	72
Tabla 4.10.- Análisis del flujo de aire alrededor de la bobina para el sistema actual	73
Tabla 4.11.- Propiedades térmicas del aire	74
Tabla 4.12.- Resultados obtenidos del análisis térmico del sistema de enfriamiento actual	75
Tabla 4.13.- Características de los ductos sección A.	84
Tabla 4.14.- Características de los ductos sección B.	86
Tabla 4.15.- Espesor de lamina para construcción de ductos rectangulares.	87
Tabla 4.16.- Soportes para ductos rectangulares.	88
Tabla 4.15.- Datos para selección de rejillas.	89
Tabla 4.16.- Características de las rejillas	89
Tabla 4.17.- Camino y tramos que lo conforman, para ambas secciones	90
Tabla 4.18.- Disponibilidad requerida para el ventilador de suministro de aire del sistema.	91
Tabla 4.19.- Análisis del flujo de aire alrededor de la bobina para el sistema propuesto	94
Tabla 4.20.- Resultados obtenidos del análisis térmico del sistema de enfriamiento diseñado	95



Tabla 4.21.- Costos relativos al sistema de soporte	119
Tabla 4.22.- Costos generados por el sistema	123



INDICE DE FIGURAS Y GRAFICAS

Figura 1.1.- Bobinas de Aluminio	2
Figura 1.2.- Dimensiones máximas y mínimas de las Bobinas de Aluminio	3
Figura 2.1.- Constantes del aluminio	12
Figura 2.2.- Geometría de la soldadura a realizar	28
Figura 4.1.- Diagrama de flujo del proceso productivo	41
Figura 4.2.- Sistema de enfriamiento actual (modalidad 1)	42
Figura 4.3.- Sistema de enfriamiento actual (modalidad 2)	43
Figura 4.4.- Zona de enfriamiento actual	45
Figura 4.5.- Posible zona de enfriamiento	46
Figura 4.6.- Layout de las zonas de enfriamiento y recorrido del material para cada una.	47
Figura 4.7.- Gancho puente grúa 25TON Nave “A”	51
Figura 4.8.- Puente grúa 25TON Nave “A”	51
Figura 4.9.- Diagrama del procedimiento experimental	54
Figura 4.10.- Cortadora de láminas marca Tensilkut	55
Figura 4.11.- Probeta de tracción normalizada	55
Figura 4.12.- Molde para entallar las probetas destinadas a ensayos de tracción	56
Figura 4.13.- Horno para calentamiento de probetas	56
Figura 4.14.- Probetas enfriadas con nitrógeno líquido	57
Figura 4.15.- Probetas enfriadas con nitrógeno líquido	57
Grafico 4.1.- Ciclo térmico del recocido aplicado en la empresa CVG Alucasa	58
Figura 4.16.- Equipo universal de ensayo de materiales GALDABINI	59
Figura 4.17.- Diagrama propuesta N°1, vista lateral	63
Figura 4.18.- Diagrama propuesta N°1, vista frontal	64
Figura 4.19.- Diagrama propuesta N°2	65



Figura 4.20.- Diagrama propuesta N°3, vista lateral	67
Figura 4.21.- Diagrama propuesta N°4, vista lateral	68
Figura 4.22.- flujo de aire alrededor de la bobina para el sistema actual	73
Figura 4.23.- Arreglos de bobinas	80
Figura 4.24.- Estibas fijas y estibas auxiliares	81
Figura 4.25.- Ubicación de la red de ductos	82
Figura 4.26.- Flujo de aire para el sistema propuesto	93
Figura 4.27.- Diagrama propuesta N°4, vista lateral	100
Figura 4.28.- Dimensiones de la viga principal y posiciones de las cargas y reacciones proveniente de las bobinas (vista de planta)	101
Figura 4.29.- Diagrama de cuerpo libre de la viga principal del sistema de estibas	101
Grafico 4.2.- Diagrama de fuerza cortante sobre viga principal de las estibas	102
Grafico 4.3.- Diagrama de Momento sobre viga principal de las estibas	103
Figura 4.30.- Dimensiones del Perfil de Viga	105
Figura 4.31.- Dimensiones de Columnas de Apoyo	107
Figura 4.32.- Dimensiones del Perfil de las columnas	108
Figura 4.33.- Posición de Tubo refuerzo.	112
Figura 4.34.- Posición de plancha de refuerzo.	112
Figura 4.35.- Posición de la soldadura	113
Figura 4.36.- Punto aplicación de la carga	113
Figura 4.37 Posición de la soldadura y aplicación de la carga	114
Figura 4.38.- Geometria de la soldadura a realizar	115
Figura 4.39.- Escala de tiempo con los flujos monetarios asociados al estudio	124
Figura 4.40 .- Escala de tiempo con los flujos monetarios netos	125



INTRODUCCIÓN

CVG ALUCASA, Guacara, es una empresa que se encarga de producir láminas de aluminio de diferentes espesores, según especificaciones de clientes, así como también el papel de aluminio o foil.

En el proceso que se realiza en la planta los lingotes de aluminio son suministrados a los hornos para luego ser pasados por la unidad de colada continua, donde se produce la solidificación del metal, obteniéndose láminas de aluminio de espesor y ancho definido, que al ser enrollados en un carrete forman bobinas. Posteriormente el material de estas bobinas es sometido a continuos procesos de laminación en frío hasta llevarlas a espesores predeterminados.

Durante los procesos de laminación en frío, el material sufre alteraciones en su estructura interna, por lo que es necesario realizarle un recocido, con el objetivo de aliviar las tensiones internas producidas por estos procesos.

Luego de que las bobinas de aluminio son sometidas al proceso de recocido, éstas no pueden continuar en la línea de producción hasta no alcanzar una temperatura lo suficientemente baja para no dañar los rodillos de goma de los laminadores. Actualmente, la manera de enfriamiento de las bobinas y el tiempo que estas requieren para disminuir su temperatura ha conllevado a numerosos retrasos en la producción de la empresa, lo cual ha generado pérdidas económicas y retrasado los deseos de expansión de la empresa.

El objetivo de este Trabajo de Grado centra su atención en el Rediseño de un Sistema de Enfriamiento capaz de llevar la temperatura de las bobinas a los niveles deseados en el mínimo tiempo requerido por la empresa.



CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Aluminios Carabobo, CVG ALUCASA, ubicada en la Zona Industrial Pruinca, Guacara, Edo. Carabobo, es una empresa manufacturera y distribuidora de láminas de aluminio de bajo espesor, para consumo masivo e industrial en mercados nacionales e internacionales; la exigencia de sus clientes y la producción han aumentado con el tiempo, por lo que se ha hecho necesario realizar cambios en todos los sistemas de la empresa para estar acorde de las exigencias del mercado.

La empresa se dedica principalmente a procesar aluminio, utilizando como material estándar la aleación de aluminio AA-8011, del cual se obtiene una amplia gama de productos, tales como: envases para alimentos, papel de aluminio, materia prima para industria de la construcción y productos de alto valor agregado utilizados en la industria alimenticia y farmacéutica.

Los productos mencionados se logran a través de un método de fabricación de laminación en frío de dos etapas, una primera etapa denominada laminación gruesa, seguida de una etapa de laminación fina, obteniéndose láminas de aluminio de espesor y ancho definido que al ser enrolladas en un carrete forman bobinas, como se muestran en la Figura 1.1.



Figura 1.1.- Bobinas de Aluminio

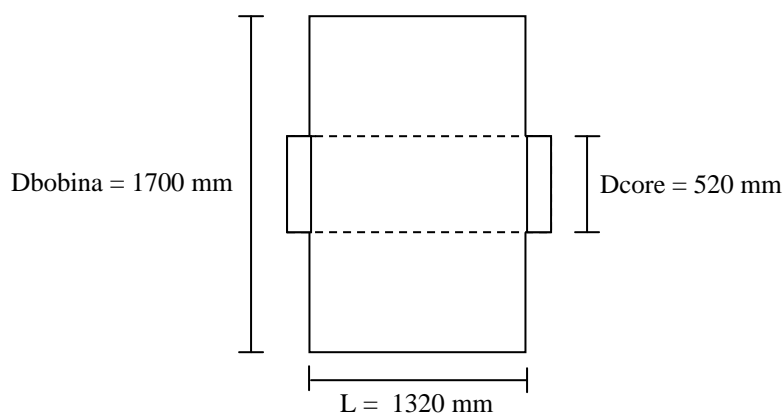


Figura 1.2.- Dimensiones máximas y mínimas de las Bobinas de Aluminio

El proceso de laminado debe realizarse de manera controlada, ya que cuando se procesan láminas de muy bajo espesor se produce endurecimiento del material debido a las tensiones acumuladas en éste, a medida que se reduce el espesor del mismo. Por esta razón, se hace necesario pasar el material por un tratamiento térmico de recocido, con el cual se busca disminuir las tensiones de trabajo, para así continuar con el proceso y garantizar que el producto final sea el deseado.

Actualmente, una de las problemáticas que presenta la empresa, se encuentra después del proceso de recocido, en donde el aluminio laminado y embobinado sale del horno de recocido a una temperatura que varía entre los 335°C y 380°C . El proceso requiere que la temperatura de la bobina descienda hasta 80°C , temperatura a la cual se realizan los procesos de laminación posteriores.

Para realizar el enfriamiento, las bobinas se trasladan, mediante la utilización de un puente grúa, desde la salida de los hornos hasta el área de enfriamiento. En este sitio se dispone de cinco ventiladores que dirigen una corriente de aire hacia el grupo de bobinas de aluminio, acelerando el proceso de intercambio de calor de las bobinas con el medio ambiente. No obstante, dicha corriente no permite el enfriamiento uniforme de cada una de las bobinas, lo



cual obliga a que se deba intercambiar la posición de las mismas cada cierto tiempo. El proceso de enfriamiento requiere 26 horas aproximadamente, lo que genera una parada de la producción debido al estancamiento de material durante el enfriamiento.

Evidentemente, este sistema no se adapta a las necesidades de expansión de la producción de la empresa, pues representa una de las principales limitantes del proceso productivo. En este sentido se requiere un estudio y análisis de los aspectos relacionados con el problema, para así plantear soluciones que permitan disminuir el tiempo de enfriamiento de las bobinas de aluminio sin modificar las propiedades mecánicas requeridas.

1.2.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Dada la necesidad de aplicar un tratamiento térmico de recocido entre los procesos de laminación para lograr las propiedades mecánicas requeridas en los productos de la empresa, y conocidas las razones por las cuales la bobinas deben llegar a una temperatura menor a los 80°C para continuar con el proceso de laminación. Se plantea la siguiente interrogante: ¿Cómo podría disminuirse el tiempo de enfriamiento de las bobinas de aluminio a la salida de los hornos de recocido?

1.3.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1.Objetivo general

- Rediseñar el sistema de enfriamiento actual con el fin de disminuir el tiempo de enfriamiento de las bobinas de aluminio provenientes de hornos de recocido.



1.3.2.Objetivos específicos

- Evaluar el proceso de enfriamiento de bobinas de aluminio que se emplea actualmente en la empresa.
- Determinar el menor tiempo de enfriamiento de la aleación de aluminio AA-8011 después del recocido que permita la obtención de las propiedades mecánicas requeridas en la empresa.
- Determinar el método de enfriamiento adecuado a utilizar.
- Realizar el diseño mecánico y térmico del sistema de enfriamiento de las bobinas de aluminio.
- Realizar el estudio económico del sistema diseñado.

1.4.JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Teniendo en cuenta los aspectos mencionados anteriormente, el presente trabajo de grado se realizará con finalidad de mejorar el sistema de enfriamiento de bobinas existente en la empresa, para así disminuir el tiempo de parada de la producción que este genera, lo cual representa una de las principales limitantes de la capacidad de producción de la misma.

Para la Universidad de Carabobo, ésta investigación le dará la oportunidad una vez más de destacarse como una institución que forma profesionales capaces de resolver problemáticas en el ámbito industrial.



Para los autores, el desarrollo de esta investigación representa la oportunidad de complementar los conocimientos teóricos adquiridos durante la carrera con la aplicación práctica en la industria.

1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

- El sistema se planteará sólo para el enfriamiento de bobinas provenientes del proceso de recocido, no se planteará para enfriamiento de las bobinas provenientes de otros procesos.
- Sólo se realizará el diseño y estudio económico del sistema de enfriamiento de bobinas, su implementación quedará por parte de la empresa.
- El sistema de enfriamiento debe ser capaz de operar dentro de un intervalo que permita el enfriamiento de cualquier bobina con la que trabaje la empresa, desde la de menor tamaño a la de mayor tamaño.
- El sistema de enfriamiento no debe cambiar las propiedades mecánicas del aluminio requeridas por la empresa.

1.6. LIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

- Disponibilidad de equipos para la realización de la toma de datos y realización de pruebas en la empresa CVG Alucasa.
- Espacio disponible para la ubicación del sistema de enfriamiento de las bobinas.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El presente capítulo consiste en una recopilación teórica de los tópicos más resaltantes a tomar en cuenta en la realización de la investigación. La primera parte del capítulo expone algunos trabajos de grado realizados con anterioridad que guardan relación directa con el problema estudiado.

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Antecedente N°1. Lugo, A. y Pinto, G. (1994). *Diseño de un sistema de enfriamiento para bobinas de aluminio.* Trabajo de grado no publicado. Universidad de Carabobo, Valencia.

El trabajo tuvo como objetivo principal el diseño de un túnel de enfriamiento para bobinas de aluminio. Al finalizar la investigación las conclusiones más resaltantes fueron: Primero, que teóricamente la velocidad con la que debe circular el aire a través del ducto formado por la pared del túnel y la superficie exterior de la bobina debe ser de 10 m/s y la temperatura del mismo a la entrada del túnel debe ser de 15°C, para que teóricamente el tiempo de enfriamiento de tres bobinas sea de 13 horas. Segundo, teóricamente el calor total que debe disipar la carga formada por tres bobinas de aluminio para bajar su temperatura de 325°C a 40°C es de 6.574.592,5 KJ.

Antecedente N°2. Bastidas, R. y Gómez, W. (2004). *Rediseño de un sistema de enfriamiento para botellas de salsa de tomate en una empresa productora de alimentos.* Trabajo de grado no publicado. Universidad de Carabobo, Valencia.

El trabajo se basó en el rediseño de un sistema de enfriamiento para botellas de salsa de tomate en una empresa productora de alimentos, con el objeto de ahorrar el agua desechada durante el proceso de enfriamiento, además de realizar el redimensionamiento del túnel de



enfriamiento para aumentar la producción. El trabajo incluye la determinación de las variables fundamentales en el proceso de enfriamiento, como el calor generado por cada una de las botellas de salsa de tomate, el caudal de agua de enfriamiento y la variación de la temperatura del agua de enfriamiento. Con la determinación de las variables fundamentales se seleccionaron los equipos para el rediseño, para concluir finalmente, que el proyecto fue rentable y generará un incremento de los ingresos de la empresa.

Antecedente N°3. Cordero, R. y Von Steinberg, B. (2005). *Influencia de la temperatura y tiempo de recocido sobre las propiedades mecánicas del aluminio AA8011, obtenidas en los ensayos de compresión plana, tracción y dureza.* Trabajo de grado no publicado. Universidad de Carabobo, Valencia.

En general, el objetivo de la investigación fue analizar el efecto que produce la temperatura y tiempo de recocido sobre las propiedades mecánicas obtenidas del aluminio 8011 mediante los ensayos de tracción, dureza y compresión plana. El estudio se realizó partiendo de láminas de 6mm de espesor fabricadas por medio de un proceso de colada continua de doble rodillo a las cuales se les realizó un tratamiento térmico de homogenización, para luego someter las piezas a un recocido a tres temperaturas diferentes con cuatro combinaciones de tiempos.

Del estudio se obtuvieron como principales conclusiones: que el tratamiento térmico de homogenización es necesario para poder lograr una micro estructura organizada de la matriz, eliminando la deformación previa del material producto de la colada continua, por lo que las características mecánicas fueron mejoradas. La aleación presenta poca susceptibilidad al tratamiento térmico de recocido cuando la muestra se encuentra en condiciones de homogenizado (sin deformación previa). La aleación al aumentar la temperatura y el tiempo de permanencia en el horno, presenta formación incremental de partículas de precipitado hasta producir una coalescencia, lo que provoca un endurecimiento de la misma.



Antecedente N°4. Torres Duc, T. (2006). *Caracterización de la aleación de Aluminio AA8011 proveniente de colada continua de doble rodillo, sometida a un recocido de estabilización.* Trabajo de grado no publicado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Se realizó un estudio cualitativo y semi-cuantitativo de la evolución micro estructural y la cinética de recristalización mediante recocido y homogenizado del producto de colada continua de la aleación de aluminio AA8011, para evaluar el comportamiento del material en los procesos posteriores de laminación para la óptima obtención de “foils” de 7 y 8 μm de espesor. El material proveniente de colada continua fue sometido a recocidos isotérmicos y escalonados a diferentes tiempos y temperaturas y a un homogenizado a 500°C a diferentes tiempos, todos ellos realizados a escala de laboratorio.

La respuesta de la aleación a los distintos recocidos fue evaluada mediante el estudio de las propiedades mecánicas de esfuerzo máximo, porcentaje de elongación y dureza, la evolución micro estructural de los precipitados y la heterogeneidad en la morfología y el tamaño de grano de las muestras.

En líneas generales, se obtuvo una ligera disminución en el esfuerzo, un incremento significativo en la elongación y una ligera disminución en la dureza del material luego de los distintos tratamientos térmicos aplicados. En cuanto al análisis micro estructural, los constituyentes insolubles de la aleación presentaron una gran susceptibilidad a cambios morfológicos, apreciándose una significativa dispersión y redistribución heterogénea de las fases intermetálicas presentes en el material, provenientes del producto de colada.

También se observó heterogeneidad en cuanto a forma y tamaño de grano final en cada tratamiento térmico realizado a la aleación debido al grado de deformación crítico proveniente de colada, y a la concentración heterogénea de las fases presentes en el material, lo que genera un crecimiento de grano moderado.



Concluyéndose de esta manera que el homogenizado a 500°C por 3 horas es el tratamiento térmico más efectivo realizado para la obtención de “foils” de 7 y 8 μm de espesor, con las propiedades mecánicas y características micro estructurales deseadas para la aleación de Aluminio AA8011.

2.2. EL ALUMINIO

^[a] El aluminio es uno de los principales componentes de la corteza terrestre conocida, de la que forma parte en una proporción del 8,13%, superior a la del hierro, que se supone es de un 5%, y solamente superada entre los metales por el silicio (26,5%). El aluminio no se encuentra puro en la naturaleza, sino formando parte de los minerales, de los cuales los más importantes son las bauxitas, que están formadas por un 62-65% de alúmina (Al_2O_3), hasta un 28% de óxido de hierro (Fe_2O_3), 12-30% de agua de hidratación (H_2O) y hasta un 8% de sílice (SiO_2).

2.2.1 Propiedades físicas del aluminio.

El aluminio es un metal blanco brillante, que pulido semeja a la plata. Cristaliza en red cúbica centrada en las caras (FCC). Su peso específico es igual a 2,699, es decir, casi 1/3 del hierro (7,87). El único metal industrial más ligero que el aluminio es el magnesio, de peso específico 1,74. Su conductividad eléctrica es un 60% de la del cobre y 3,5 veces mayor que la del hierro. Su punto de fusión es 660°C y el de ebullición 2.450°C. Este punto de fusión relativamente bajo, unido a su punto de ebullición bastante alto facilita su fusión y moldeo.



2.2.2 Propiedades químicas del aluminio.

La propiedad química más destacada del aluminio es su gran afinidad con el oxígeno, por lo que se emplea entre otras cosas, para la desoxidación de los baños de acero, para la soldadura aluminio-térmica ($\text{Al} + \text{Fe}_2\text{O}_3$), para la fabricación de explosivos, etc.

A pesar de esto, y aunque parezca un contrasentido, el aluminio es completamente inalterable en el aire, pues se recubre de una delgada capa de óxido, de algunas centésimas de micra, que protege el resto de la masa de la oxidación. Debido a esta película protectora, resiste también a la acción del vapor de agua, el ataque nítrico concentrado y muchos otros compuestos químicos. En cambio, es atacado por el ácido sulfúrico, el clorhídrico, el nítrico diluido y las soluciones salinas

2.2.3 Propiedades mecánicas del aluminio.

Las propiedades mecánicas del aluminio más interesantes son su débil resistencia mecánica, y su gran ductilidad y maleabilidad, que permite forjarlo, trefilarlo en hilos delgadísimos y laminarlo en láminas o panes tan finos como los del oro, hasta de un espesor de 0,0004 mm (0,4 micras). A la temperatura de 500°C se vuelve frágil y se puede pulverizar fácilmente.

2.2.4 Constantes del aluminio

En la tabla a continuación se presentan algunos de los valores que son constantes en el aluminio



Propiedad	Valor
Símbolo	Al
Numero atómico	26,68
Cristalización en la red cúbica en las caras	Lado $a=4,04^{-8}$ cm
Peso específico	2,699
Conductividad eléctrica a 20°C	34,6 m/Ohm.mm ²
Resistividad eléctrica a 20°C	2,655 microhms.cm ² /cm
Conductividad Calorífica a 0°C	0,53 cal/cm X. S °C
Punto de fusión	660°C
Calor latente de fusión	94,5 Calorías/gr
Calor específico medio	0,215 cal/g.°C
Punto de ebullición	2450°C

Fuente: <http://grupos.unican.es/gidai/asignaturas/CI/Aluminio.pdf>

Figura 2.1.- Constantes del aluminio

2.2.5 Generalidades de las aleaciones de aluminio

^[b] Las aleaciones de aluminio se hacen con varios metales y combinaciones. El gran alcance de las aleaciones ofrece a la industria una variedad sumamente amplia de combinaciones:

- Resistencia mecánica.
- Ductibilidad.
- Conductividad eléctrica.
- Resistencia a la corrosión.

Naturalmente, en una combinación no pueden combinarse las propiedades óptimas para cada aplicación, siendo necesario conocer las ventajas y limitaciones de cada aleación para poder hacer la mejor selección.

Por ejemplo, al agregarse:



- Manganeso: aumenta la resistencia al fraguado.
- Magnesio y Silicio: usados juntos o separados imparten a las aleaciones características anticorrosivas con una resistencia parecida a la del acero dulce.
- Cobre y Zinc: se aplican cuando se desea obtener aleaciones con la mayor relación posible entre resistencia y peso.
- Otros como el Níquel, Cromo, Titanio, Cadmio y Estaño: se usan en pequeñas cantidades para refinar el grano del aluminio o para impartirle características especiales.

2.2.6 Nomenclatura de las aleaciones de aluminio

El gran número de las aleaciones de aluminio produce un problema de considerable magnitud sobre la nomenclatura. Por ésta razón se agrupan las mismas de acuerdo a su aleante principal, en 8 grupos a los que se les ha asignado un número de acuerdo con el cuadro siguiente.

Tabla 2.1.- Nomenclatura de las aleaciones según su componente principal

COMPONENTE PRINCIPAL	NUMERO DE GRUPO DE ALEACIÓN
Aluminio sin alear 99%	1
Cu	2
Mn	3
Si	4
Mg	5
Mg, Si	6
Zn	7
Otros	8

Fuente: www.aluminum.org.au

Se hará con un número de 4 cifras: XXXX (1 2 3 4)

1. La primera cifra, establecerá el grupo a que pertenece la aleación y se toma del cuadro ya descrito.



2. La segunda cifra designa modificaciones que se han realizado a las aleaciones ya establecidas. Cuando es cero (0) corresponde a la aleación original.
3. Las dos últimas cifras servirán para numerar las aleaciones, haciéndose notar que no pertenecen al orden cronológico de su establecimiento.

La nomenclatura anterior es capaz de abarcar hasta 8.00 aleaciones en total, 100 por cada grupo y 10 modificaciones por aleación. En general poseen las siguientes características:

- Aleación del grupo 1: 1060, 1100, 1200, 1145, etc. El elemento principal es el Aluminio (no son puras) su propiedad principal es la buena resistencia a la corrosión.
- Aleación del grupo 2: 2024, 2017, etc. El elemento principal es el Cobre. Es una aleación muy dura, su propiedad principal es su alta resistencia mecánica.
- Aleación del grupo 3: 3003, 3004, 3105, etc. El elemento principal es el Manganeseo. Es una aleación con buena resistencia mecánica y con una moderada resistencia a la corrosión.
- Aleación del grupo 4: 4045, etc. Principal elemento aleante el Silicio. Buenas propiedades anticorrosivas.
- Aleación del grupo 5: 5052, 5082, etc. Principal elemento aleante el Magnesio. Es una aleación con buenas propiedades mecánicas, son utilizadas en la industria aeroespacial.
- Aleación del grupo 6: 6351, 6063, 6061, etc. Principales elementos aleantes el Magnesio y el Silicio. Utilizados para aplicaciones arquitectónicas y estructurales. Son aleaciones tratables térmicamente para aumentar sus propiedades mecánicas.
- Aleación del grupo 7: 7075, 7005, etc. Principal elemento aleante el Zinc. Buenas propiedades ante la corrosión marina.
- Aleación de grupo 8: 8011, 8111, etc. Son aleaciones experimentales, no tienen elemento principal.



2.3. ALEACIÓN DE ALUMINIO AA-8011

La aleación de aluminio 8011 corresponde a la serie 8XXX. Es conveniente destacar que esta serie, difiere un poco en cuanto a su composición química con las series utilizadas en la clasificación de estas aleaciones por no presentar elementos aleantes comunes para cada una de las denominaciones de la serie. Sin embargo, por su contenido de Fe y Si como principales elementos aleantes, se pueden comparar con las aleaciones de la serie 1XXX, como por ejemplo la aleación 1100, la cual presenta contenidos similares de Fe y Si.

En cuanto al Si, se encuentra que es soluble en el aluminio hasta 1,65% a la temperatura eutéctica de 577°C. Aunque son teóricamente susceptibles al temple estructural, estas aleaciones no se someten a este tratamiento pues prácticamente no se consiguen mejoras significativas. La adición de Si mejora la resistencia mecánica de la aleación sin reducir de modo notable la ductilidad, por otra parte no reduce la resistencia a la corrosión por lo que se consideran medianamente resistentes.

El Fe siempre se presenta como una impureza en el aluminio, su incidencia en las propiedades es relativamente marcada. Es conocido que el Fe aumenta ligeramente la resistencia a la tracción, fluencia y alargamiento.

La serie 8XXX ha sido muy utilizada en Europa y hace algunos años fue desarrollada en Venezuela la aleación 8011, por la empresa CVG Alucasa y es utilizada en la elaboración de papel doméstico (foil), aletas de radiadores, foil para fabricar evaporadores y membranas para cierres de los envases de productos alimenticios.

2.4. ENSAYOS DE TRACCION

Para conocer las cargas que pueden soportar los materiales y medir su comportamiento en distintas situaciones, se efectúan ensayos mecánicos. El ensayo destructivo más importante



es el ensayo de tracción, en donde se coloca una probeta en una máquina de ensayo consistente de dos mordazas, una fija y otra móvil. Se procede a medir la carga mientras se aplica el desplazamiento de la mordaza móvil, a partir de los resultados obtenidos se emplean las siguientes expresiones matemáticas para establecer las propiedades mecánicas del material.

- **Esfuerzo de trabajo**

$$\sigma = \frac{Carga_{aplicada}}{Area_{transversal}} \quad Ec. 1$$

σ : Esfuerzo de trabajo (kg/mm²).

Carga: correspondiente al valor observado u obtenido en el registro del equipo

A: Área inicial de la sección transversal original (mm²).

- **Porcentaje de Elongación**

$$\%E = \frac{Lf - Lo}{Lo} \cdot 100 \quad Ec. 2$$

Lo: Longitud inicial de Referencia

Lf: Longitud final después del ensayo

2.5. TERMODINÁMICA Y TRANSFERENCIA DE CALOR

^[10] La Termodinámica estudia la cantidad de calor puesta en juego cuando el sistema pasa de un estado de equilibrio a otro. No se ocupa del tiempo que transcurre ni de los estados de no equilibrio. La Transferencia de calor estudia la velocidad de transferencia de calor entre dos sistemas. Trata los estados de no equilibrio.



El requisito indispensable para que tenga lugar la transferencia de calor entre dos sistemas es la existencia de una diferencia de temperatura entre ellos. La transferencia de calor se produce desde el sistema de temperatura alta al sistema de temperatura baja. Cuanto mayor es el gradiente de temperatura mayor es la velocidad de transferencia de calor.

2.6. DEFINICIÓN DE ESTADO DEL CUERPO

Para realizar el cálculo del tiempo de enfriamiento, primeramente se requiere definir el estado de transferencia de calor del cuerpo, donde a través del N° de BIOT se podrá especificar si la bobina se encuentra en estado uniforme o transitorio.

El numero de BIOT queda definido como

$$N^{\circ} BIOT = \frac{\text{Resistencia a la conduccion}}{\text{Resistencia a la conveccion}}$$

$$N^{\circ} BIOT = \frac{L_c \cdot h}{k_{aluminio}} \quad Ec. 3$$

Siendo

k: Conductividad del material

h: coeficiente de convección

Lc: Longitud corregida

La longitud corregida se define como

$$L_c = \frac{\text{volumen}}{\text{Area superficial}} \quad Ec. 4$$



2.7. NÚMEROS ADIMENSIONALES

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

2.7.1 Número de Reynolds (Re)

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

$$Re = \frac{\rho \cdot V_2 \cdot L}{\mu} \quad Ec. 5$$

Donde

V: Velocidad del fluido en la superficie obtenida con el velocímetro

L: longitud de la pared plana análoga

ρ : Densidad del fluido

μ : Viscosidad dinámica

2.7.2 Número de Nusselt (Nu)

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

$$Nu = \frac{h \cdot Lc}{k} \quad Ec. 6$$



Donde:

Lc: longitud característica.

h: coeficiente convectivo local

k: conductividad térmica del cuerpo.

2.7.3 Número de PRANDTL (Pr)

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

$$Pr = \frac{\text{difusividad molecular de la cantidad de movimiento}}{\text{difusividad molecular del calor}}$$

$$Pr = \frac{\mu \cdot Cp}{k} \quad Ec. 7$$

Donde:

μ : viscosidad dinámica del fluido

Cp: calor específico del cuerpo

k: conductividad térmica del cuerpo.

2.8 MODOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

^[5] La forma de energía que se transfiere de un sistema a otro debido a una diferencia de temperatura entre los dos sistemas se denomina Calor. Este puede transferirse de tres formas: por conducción, por convección y por radiación. Todos los otros modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos



ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja. Enseguida se da una breve descripción de cada modo.

2.8.1 Conducción

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre las partículas. La conducción puede tener lugar en sólidos, líquidos y gases. La velocidad de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de este, su espesor y el material de que este hecho, así como de la diferencia de temperatura a través de él.

2.8.2 Convección

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. En ausencia de cualquier movimiento masivo de fluido, la transferencia de calor entre la superficie sólida y el fluido adyacente es conducción pura.

La convección se clasifica en natural y forzada. En la convección forzada se obliga al fluido a desplazarse mediante medios externos, como un ventilador o una bomba. En la convección natural el movimiento del fluido es debido a causas naturales, como el efecto de flotación, el cual se manifiesta con la subida del fluido caliente y el descenso del fluido frío. Para ambos casos se debe determinar el coeficiente convectivo que existe entre el cuerpo y el fluido, determinando las correlaciones existentes dependiendo del caso en estudio.



El coeficiente convectivo se determinará mediante la siguiente expresión:

$$h = \frac{Nu \cdot K_{\text{fluido}}}{Lc} \quad \text{Ec. 8}$$

2.8.2.1 Flujo a lo largo de una placa plana

^[10] Se considera el flujo paralelo de un fluido sobre una placa plana de longitud L , en la dirección del flujo, el mismo posee una transición de laminar hacia turbulento a medida que recorre la superficie de la placa. Para este análisis se requiere hallar el coeficiente de fricción superficial local, este para flujo turbulento se expresa a través de la siguiente ecuación:

$$C_{Fx} = \frac{0,455}{(\ln 0,06Re)^2} \quad \text{Ec. 9}$$

Posteriormente se determina el número de Nusselt local a través de la ecuación de White para la transferencia de calor a través de una capa límite turbulenta.

$$Nu_D = \frac{(C_{Fx}/2) \cdot Re \cdot Pr}{1 + 12,7 \cdot (C_{Fx}/2)^{1/2} \cdot (Pr^{2/3} - 1)} \quad \text{Ec. 10}$$

2.8.2.2 Flujo a través de un ducto

Se considera el flujo de un fluido que atraviesa un ducto de radio (r), en la dirección del flujo. A medida que recorre el interior del cilindro se desarrolla el flujo turbulento. Para este análisis se requiere hallar el factor de fricción, el cual se obtiene a partir de la utilización de un diagrama de Moody o bien a partir de la fórmula de Petukhov:

$$F = (0,790 \cdot \ln(Re) - 1,64)^{-2} \quad \text{Ec. 11}$$



Para posteriormente determinar el número de Nusselt mediante la fórmula de Gnielinski:

$$Nu_D = \frac{(F/8) \cdot (Re - 1000) \cdot Pr}{1 + 12,7 \cdot (F/8)^{1/2} \cdot (Pr^{2/3} - 1)} \quad Ec. 12$$

2.8.2.3 Flujo alrededor de un cilindro

Se considerara para esta configuración el flujo de un fluido que se forma alrededor de un cilindro de radio (r), en la dirección del flujo. Para este análisis se requiere hallar el factor de fricción, el cual se obtiene a partir del desplazamiento del fluido, donde se desarrolla un flujo turbulento de difícil descripción pues se forman vórtices que afectan el análisis de este fenómeno. El número de Nusselt promedio para $Pr > 5$ y Reynolds en un rango entre 4×10^5 y 5×10^6 , viene dado por una complicada correlación propuesta por Churchill y Bernstein

$$Nu_D = 0,3 + \frac{0,62 \cdot Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3}}{[1 + (0,4/Pr)^{2/3}]^{1/4}} \cdot \left[1 + \left(\frac{Re}{282000} \right)^{5/8} \right]^{4/5} \quad Ec. 13$$

2.8.3 Radiación

La radiación es la energía emitida por la materia en la forma de ondas electromagnéticas, como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de energía por radiación no requiere la presencia de un medio interpuesto. De hecho, la transferencia de energía por radiación es la más rápida y no sufre atenuación en el vacío. En los estudios de transferencia de calor es de interés la radiación térmica, que es la forma de radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura. Todos los cuerpos a una temperatura por encima del cero absoluto emiten radiación térmica.



El estudio de la radiación se realizará a partir de la definición de una superficie de emisividad ε y área superficial A , que se encuentra a una temperatura absoluta T , la misma está completamente encerrada por una superficie mucho mayor que se encuentra a una temperatura T_{alred} y separada por el aire que no interviene con la radiación. La expresión que se presenta a continuación relaciona estos parámetros y permite determinar el calor emitido por un cuerpo a través de la radiación

$$Q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad Ec. 14$$

Donde

ε : Emisividad del aluminio

σ : Constante de boltz-mann ($W/m^2 \cdot K^4$)

A_s : Área superficie de la bobina (m^2)

T_s : Temperatura promedio de la bobina (K)

T_{alred} : Temperatura ambiente (K)

2.9 DISEÑO DE RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE

[7] El aire de un sistema de ventilación forzada circula por una red de conductos que lo distribuye por toda la instalación. La red de conductos precisa dividirse en varias ramificaciones que abarquen toda la instalación. Al final de cada ramificación, antes de llegar a su destino, se instalan elementos impulsores. Su misión es conseguir que el aire procedente de los conductores no se introduzca de una manera brusca al punto, sino que, al llegar se produzca una difusión adecuada.

2.9.1 Conductos de aire

Los conductos de aire pueden ser rectangulares o circulares. Cualquier tipo de material empleado en la construcción de conductos debe tener la propiedad de no propagar fuego, no desprender gases tóxicos en caso de incendio y, además, ser capaz de resistir



mecánicamente los esfuerzos producidos por su peso, las manipulaciones a las que sean sometidos y las variaciones producidas por el paso del aire por su interior.

El aire sale de la unidad de ventilación a través de un conducto principal, el cual se va dividiendo en otros conductos más pequeños, y así sucesivamente hasta llegar a los puntos de consumo. Esta red, que se asemeja a las ramas de un árbol, va disminuyendo el tamaño de los conductos en cada derivación conjuntamente con el caudal que circula por ellos. El correcto diseño de la red de conductos conseguirá que el aire llegue a los impulsores en las condiciones adecuadas de velocidad caudal y presión. Asimismo, evitará que se produzcan ruidos molestos debido a una velocidad inadecuada del aire.

2.9.2 Impulsión de aire

Cuando el aire es transportado hasta el punto a ventilar, se debe distribuir de manera adecuada. Para lograrlo, se utilizan difusores de aire. Normalmente se utilizan impulsores por rejillas, los cuales están formados por una serie de láminas que pueden ser fijas o móviles.

2.9.3 Diseño de conductos

Una red de conductos se calcula para llevar a cada uno de los puntos de la instalación un caudal determinado de aire. Para lograr que ese circule, es preciso colocar un ventilador en la instalación que produzca un incremento de presión en el fluido. Los ventiladores producen incrementos de presión muy pequeños, de modo que un diseño realizado defectuosamente, puede producir que el caudal que circule por cada rama de la instalación no tenga las condiciones adecuadas de presión y velocidad. En el caso de producirse un desajuste en la red de conductos, podrían aparecer ruidos en algún tramo de los mismos, debido a una velocidad elevada y, por tanto, un caudal excesivo, y simultáneamente tener un déficit de caudal en otra zona de la instalación.



2.9.4 Métodos de dimensionamiento

El dimensionado de una red de distribución de aire exige el conocimiento previo del trazado de ésta, de todos sus obstáculos, del material de construcción de los conductos, de los elementos de difusión (rejillas y difusores), de los caudales de aire en cada una de las derivaciones, así como de la temperatura del aire.

La red debe ser simple y económica, buscando un equilibrio entre esta premisa y las necesidades de la instalación.

Para el cálculo de las dimensiones de los conductos se emplea fundamentalmente el método de la “pérdida de presión constante” y el método de la “recuperación estática” mientras que el método de “reducción de velocidad” no se utiliza comúnmente porque para resolver el problema con una precisión razonable, se requiere mucha experiencia y conocer perfectamente el cálculo de conductos. Solamente debe usarse en sistemas muy elementales.

2.10 ESFUERZOS EN VIGAS

^[14] Para realizar el análisis de los esfuerzos sobre las vigas se requiere determinar las relaciones entre el esfuerzo flexionante y los esfuerzos normales por flexión que se producen sobre el elemento, así como también la relación entre la fuerza cortante vertical y los esfuerzos cortantes.

2.10.1 Diagrama de cuerpo libre

El estudio de las fuerzas aplicadas sobre una viga se lleva a cabo mediante los diagramas de cuerpo libre, los cuales basan su estudio determinando el módulo, la dirección y el sentido de las cargas actuantes sobre el objeto en estudio a través de las siguientes ecuaciones:



$$\sum Fx = 0 \quad Ec. 15$$

$$\sum Fy = 0 \quad Ec. 16$$

$$\sum M = 0 \quad Ec. 17$$

2.10.2 Fuerza cortante y momento flexionante en vigas

Una vez halladas las fuerzas actuantes sobre el objeto en estudio se procede a determinar los efectos producidos por las mismas. A pesar de que el comportamiento de la viga varía de una sección a otra, existen dos tipos de efectos claramente diferenciados, la fuerza cortante (V) y el momento flexionante (M). Las definiciones de cada uno de estos se representan a través de las siguientes ecuaciones.

$$V = \left(\sum Y \right)_{izq} \quad Ec. 18$$

Donde el subíndice (izq) pone de manifiesto que en la suma de las componentes verticales, solo se consideran las fuerzas o cargas que actúan en la porción de la viga a la izquierda de la sección en estudio.

$$M = \left(\sum M \right)_{izq} = \left(\sum M \right)_{der} \quad Ec. 19$$

Donde el subíndice (izq) poner en manifiesto que el momento se evalúa con las fuerzas de la izquierda y el sub índice (der) se refiere a las fuerzas de la derecha.



2.10.3 Esfuerzo por corte directo

Una vez obtenido el diagrama de corte de la viga sometida a cargas estáticas es necesario establecer los esfuerzos por corte directo aplicados sobre esta, el mismo se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{V}{A} \quad Ec. 12$$

Siendo

V: Fuerza aplicada sobre la viga

A: Área de sección transversal

2.11 GENERALIDADES DE SOLDADURA

^[6] La soldadura es un proceso mediante el cual se unen elementos mecánicos calentándolos hasta el estado fluido o casi fluido y presionándolos o no entre sí.

2.11.1 Soldaduras de Filete

Las soldaduras de filete presentan una sección transversal triangular, que une las caras de dos miembros o planchas colocadas usualmente en ángulo recto. Su tamaño queda definido por la menor dimensión de sus lados, los cuales se ejecutan por lo común iguales, de longitud D.

La garganta de la soldadura de filete es la distancia T_s medida desde la raíz a la recta que une los extremos D, y representa el espesor que resiste al corte.

$$T_s = D \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \quad Ec. 21$$

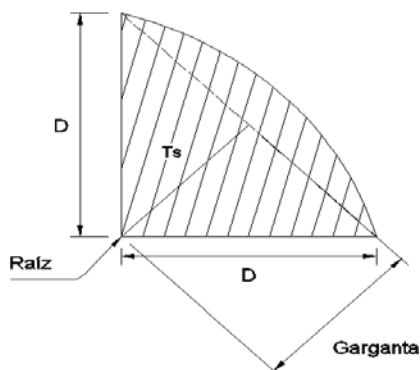


Figura 2.2.- Geometría de la soldadura a realizar

Las soldaduras de filete son las más utilizadas comúnmente, por ser muy versátiles. La distribución de los esfuerzos de este tipo de soldaduras resulta compleja debido a las excentricidades y discontinuidades que origina. Por ello el diseño de las soldaduras de filete se realiza según soluciones aproximadas basadas en la teoría de la elasticidad, o según resultados experimentales de ensayos de laboratorio.

El comportamiento de las soldaduras de filete depende en gran parte de la orientación de su eje longitudinal respecto a la carga, y de la excentricidad existente. Además es importante establecer la longitud efectiva de la soldadura, la cual no es más que la longitud total del cordón, ya sea transversal o longitudinal, en cualquiera de las caras, incluyendo las vueltas o remates obligatorios en las esquinas extremas. Si el cordón sigue una trayectoria curva, su longitud efectiva será la que resulte a lo largo del eje de su garganta.

2.11.2 Electrodo para soldadura

Los electrodos a emplear para soldaduras de arco, están normalizados por la American Welding Society AWS. Al producirse el arco la fusión del extremo del electrodo constituye el metal de aporte depositado, el cual debe elegirse con características similares a las del metal base. Esta condición se denomina compatibilidad de electrodos.



Se dispone en el mercado de una gran variedad de electrodos para poder hacer un ajuste apropiado de las propiedades y características resistentes del metal de aporte, en relación con el metal base. Los parámetros para la selección del electrodo se tomaron a partir de criterios previamente establecidos, en el libro “Proyectos Estructurales de Aceros” presentado por Dra. Ing. Maria Graciela Fratelli. Donde se muestra representa la tabla a continuación.

Tabla 2.2.- Compatibilidad de Electrodos

Metal Base	Electrodos	Máximo F_y del metal base
Sidor PS25, DIN ST37, ASTM	E60XX	
A36, A56, Grado B A375, A500, A501, A529, A570 grados D y E.	E70XX	$F_y \leq 2900$

2.11.3 Esfuerzos admisibles en soldaduras

Los esfuerzos permisibles para las soldaduras a filete sometidas a cargas estáticas, son usualmente los mismos que para el metal base. La tabla a continuación indica estos valores.

Tabla 2.3.- Esfuerzos Admisibles en Soldaduras a Filete

Estado Tensional	Tensión Admisible
Corte en el Área Efectiva	$0,3 F_u$ (electrodo)
Tracción o compresión paralela a eje de la soldadura	La del metal base

Por lo general un cordón de soldaduras está sometido a:

- a- Corte en el área efectiva A_e
- b- Tracción o compresión normal al área efectiva A_e
- c- Tracción o compresión paralela al eje de la soldadura



En una soldadura puede presentarse una combinación de esfuerzos, como por ejemplo corte y flexión, actuando simultáneamente. En un enfoque elástico para analizar este tipo de situaciones, se calcularán independientemente los esfuerzos debidos al corte y a la tracción, y luego se sumarán vectorialmente para obtener el espesor efectivo de la garganta T_s necesario.

La tensión de corte por unidad lineal de cordón es:

$$F_v = \frac{P_{act}}{A_w} \quad Ec. 22$$

Para simplificar el cálculo, T_s se asume igual a la unidad. La tensión a la flexión resulta:

$$F_M = \frac{M \cdot c}{I} \quad Ec. 23$$

Siendo (I) la inercia de la soldadura respecto al eje inercial, la misma se encuentra tabulada según el arreglo de la soldadura.

La tensión resultante será la suma vectorial de ambos esfuerzos:

$$\bar{\sigma}_r = \bar{F}_v + \bar{F}_M$$

Desarrollando modularmente la ecuación anterior

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{P}{A_w} + \frac{M \cdot c}{I}} \quad Ec. 24$$



CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se presenta la metodología de diseño empleada para lograr cumplir con los objetivos planteados, en ella se nombra y explica cada paso a seguir y su importancia para la solución del problema.

3.1. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

[15] De acuerdo a la naturaleza de los objetivos, se le otorgó a la investigación un nivel de estudio descriptivo, pues se desea identificar las características del universo de investigación trabaja sobre realidades de hecho, y su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación está enmarcada dentro de la modalidad denominada Proyecto Factible, y se define como un conjunto de recursos y etapas diseñados para solucionar problemas específicos mediante procesos adecuados. En efecto, la investigación tiene como propósito, el rediseño de un sistema de enfriamiento para bobinas de aluminio, el cual va a satisfacer las necesidades que presenta la Empresa CVG ALUCASA, ubicada en el municipio Guacara del Estado Carabobo.

La primera fase de los proyectos factibles está relacionada con el diagnóstico de la necesidad que lo genera. Este Trabajo Especial de Grado se apoya en una investigación tanto documental como de campo. Por una parte se realizará el análisis teórico de la problemática planteada mediante la revisión de fuentes bibliográficas e información publicada en Internet, con el fin de profundizar en los conocimientos obtenidos en la materia para agregar valor a la temática estudiada. Por otra parte la investigación de campo



consistirá en la recolección de los datos del proceso necesarios para los cálculos de diseño, estos se tomarán directamente de la realidad estudiada.

3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Siento este un proyecto factible, la investigación se centra en la elaboración y desarrollo de propuestas de modelos operativos viables que permitan dar solución a problemas específicos; la presente investigación se desarrollará en las fases o etapas generales contempladas en este tipo de investigación.

3.3.1. FASE 1: *Investigación bibliográfica*

Consiste en realizar una investigación bibliográfica que comprenda los siguientes temas:

- Propiedades del aluminio después del recocido.
- Métodos de enfriamiento del aluminio después del recocido.
- Estudio de transferencia de calor por conducción y convección.

3.3.2. FASE 2: *Diagnóstico de la situación actual*

Se realizará el diagnóstico del sistema de enfriamiento de las bobinas de aluminio provenientes de los hornos de recocido que se utiliza actualmente en la empresa CVG ALUCASA.

En esta fase se definirán todos los datos y requerimientos para rediseñar el sistema de enfriamiento de las bobinas, para lograrlo se realizarán las siguientes actividades:

- Se identificarán las propiedades y características físicas de las bobinas de aluminio a la salida de los hornos de recocido a fin de establecer los parámetros de rediseño del sistema de enfriamiento.



- Se determinarán las condiciones de flujo de aire actuales que maneja el sistema de enfriamiento a través de la realización de mediciones de campo.

3.3.3. FASE 3: *Diseño de las propuestas*

Una vez realizada la Fase II donde se establecieron las condiciones actuales del sistema de enfriamiento, se llevarán a cabo los siguientes procedimientos:

- Establecer los parámetros de diseño, tales como: temperatura de las bobinas antes y después del proceso de enfriamiento, temperatura del ambiente, espacio físico destinado como área de enfriamiento de las bobinas, entre otras.
- Calcular la potencia térmica que deben ceder las bobinas de aluminio al aire que circula por el área de enfriamiento.
- Calcular el flujo másico de aire necesario para satisfacer la necesidad térmica presente en el área.

Luego se determinarán las alternativas a evaluar asegurando que estas se adapten a los requerimientos de la situación problemática.

3.3.4. FASE 4: *Selección del sistema de enfriamiento más adecuado para las necesidades de la Empresa.*

En ésta Fase se procederá a definir y a ponderar los criterios para evaluar los sistemas de enfriamiento propuestos de acuerdo al método de ponderación de criterios ^[17], en el que se evalúa cada opción con respecto a cada criterio, que tendrá cierta ponderación dependiendo del caso, para finalmente obtener una puntuación para cada alternativa. La que obtenga la mayor puntuación será la mejor solución. Después de determinar la mejor solución se procederá a realizar el levantamiento planimétrico de la misma.



3.3.5. FASE 5: *Estudio Económico*

Se realizará una estimación de costos asociados a la adquisición de los equipos principales de la solución planteada. La estimación se basará en presupuestos solicitados a distintas empresas proveedoras de los materiales y equipos necesarios para la implementación del sistema seleccionado.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población es el conjunto para el cual serán validadas las conclusiones; es decir, es el sujeto u objeto de estudio. Según esta definición y en relación al desarrollo del presente Trabajo Especial de Grado se elige como población las bobinas de aluminio provenientes de los hornos de recocido de la Empresa CVG ALUCASA.

La muestra es un subconjunto de la población o subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto, definidos en sus características, al que se llama población. En este caso se tomará como muestra la bobina de mayor diámetro (1.170mm) que pasa por el horno de recocido.

3.5. TIPO DE MUESTREO

El tipo de muestreo, que corresponde con la selección de las muestras, es no probabilística, en el cual la elección no depende de la probabilidad, sino, de las causas relacionadas con las características de los elementos de la muestra.



3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para lograr realizar el rediseño del sistema de enfriamiento de las bobinas de aluminio y generar alternativas que permitan disminuir el tiempo de enfriamiento de las mismas, es necesario utilizar las siguientes técnicas:

- ***Revisión bibliográfica***

Comprende la recolección y estudio de material bibliográfico contenidos en manuales de fabricante del horno de recocido, informes y textos disponibles en la Empresa para comprender el proceso y poder establecer las condiciones del proceso de enfriamiento de las bobinas.

- ***Consultas***

Se realizarán consultas al personal técnico que trabaja en la Empresa, ya que por experiencia conocen las instalaciones y los procesos que allí se realizan, por lo cual pueden proporcionar información clara acerca de la situación actual del sistema de enfriamiento de las bobinas de aluminio.

- ***Observación Directa***

Con el objeto de de verificar las condiciones del sistema y conocer de manera detallada su funcionamiento, se deben inspeccionar las variables que influyen en el proceso de enfriamiento de las bobinas.



3.7. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

- ***Recursos Materiales:***

Entre los recursos materiales que se requieren para la realización de la investigación se encuentran: un computador, hojas para impresiones, instrumentos de medición, artículos de oficina, cinta métrica, cámara fotográfica y equipos de seguridad.

- ***Recursos humanos:***

Las personas involucradas en la realización del presente Trabajo de Grado, además de los autores serán: el tutor académico, el tutor industrial y el personal técnico de empresa que pueda ser de ayuda para la adquisición de datos del trabajo.



CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Una vez establecida la necesidad de aminorar el tiempo de enfriamiento que requiere la bobina al salir de los hornos de recocido, fue realizado un seguimiento detallado del proceso productivo, un trabajo de recopilación de información, selección y delimitación de una posible ubicación para el sistema a diseñar, la obtención de planos y el establecimiento de los parámetros de diseño.

4.1.1 El proceso productivo

La sociedad mercantil Aluminio de Carabobo, S.A. (CVG-ALUCASA), ubicada en la Urbanización Industrial Caribe, Carretera Nacional Guacara – San Joaquín, Estado Carabobo; es una empresa venezolana de productos laminados y papel de aluminio, tanto para consumo masivo como industrial en los mercados nacionales e internacionales de exportación tales como: Europa, Estados Unidos, México, América del Sur y las Islas del Caribe. Posee una capacidad de 24.000 toneladas métricas de aluminio laminado por año, que va desde un espesor de 0,007 a 6 mm, permitiéndole además satisfacer la demanda de diversas industrias, incluyendo los ramos de alimentación, construcción, automotriz, empaque, farmacéuticos, entre otros.

Sus instalaciones se encuentran integradas por: *PLANTA 1* que a su vez se subdivide en áreas de: Fundición y Colada y Laminación; mientras que la *PLANTA 2* está compuesta por el área de Acabado y Empaque.



El proceso productivo se inicia en el área de Fundición y Colada, cuando en los *hornos de fusión*, se introduce el aluminio primario en lingote, los aleantes y el aluminio secundario recuperado en la planta, el cual es fundido dándole la composición química según la aleación requerida. El metal líquido fundido, es trasvasado a los *hornos de retención*, con el fin de estabilizar la temperatura del referido metal.

Posteriormente, pasa desde los filtros, hasta las unidades de *colada continua*, allí es inyectado por medio de boquillas a unos rodillos internamente enfriados por agua, donde ocurre la solidificación homogénea del material, formándose una banda de aluminio continúa, la cual es llevada al punto de solidificación utilizando una pistola neumática pulverizadora de grafito, cuyo ancho es determinado por las boquillas de un espesor aproximado de 6 mm. Dicha banda se enrolla automáticamente sobre un mandril formando rollos de hasta 8 toneladas métricas según las necesidades de producción.

Una vez enrolladas y enfriadas las bandas de aluminio, pasan a alimentar el *laminador primario*, en el cual mediante varios pases de laminación en frío se reduce el espesor del material según las exigencias de los clientes (desde 6 mm hasta 0,288mm). Es uno de los grandes equipos que posee componentes que manejan aire comprimido para sus tareas; entre los cuales se encuentran: cilindros de doble y simple efecto, sistema de lubricación por niebla, flejadora, etc.

Durante la laminación el metal cambia sus propiedades mecánicas, ya que los rollos de aluminio laminado son introducidos en los *hornos de recocido intermedio 1, 2 y 3*, para que recuperen tales propiedades y se pueda continuar con el proceso de laminación. En esta fase se utiliza el aire comprimido para el posicionamiento de rieles y apertura de las puertas mediante cilindros neumáticos. Después de estos procesos de laminación y recocido, los



rollos de aluminio son pasados por la *niveladora de tensión*, donde se liberan los esfuerzos de tensión en la lámina seguido de un corte de bordes.

Seguidamente, van al *laminador intermedio*, y al igual que el laminador primario, se continúa reduciendo el espesor del material por medio de varios pases de laminación en frío, hasta llegar a espesores que oscilan entre 0,250 y 0,060 mm; en este equipo se encuentran componentes similares a los nombrados en el laminador primario, los cuales se presentan en mayor cantidad. De allí, las bobinas son enviadas a la *dobladora* para tomar dos láminas de aluminio y enrollarlas en una sola, creando de esta manera una bobina con dos bandas, con la finalidad de dar diferente acabado al material cuando sea procesado por los laminadores de papel de aluminio, quedando las caras de las bandas de aluminio que entran en contacto con los rodillos de laminación con un acabado brillante, mientras que las caras internas presentaran un acabado mate.

Los *laminadores de papel de aluminio* N° 8 y N° 11, reducen el espesor del material laminado y doblado, en intervalos que van desde 0,040 mm hasta 0,080 mm. De esta forma, el mismo pasa a las *separadoras*, donde es desdoblado y rebobinado, efectuándoles los cortes en los anchos comerciales requeridos.

Luego, pasan a los *hornos de recocido final*, donde el material se hornea para eliminar el aceite de laminación y componentes químicos y se ajustan las propiedades mecánicas, dándole el temple, dureza y elasticidad requerida por los clientes. Al finalizar este proceso, se obtienen *productos terminados*: Jumbo, Convertidor, Techo Liso Natural, que serán enviados a las líneas de empaque, y *productos semi elaborados* tales como: papel de aluminio de uso doméstico, techos lisos para ser lacados y/o gofrados, Semirrígido, Fin Stock y Membrana, que continuarán su proceso en el área de acabado.



El papel de uso doméstico, es procesado en las *líneas automáticas*, donde es enrollado en cores de cartón a los largos requeridos y empacado en los estuches que identifican el producto para el mercado. Luego se empaca en presentaciones de 6, 12, 24 o 50 estuches. Cada línea está compuesta por siete rebobinadoras automáticas que poseen cuatro cilindros neumáticos por cada una, distribuyéndose en las distintas acciones ya sea de posicionamiento, sujeción o tensión.

En las *Coloreadoras*, se realiza un proceso de lacado y aplicación de lubricante a los productos láminas para techo, membranas y semirrígido, obteniendo *productos terminados* (Techo Liso Lacado o coloreado) para ser enviados a la línea de empaque, y *semi elaborados* (Techos coloreados para ser procesados en las gofradoras, semirrígido y membranas para ser procesados en las cortadoras).

Por su parte, las *cortadoras* son equipos donde se troza el semirrígido y la membrana a los anchos exigidos por los clientes, donde las bobinas son introducidas en cores con un sistema de expansión neumática de los tacos de seguridad para la sujeción de la bobina, posteriormente pasan a la línea de empaque.

Finalmente, en la *línea de empaque* se embalan los productos terminados. Este embalaje puede ser en cajones de madera o cartón dependiendo de las condiciones especiales de manejo del material.

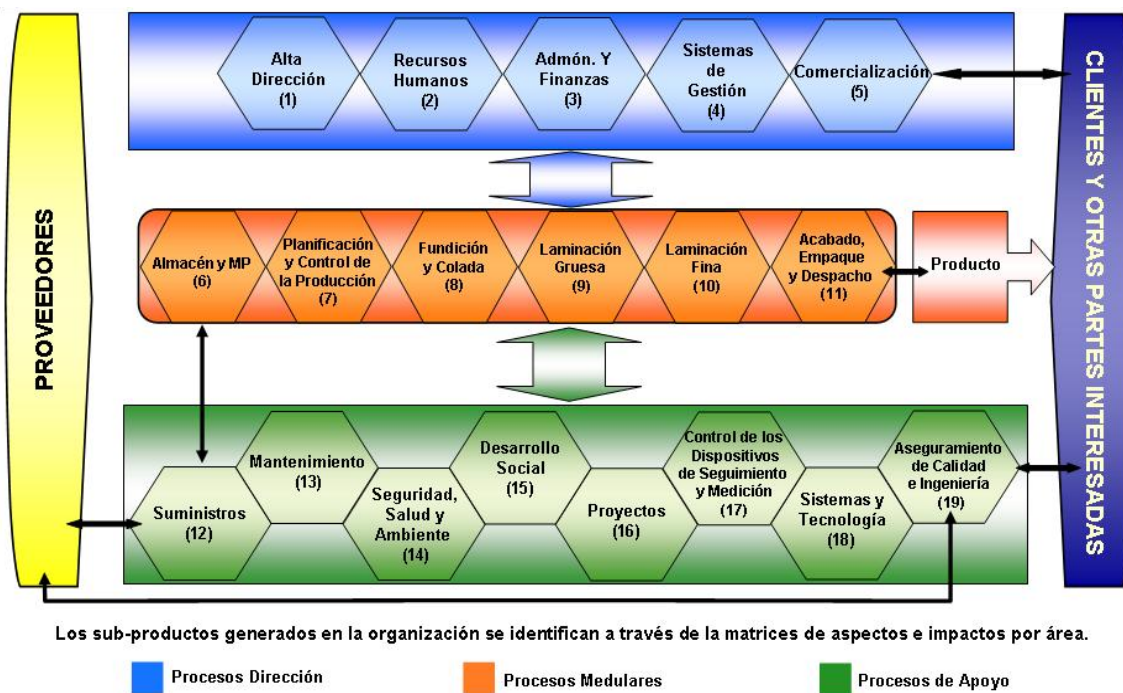


Figura 4.1.- Diagrama de flujo del proceso productivo (Sistema de gestión CVG Alucasa)

Al revisar el diagrama representativo de todos los procesos que se llevan a cabo dentro de la empresa, debemos ubicarnos directamente en los procesos medulares, específicamente en el proceso de laminación gruesa que es donde se centra la problemática de la investigación.

4.1.2 El sistema de enfriamiento actual

Mediante la observación directa del proceso se establecieron dos modalidades de enfriamiento de las bobinas de aluminio. La primera consiste en colocar la bobina frente a un ventilador tal como que se puede observar en la figura N° 4.2. Lo que se busca, es que la mayor parte del flujo de aire proveniente del ventilador choque con una de las caras planas de las bobinas, mientras que la otra parte del flujo de aire atraviese el core de la misma, aumentando la transferencia de calor con el ambiente y disminuyendo el tiempo de enfriamiento requerido. La principal limitación de este método, es que se dispone de solo cinco (5) ventiladores industriales en la zona de enfriamiento, por lo tanto, el mismo



número de bobinas son las que pueden ser enfriadas de esta manera. Cabe destacar que el perfil de temperaturas que se crea debido a la utilización de este método no afecta las propiedades del material requeridas por la empresa, debido a la experiencia obtenida a lo largo del tiempo en que este método ha sido aplicado.



Figura 4.2.- Sistema de enfriamiento actual (modalidad 1)

La segunda modalidad consiste en colocar el resto de las bobinas alineadas con las que se encuentran justo después de los ventiladores, de forma tal que el flujo de aire que logra pasar a través del core de la primera bobina siga a través de los cores de las que la siguen, (ver figura N° 4.2). Sin embargo, la mayor parte de la transferencia de calor que ocurre durante la etapa de enfriamiento se realiza mediante convección natural. Este método es el que abarca el mayor número de bobinas (12 bobinas aproximadamente) y es el que más se utiliza, debido a las limitaciones tanto de espacio como cantidad de equipos de ventilación existentes en la empresa.



Figura 4.3.- Sistema de enfriamiento actual (modalidad 2)

4.1.3 Recolección de información

Durante el proceso de recolección de datos se consultó el Departamento de Producción y el Departamento de Planificación y Control de la Producción (PCP) de la empresa, con el fin de obtener datos detallados de la producción del área de laminación gruesa del proceso productivo, a través del estudio de los archivos disponibles para la fecha de realización del estudio. Los datos fueron tomados del programa de control de la producción de la empresa denominado SISMAG el cual permite llevar un registro de cada uno de los procesos a los que fue sometida una bobina, al igual que la hora y turno que realizó el proceso, permitiendo así conocer el tiempo que tarda en pasar la bobina de un proceso a otro. Con la utilización de este programa se obtendrá el tiempo promedio que requieren las bobinas en enfriarse desde los 390 ° C hasta los 80 ° C.

Con la información anterior se realizó un resumen, en el cual se refleja la cantidad de bobinas que pasaron por los hornos de recocido y por consiguiente al área de enfriamiento en el transcurso de este período. Cabe destacar que para la realización del resumen solo se tomaron en cuenta las bobinas cuyas características corresponden a las mencionadas en la presente investigación, las cuales deben cumplir con las siguientes características:



- Cada bobina debe poseer un peso superior a los 5.500 Kg. o tener un diámetro mayor o igual a 1,5 m.
- El ancho de la bobina debe ser de 1,32m y su espesor de 2,88mm.
- La bobina debe encontrarse en proceso de laminación gruesa, lo que implica habersele aplicado tratamiento térmico de recocido de tipo T0, que para el horno de Recocido Guinea N°1 es de 500°C x 9 horas y para los hornos Guinea N°2 y N°3 es de 500°C x 12,

Tabla 4.1.- Bobinas procesadas en los meses de Julio y Agosto de 2007

MES	TOTAL BOBINAS PROCESADAS	TOTAL PESO (Kg)	PROMEDIO BOBINAS POR DIA
Julio	405	2.409.890	16
Agosto	323	2.040.262	12

Analizando los datos mostrados en la tabla anterior se puede establecer que el promedio de bobinas que permanecen en el área de acuerdo a la producción normal de la empresa es de 14 bobinas (Anexo N°1), tomando en cuenta solo las bobinas que cumplen con los parámetros de estudio.

Para obtener el tiempo promedio de permanencia de las bobinas en el área de enfriamiento se consultaron las hojas de ruta de cada una de éstas para la fecha, el turno y la hora de entrada al laminador primario, ya que es este proceso que se realiza una vez enfriada la bobina.

Una vez analizado el método de enfriamiento actualmente empleado, se estableció como el tiempo de enfriamiento el menor tiempo registrado en el mes de Octubre (Anexo N°2), debido a que fueron los datos a los cuales se pudo tener acceso, tomando como tiempo de enfriamiento el que va desde la salida de la bobina de los hornos hasta el reprocesamiento



de la misma en el laminador primario. De acuerdo a los datos presentados el tiempo de enfriamiento es de 26 horas.

4.1.4 Delimitación y ubicación del sistema a diseñar

La selección de la ubicación del sistema a diseñar debe adaptarse tanto a las especificaciones del sistema para cumplir con las necesidades de la empresa como a los espacios físicos disponibles dentro de la planta para la ubicación del mismo. Tomando en cuenta lo anterior se consideraron dos posibles áreas para la colocación del nuevo sistema:

La primera fue el área de enfriamiento actual, la cual se encuentra ubicada aproximadamente en la zona media de la Nave “A”, diagonal a los hornos de recocido, la cual abarca un área de 10,5 metros de ancho por 15,5 metros de largo. Esta zona es de fácil acceso para el puente grúa, y se encuentra próxima al laminador primario (equipo de destino del material), pero a la vez, el área se encuentra rodeada por equipos que dificultan y limitan el desplazamiento del material, así como también la ubicación o instalación de cualquier otro sistema de enfriamiento. A ello se le suma la poca ventilación del sector.



Figura 4.4-Zona de enfriamiento actual



La segunda área considerada, se encuentra al final de la Nave “A” en el extremo sur-oeste de la nave, justo al lado de la zona de rectificado. Esta área es de 12,5 metros de ancho por 16,5 metros de largo, y ha sido tomada en cuenta debido a que también es de fácil acceso para el puente grúa; pero además, se encuentra en un área en la cual no hay obstrucción debido a la presencia de equipos a su alrededor. Asimismo, en caso de ser necesario, la misma puede ser expandida a 4 m más de ancho pues el lugar en el cual se encuentra ubicado lo permite.



Figura 4.5.- Posible zona de enfriamiento

La ubicación de cada una de estas áreas dentro de la nave se observa en el Layout de la Nave “A” en el cual se muestran también las distancias a recorrer por una bobina hasta el punto medio de cada zona, indicado por los círculos rojos. Las dimensiones de la zona se pueden apreciar mejor de la sección de planos (Plano N° 1).

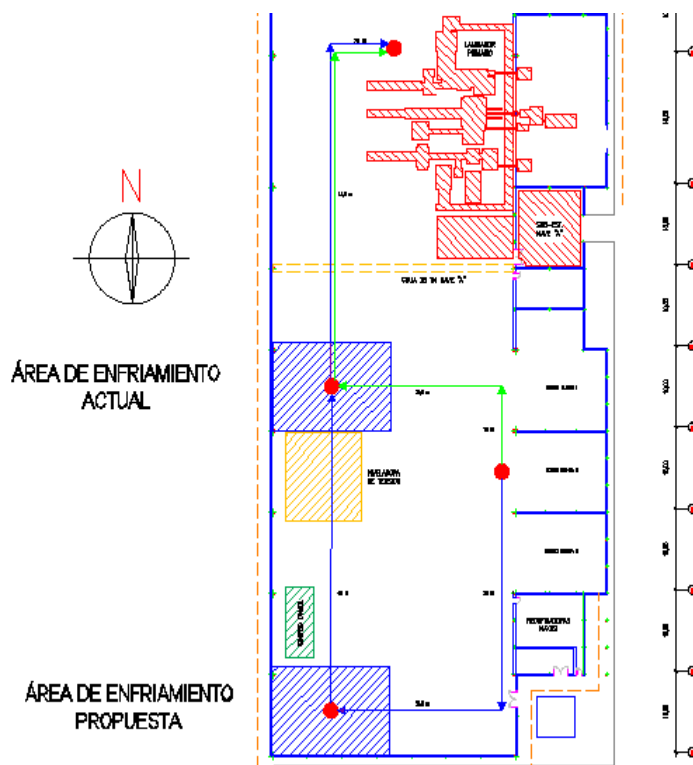


Figura 4.6.- Layout de las zonas de enfriamiento y recorrido del material para cada una.

Utilizando como datos la velocidad del puente grúa encargado del transporte de la bobina (20 m/min en ambas direcciones) y las distancias medias a recorrer, se indicaron dos caminos, el que se realiza para ubicar la bobina en la zona de enfriamiento actual (verde), el cual tiene un total de 88,2 m, y el que se realizaría en caso de reubicar la zona de enfriamiento (morado), el cual es de 143,2 m.

Con relación a la figura 4.6, la distancia a recorrer al utilizar el área de enfriamiento propuesta es 55 m más larga en comparación a la distancia que se recorre actualmente, dividiendo la misma entre la velocidad del puente grúa se obtiene un aumento en el tiempo de traslado del material de 2,75 min por cada bobina. Esta adición en el tiempo de traslado del material se considera despreciable en comparación al tiempo de enfriamiento de una



bobina, ya que se tiene como beneficio en esta nueva zona de enfriamiento, una temperatura promedio menor y a su vez hay mayor libertad para la realización del diseño, pues no se encuentra en el medio de la nave como la zona de enfriamiento actual, por lo tanto se establece cambiar la zona de enfriamiento para la ubicación del nuevo sistema.

4.1.5 Parámetros de diseño

La investigación de campo proporciona una gran ventaja a la hora de describir el fenómeno estudiado tal como ocurre en la realidad. De acuerdo a los datos recolectados durante dicha investigación, utilizando los instrumentos y equipos proporcionados por la empresa, se pudo determinar que las condiciones del sistema utilizado actualmente se pueden resumir en la información mostrada en la Tabla N° 4.2.

Tabla 4.2.- Condiciones del sistema de enfriamiento actual

CONDICIONES DEL SISTEMA ACTUAL	
Ancho de las bobinas	1320mm
Diámetro máximo de las bobinas	1700mm
Peso máximo de la Bobina	7500 Kg
Diámetro del core	520mm
Peso del core	700 Kg
Espesor de la lámina	2,88 mm
Cantidad de bobinas promedio en el área	14 bobinas
Temperatura ambiente	34°C
Temperatura inicial de la bobina	335°C - 390°C
Temperatura final de la bobina	80°C
Tiempo de enfriamiento (convección forzada)	26 horas



En lo que respecta a la temperatura inicial de la bobina a la salida del horno se ven reflejadas dos temperaturas distintas, debido a que las provenientes de los hornos N°2 y N°3 salen a 335°C, ya que no es posible alcanzar una temperatura mayor debido a las fugas de calor existentes en los mismos; mientras que las provenientes del horno de recocido N°1 salen a 390°C, porque se encuentra en mejores condiciones. Es importante resaltar que las propiedades obtenidas por el material en cualquiera de los hornos son las mismas debido a que las diferencias de temperatura se compensan con los tiempos de permanencia en los hornos.

Para la realización del diseño del nuevo sistema de enfriamiento, los parámetros referidos a las dimensiones de las bobinas y los cores, la temperatura de la bobina a la salida de los hornos y la temperatura final deseada no serán variadas, pues el parámetro que se desea disminuir es el tiempo de enfriamiento. Otros de los parámetros con los cuales debe cumplir el nuevo sistema de enfriamiento es no causar humedad en el ambiente, pues podría inducir a la oxidación del material, lo cual es un efecto indeseable dentro del proceso de fabricación. Por último, pero no menos importantes están las propiedades mecánicas que debe tener el material de acuerdo a los requerimientos que se encuentran estandarizados en la empresa para cumplir con los niveles de calidad exigidos por el consumidor final.

De acuerdo al sistema de gestión de calidad, desarrollado por el Departamento de Ingeniería de Procesos de CVG Alucasa, las especificaciones de propiedades mecánicas del producto, se clasifican a partir del espesor de la lámina de aluminio y del tratamiento térmico al cual es sometida. En la Tabla N°4.3 se muestran los requerimientos del material de estudio, extraídos del Anexo N°3.



Tabla 4.3.- Propiedades mecánicas requeridas del producto Foil Stock

Especificación Producto	Espesor (mm)		Temple	Esfuerzo (Kg./mm ²)		Fluencia (Kg/mm ²)	Elongación (%minimo)
	Min.	Max.		Min.	Max.	Mínimo	
Foil Stock	1,01	4.00	O	9	11,8	3,4	25

4.1.6 Recursos humanos y materiales disponibles

Dentro del área de estudio se disponen de recursos humanos y materiales que bien pueden ser utilizados para el rediseño del sistema de enfriamiento, lo que implicaría un ahorro en la inversión inicial, al momento de desarrollar el proyecto. En la tabla N° 4.4 se listan los recursos humanos y materiales disponibles para el rediseño del sistema de enfriamiento.

Tabla 4.4.- Recursos disponibles para el rediseño del sistema de enfriamiento

RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES DISPONIBLES PARA EL REDISEÑO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	
Recurso Humano	Operario llamado Hornero encargado de colocar las bobinas en los hornos de recocido y posteriormente encargado de sacarlas y llevarlas al área de enfriamiento.
Recurso material	Puente grúa con capacidad de 25 toneladas, instalado para cruzar toda la Nave A, que es donde se realiza el proceso de laminación gruesa

En la figura 4.7 se muestra una de las bobinas sostenida por el gancho del puente grúa, trasladando la misma desde el horno de recocido hasta el área de enfriamiento. La Figura 4.8 muestra el alcance de puente grúa a lo largo de toda la Nave “A” perteneciente al área de colada y de laminación gruesa.



Figura 4.7.- Gancho puente grúa 25TON Nave “A”



Figura 4.8.- Puente grúa 25TON Nave “A”

4.2 ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL MATERIAL

Dentro de los objetivos de la investigación se estableció la necesidad de determinar el menor tiempo de enfriamiento de la aleación de aluminio AA-8011 después del recocido, que permita la obtención de las propiedades mecánicas requeridas en la empresa, por lo



cual además de realizar la investigación bibliográfica, se realizaron ensayos al material a enfriar por el sistema que se desea rediseñar y así establecer uno de los parámetros más importantes del diseño, el cual es el menor tiempo de enfriamiento.

4.2.1 Comportamiento Teórico de la Aleación de Aluminio AA-8011 al temple

^[16] La aleación de aluminio estudiada en la presente investigación pertenece a la serie 8XXX, del grupo de las aleaciones nuevas de aluminio. Esta aleación, al igual que otras aleaciones de aluminio de las series 1XXX, 3XXX, 4XXX y 5XXX, presentan poca susceptibilidad al temple y a los tratamientos térmicos en general. No son endurecibles térmicamente y solo presentan fenómenos de recuperación, recristalización, crecimiento de grano, precipitación y solubilización, en todo caso no es posible cambiar las propiedades mecánicas de las mismas o alterar su microestructura de acuerdo a la tasa de calentamiento o enfriamiento empleada. En consecuencia solo son endurecibles por deformación, por lo que se denominan aleaciones no tratables térmicamente.

4.2.2 Comportamiento Experimental de la aleación de aluminio AA-8011 al temple

Según la información obtenida, la aleación de aluminio AA-8011 no es tratable térmicamente, pero debido a que la composición del material en condiciones reales podría variar y así su comportamiento. Se debe comprobar que esto se cumpla, pues si el sistema de enfriamiento cambia las propiedades mecánicas requeridas por la empresa deja de ser factible la implementación del proyecto.



4.2.2.1 Procedimiento experimental

El procedimiento experimental, comienza con la adquisición del material, luego la fabricación de las probetas, pasando por la aplicación del tratamiento térmico para finalmente realizar los ensayos de tracción a cada probeta, que arrojarán los resultados necesarios para ser comparados con las especificaciones de la empresa, dicha metodología se puede resumir según el diagrama que se presenta en la Figura N°4.9.

A continuación se describen cada uno de los pasos indicados en el diagrama y su importancia dentro de la investigación:

- ***Adquisición del material***

El material utilizado es la aleación comercial de aluminio AA-8011, la cual se obtuvo directamente del proceso en la empresa C.V.G. Alucasa en forma de láminas, las cuales llamaremos muestras testigos, que fueron cortadas de las bobinas correspondientes a cada uno de los estudios a realizar mediante la utilización de cizallas. Las primeras, correspondientes al material tratado térmicamente y enfriado con el sistema actual se cortarían de una de las bobinas encontradas en la zona de enfriamiento, cuyo espesor es de 1,32 mm. Las segundas muestras fueron cortadas de láminas provenientes directamente de la salida del laminador primario con el mismo espesor de las primeras pero sin haberles aplicado ningún tipo de tratamiento térmico.

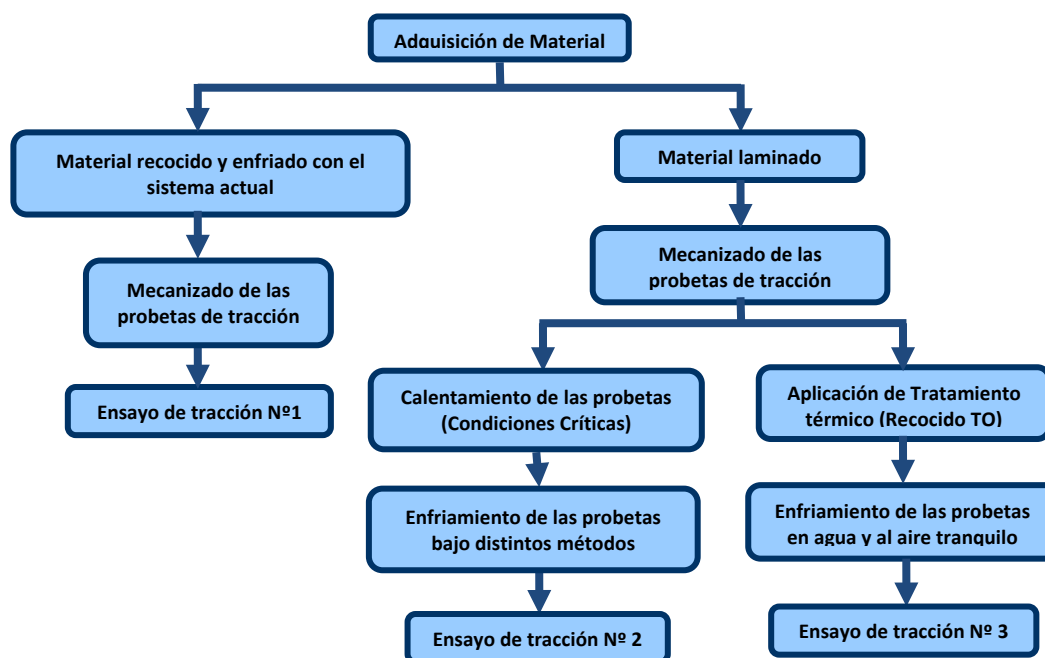


Figura 4.9.- Diagrama del procedimiento experimental

- *Elaboración de las probetas*

Las muestras testigos fueron cortadas en láminas más pequeñas en una cortadora de probetas de lámina marca Tensilkut. Las dimensiones de las láminas aproximadamente se encuentran entre los 200 mm x 20 mm x 2,88 mm. Todas las mediciones se realizaron empleando un vernier marca Mitutoyo modelo 560-114.



Figura 4.10- Cortadora de láminas marca Tensilkut

Las probetas de tracción fueron entalladas como se aprecia en la figura N° 4.10, cuyas medidas fueron tomadas de la norma ASTM E 8M-04, “Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials (Metric)”, que es la utilizada por la empresa para la verificación de las especificaciones técnicas de tracción de sus productos, la cual se puede verificar en el Anexo N°4.

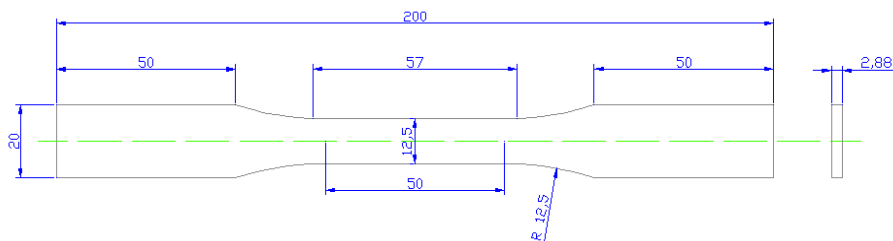


Figura 4.11.- Probeta de tracción normalizada

Posteriormente al corte, las muestras fueron mecanizadas y entalladas, en una fresadora de marca Tensilkut, modelo N°10-58, empleándose un molde como el que se muestra en la figura N° 4.12.



Figura 4.12.- Molde para entallar las probetas destinadas a ensayos de tracción

- ***Calentamiento de las probetas en condiciones críticas***

Esta fase del estudio del material consistió en llevar las probetas a una temperatura de 600°C, temperatura cercana a la de su punto de fusión que es de 660°C aproximadamente, por un periodo de permanencia dentro del horno de 24 horas, con lo cual se buscó someter el material a condiciones críticas de calentamiento para que, al disminuir su temperatura a través de distintos medios de enfriamiento se pudiese observar mediante la comparación de los resultados de los ensayos de tracción si existe alguna variación significativa de las propiedades mecánicas del material.

El calentamiento de las probetas se realizó en el horno del laboratorio de materiales de la UC marca Thermolyne, modelo FURNACE 48000 cuya temperatura máxima es de 1200°C.



Figura 4.13.- Horno para calentamiento de probetas



- **Enfriamiento de las probetas bajo distintos métodos**

Los medios utilizados para el enfriamiento de las probetas calentadas bajo condiciones críticas fueron: enfriamiento en agua, enfriamiento al aire tranquilo, enfriamiento dentro del horno y enfriamiento en nitrógeno líquido. Se utilizaron los primeros tres métodos debido a que son de los más comunes utilizados en la industria y el último debido a que los métodos de enfriamiento subcero son los más rápidos que se pueden encontrar de acuerdo con la investigación bibliográfica realizada, además de ser novedosos y tener gran capacidad de absorción de calor.



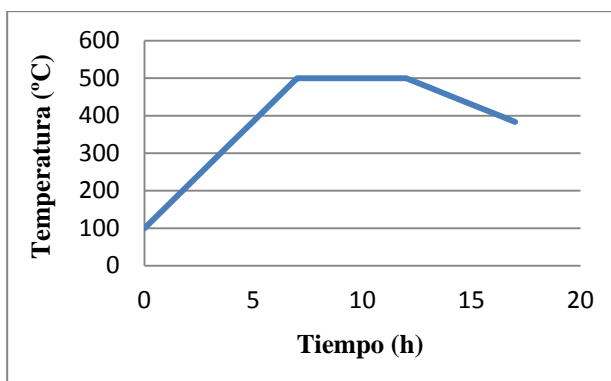
Figura 4.14 y 4.15.- Probetas enfriadas con nitrógeno líquido

- **Tratamiento térmico RECOCIDO O**

Las probetas van a ser sometidas al tratamiento térmico de recocido, denominado TO simulando las condiciones a las cuales se realiza el mismo en la empresa. Para la realización del mismo se precalienta el horno a 100°C, luego se introducen las bobinas de aluminio en el mismo hasta que este alcanza una temperatura de 500°C por un periodo de 5 horas, y luego se dejan enfriar en el mismo hasta alcanzar una temperatura uniforme, para que puedan ser pasadas al área de enfriamiento que es de 390°C máximo. Con este tratamiento se busca que el material posea la menor cantidad de trabajo en frío, para que los valores de los ensayos con este tratamiento aplicado sirvan como referencia, al ser del material en condiciones reales.



Grafico 4.1- Ciclo térmico del recocido aplicado en la empresa CVG Alucasa



Este tratamiento térmico también fue practicado a las probetas en el horno del laboratorio de materiales de la UC, y para simular las condiciones de calentamiento del horno en la empresa se fue aumentando la temperatura del mismo 15°C cada 15 minutos. Para el caso del enfriamiento de las probetas, estas se dejaron enfriar en el horno hasta lograr la temperatura deseada de 390°C tal cual ocurre en el proceso, y luego unas muestras se enfriaron de manera rápida en agua y el resto al aire tranquilo.

- ***Ensayos de tracción***

Los ensayos de tracción 1 y 3 se realizaron en el laboratorio de Materiales y Procesos de Fabricación de la UC, utilizando el banco universal para ensayos de tracción GALDABINI, en el cual se ensayaron las probetas de tracción del material recocido y enfriado con el sistema actual y las probetas a las cuales se les aplicó el tratamiento térmico TO. Por razones de disponibilidad del equipo en el laboratorio, los ensayos de tracción para las probetas enfriadas por distintos medios, fueron ensayados en la Máquina de Tracción Universal Instron, la cual se encuentra en el laboratorio de la Empresa C.V.G. Alucasa. Los ensayos de tracción fueron realizados bajo la norma ASTM E 8M-04 para ensayos de tracción de materiales metálicos.



Figuras 4.16.- Equipo universal de ensayo de materiales GALDABINI

Ambos equipos empleados para realizar los ensayos de tracción proporcionan datos sobre la carga aplicada al material en función del alargamiento que se obtuvo durante el ensayo. Es necesario emplear cálculos que permitan obtener el esfuerzo, el porcentaje de alargamiento y la fluencia del material. Las ecuaciones empleadas para el cálculo de estas propiedades se muestran en el marco teórico del presente trabajo, los resultados se muestran en el apéndice I.

4.2.2.2 Valores obtenidos y Discusión de resultados

Los valores del esfuerzo de fluencia, el esfuerzo máximo y la ductilidad tanto del material en condiciones originales de recocido como de las muestras cuyo tratamiento térmico fue llevado a cabo en las instalaciones del laboratorio de materiales de la Universidad de Carabobo, se determinaron a partir de los datos de carga (N) Vs alargamiento (mm) obtenidos en los ensayos de tracción. Los datos obtenidos se muestran en el Anexo N°5, con los cuales se realizaron los cálculos correspondientes al Apéndice I.

Para el ensayo de tracción N° 1 donde el material estaba en condiciones originales (enfriado con el sistema actual), se obtuvieron valores esperados de esfuerzo máximo de $9,9951 \frac{kg}{mm^2}$, de esfuerzo de fluencia de $4,9506 \frac{kg}{mm^2}$ y un porcentaje de elongación de



$34,5669 \frac{kg}{mm^2}$, los cuales corresponden a un espesor de lámina de 2,88 mm. Lo que se busca con el estudio de este tipo de material es ver si el mismo cumple o no con las especificaciones de la empresa, así como también ser un parámetro de comparación respecto a las demás muestras ensayadas.

Para el ensayo de tracción N° 2 donde el material fue sometido a condiciones críticas de recocido y enfriamiento (calentamiento de 24 horas a 600°C y enfriado con aire, agua o nitrógeno) se determinaron los valores promedios de esfuerzo máximo, esfuerzo de fluencia y porcentaje de elongación para cada uno de los medios de enfriamiento (Tabla 4.5)

Tabla 4.5.- Resultados ensayos de tracción N° 2

Método de enfriamiento	En el Horno	Al aire	En agua	Con nitrógeno
Esfuerzo máximo (kg/mm^2)	9,632	9,990	10,048	10,097
Esfuerzo fluencia (kg/mm^2)	2,705	2,800	3,345	3,133
% Elongación	33,665	31,595	31,985	31,497

Como se muestra en la tabla anterior los valores de las propiedades mecánicas del material no varían significativamente cuando las probetas fueron sometidas a diferentes medios de enfriamiento. La poca susceptibilidad de las propiedades ante cambios drásticos de temperatura se le puede atribuir a que la estructura cristalina del aluminio no sufre transformaciones como la del acero al ser sometido a enfriamientos rápidos después de los tratamientos térmicos. Por esta razón, esta aleación está catalogada dentro del grupo denominado aleaciones no tratables térmicamente, puesto que las variaciones de las propiedades mecánicas de estas al ser sometidas a enfriamientos rápidos son muy pocas o significativamente despreciables.



Queda entonces establecido que, en condiciones críticas tanto de recocido como de enfriamiento, la variación de las propiedades mecánicas de la aleación de aluminio AA-8011 no son representativas, sin embargo es necesario demostrar y establecer que para las condiciones de tratamientos térmicos llevados a cabo en las instalaciones de la empresa, los resultados de los ensayos serán similares a los obtenidos en el ensayo de tracción N° 2, permitiendo realizar el rediseño del sistema de enfriamiento del material una vez que sale del horno de recocido, sin ninguna restricción de cambios en las propiedades mecánicas del mismo, asegurando así que se cumplirá con los estándares de calidad establecidos por la empresa.

Para el ensayo de tracción N° 3 el material fue sometido a un tratamiento de recocido tipo O, simulando las condiciones de calentamiento a las cuales es sometido el material, de acuerdo a los procedimientos aplicados en la empresa. En este caso se obtuvieron también los valores esperados de esfuerzo máximo, esfuerzo de fluencia y porcentaje de elongación, los cuales se muestran a continuación.

Tabla 4.6.- Resultados ensayos de tracción N° 3

Método de enfriamiento	Al aire	En Agua
Esfuerzo máximo (kg/mm^2)	11,0945	11,0974
Esfuerzo fluencia (kg/mm^2)	4,1682	4,6824
% Elongación	36,0556	34,4111

Una vez más, los valores de las propiedades mecánicas del material cuando este fue sometido a un tratamiento de recocido tipo “O” no varían significativamente a pesar de las variaciones de los medios de enfriamiento. Los esfuerzos tanto máximos como de fluencia obtenidos para ambos materiales presentan modificaciones mínimas, mientras que el mayor cambio se presentó en el porcentaje de elongación estando este último dentro de los



requerimientos. Como se mencionó, lo que se busca con este ensayo es demostrar que las propiedades del material se encuentran entre los valores requeridos sin importar la velocidad de enfriamiento a la cual este se vea sometido.

4.3 DISEÑO DE LAS PROPUESTAS

A través del estudio de sistemas de enfriamiento utilizados industrialmente y enfocándonos en la situación problemática, se plantearon 4 propuestas para la solución de la misma. A continuación se muestra cada una de estas con un diagrama que facilita su explicación, acotando que en la sección de planos se pueden observar los diseños de las propuestas en tres dimensiones.

4.3.1 Propuesta N°1

El dispositivo mostrado basa su principio en desenrollar y enrollar la bobina de aluminio, la cual sale del horno de recocido a 390 °C. La finalidad de ello es que durante este proceso, el material (dispuesto en forma de lámina para aumentar el área de transferencia de calor) pase a través de una cámara cuya temperatura se encuentra entre los 10 a 20 °C, y que en su interior dispone de un sistema de ventilación que aumentan la velocidad de enfriamiento del material, ya que el aire frío que se encuentra en el interior de la cámara es forzado a circular por ambas caras de la lámina, permitiendo tener una mayor uniformidad al momento de realizar la transferencia de calor. El choque térmico entre el material y el ambiente de la cámara no es un factor a tomar en cuenta ya que ensayos y estudios llevados a cabo al comienzo de este trabajo de grado demostraron que este tipo de aluminio no sufre endurecimiento por temple o enfriamiento rápido, por lo que se estima reducir la temperatura de 390 °C a los 80 °C requeridos por el proceso.



Además, el sistema además cuenta con 2 carros de transporte (al inicio y fin del proceso) cada uno montado sobre un riel mediante el cual se desplaza. El vehículo N° 1 recibe la bobina desde el gancho del puente grúa y la lleva hasta el eje del motor desbobinador, el carro N° 2 permite desmontar y extraer la bobina del eje bobinador. La alineación entre el centro de la bobina y el eje es posible, ya que ambos carros de transporte poseen un sistema de elevación hidráulico. Una vez unidos el eje con la bobina, se activan los ganchos de sujeción los cuales evitan el deslizamiento entre las superficies de estos.

El dispositivo cuenta además con 2 sistemas auxiliares como lo son la mesa guía y los rodillos de apoyo, los cuales permiten que el material siga la trayectoria deseada a través de la cámara de enfriamiento. Para el caso de las mesas guías, las mismas pueden subir o bajar según se necesite, dado que están pivoteadas en los extremos de la mesa de desplazamiento la cual no es más que una plataforma sobre la cual el material circula.

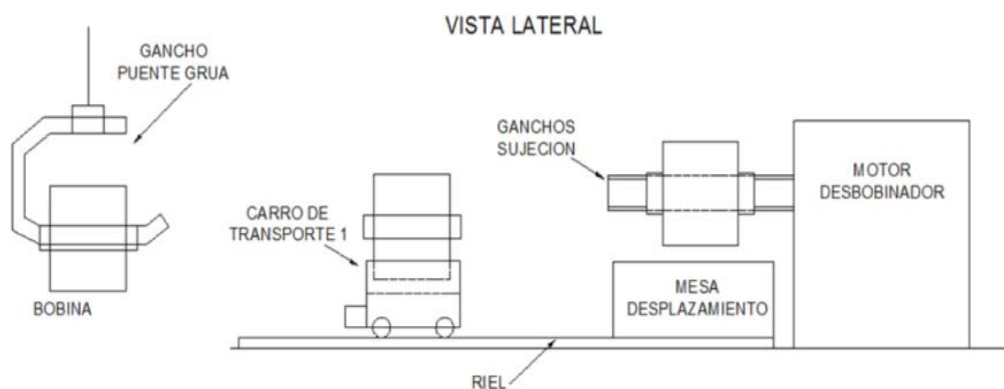


Figura 4.17.- Diagrama propuesta N°1, vista lateral

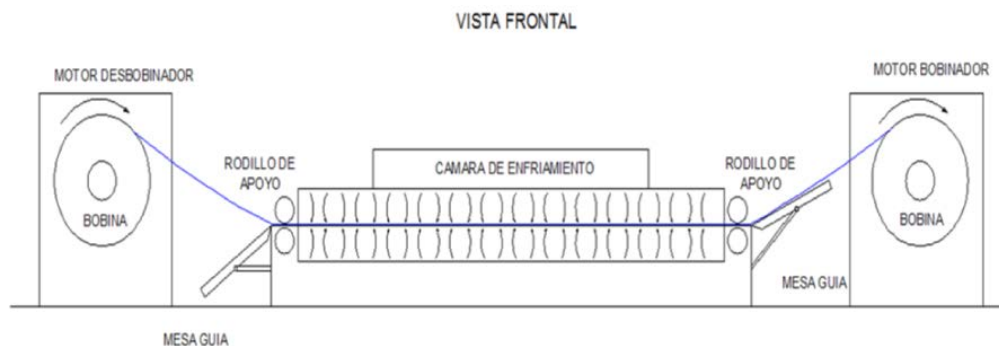


Figura 4.18.- Diagrama propuesta N°1, vista frontal

4.3.2 Propuesta N°2

El sistema mostrado presenta una campana de extracción, la cual posee en su interior un ventilador cuya función es extraer aire fresco desde la atmósfera para luego enviarlo hacia la zona de enfriamiento de las bobinas a través de un ducto de ventilación. El sistema posee un serpentín que permite disminuir la temperatura del aire, el cual, una vez enfriado, intercambia calor con el aire caliente existente en el área de enfriamiento disminuyendo la temperatura del ambiente en la misma. Las bobinas se deben encontrar dispuestas según su tamaño, como lo muestra la figura 4.19, para que el aire fluya con los menores obstáculos posibles manteniendo así el caudal de aire, además se requiere que el eje de la bobina se encuentre perpendicular a la dirección del flujo de aire, para aprovechar aerodinámicamente la geometría de las mismas.

Para mantener la temperatura del sistema en el interior, se utilizará una cortina térmica (en forma de persiana) la cual servirá como aislante para mantener la temperatura del aire que sale del sistema de enfriamiento, evitándose así la necesidad de colocar paredes de concreto con lo cual se restringiría la movilidad del gancho del puente grúa.



Además de la corriente de aire proveniente del ducto de extracción, se dispondrá de un ventilador al inicio de cada fila acelerando así el intercambio térmico de las bobinas, el mismo es de tipo industrial y debe ser capaz de suministrar un caudal de aire suficiente para que pueda llegar a la última bobina de la columna. Para la extracción del aire caliente se disponen de campanas en el techo del área de enfriamiento permitiendo que este salga hacia la atmosfera por convección natural.

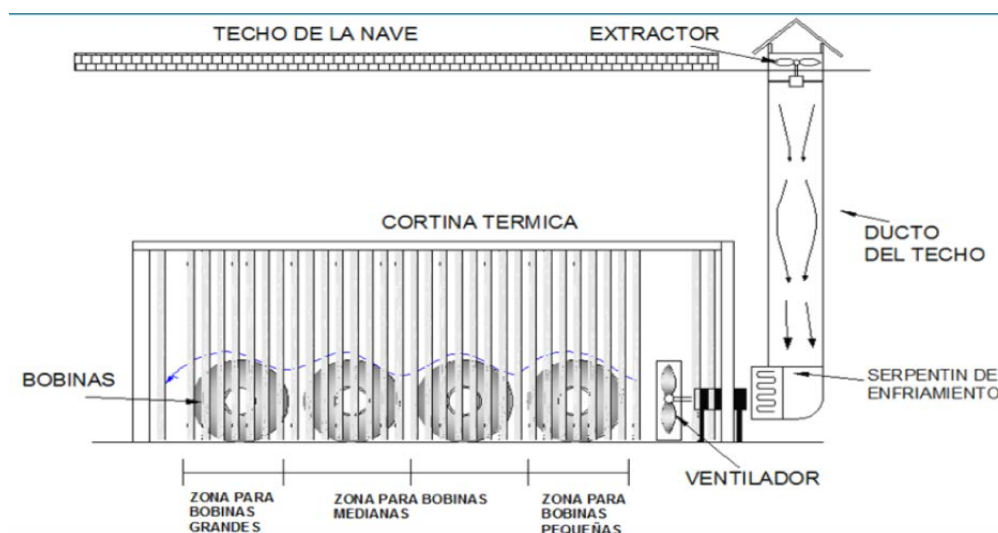


Figura 4.19.- Diagrama propuesta N°2

4.3.3 Propuesta N°3

El sistema consiste en realizar el enfriamiento de las bobinas utilizando como medio de enfriamiento el nitrógeno líquido, ya que a través de las pruebas realizadas al principio de la investigación se demostró que la variación de las propiedades mecánicas del material, al ser enfriado con nitrógeno líquido, no es significativa y se encuentra dentro de los parámetros aceptados por la empresa. El sistema consta de 3 zonas principales:



1. Zona de entrada: esta zona está compuesta por tres estibas de sujeción, que no son más que soportes que se ubican a cada lado de la bobina, y a las cuales se trasladan las bobinas al salir del horno, mediante la utilización del puente grúa. El espacio entre cada estiba es hueco, lo cual permite que el carro transportador 1 pase por debajo de las bobinas sin interferencia. Este carro se traslada en dirección horizontal sobre rieles ubicados en la parte inferior del sistema y posee un pistón hidráulico que permite bajar las bobinas de las estibas y llevarlas hasta el túnel del enfriamiento.
2. Túnel de enfriamiento: Cuando las bobinas llegan al túnel a través del carro transportador 1 estas son elevadas hasta la altura del árbol de expansión neumática, que sostiene la bobina y a la vez permite que esta gire 360°. Cuando la bobina se encuentra en la posición indicada, el espacio creado por el core de la bobina es atravesado por el árbol y luego de que este se expande, el pistón del carro transportador 1 se retrae completamente.

En la parte superior del túnel se encuentran las boquillas de aspersion que distribuyen el nitrógeno líquido sobre la bobina a medida que ésta rota, lo cual permite un enfriamiento uniforme de la misma, en la que la temperatura de la bobina ha descendido hasta 40°C, la misma es llevada hasta la zona de salida.

3. Zona de salida: las bobinas frías son llevadas hasta la estibas de salida mediante el carro transportador 2. Finalmente el operario utilizando el puente grúa se encargará de llevar la bobina a su lugar de destino para continuar con el proceso de laminación.

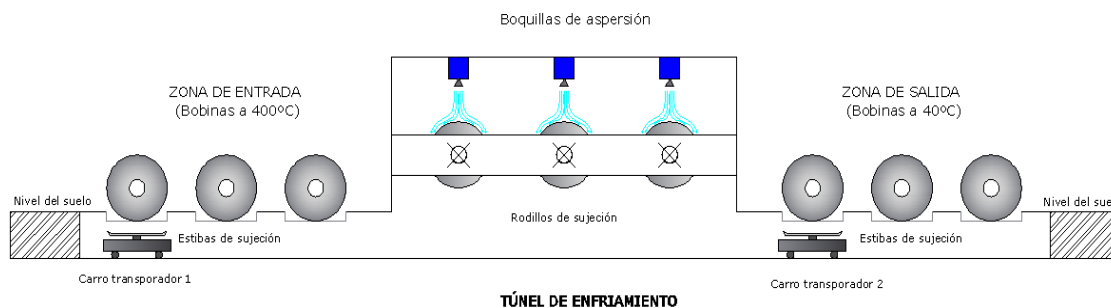


Figura 4.20.- Diagrama propuesta N°3, vista lateral

4.3.4 Propuesta N°4

El sistema se basa en el enfriamiento de las bobinas mediante la utilización de aire a baja temperatura. Para lograrlo, se tomará aire de la atmósfera, el cual pasará por un chiller para disminuir su temperatura y luego será empujado por los ventiladores a la red de ductos que se encuentra ubicada en la parte inferior del sistema. Cada ducto tiene una rejilla ubicada de manera tal que quede debajo del lugar, donde se colocará una bobina con el fin de que se suministre la misma cantidad de caudal de aire a cada una de las bobinas del sistema.

El principio de enfriamiento aplicado en este sistema será que la diferencia de densidades entre el aire frío que sale de las rejillas y el aire que se calienta al tocar la bobina, hará que el aire caliente tienda a subir debido a que este es mucho más denso que el aire frío, acelerando así la transferencia de calor entre las bobinas y el ambiente. Para facilitar la extracción del aire caliente de la nave se colocará una campana en el techo de la misma, tal como se observa en la figura 4.21.

Las bobinas a enfriar se ubican mediante la utilización del puente grúa de la nave sobre las estibas fijas que se colocarán en la zona de enfriamiento, que por sus dimensiones permitirá que se enfríen 11 bobinas al mismo tiempo, pero en caso de que no se necesite enfriar esta



cantidad de bobinas, el sistema permite que trabajen solo los ductos que se necesiten permitiendo así el ahorro de energía eléctrica.

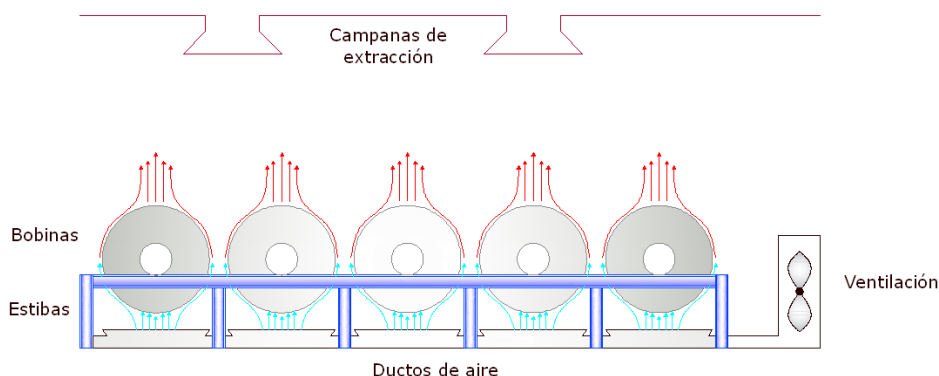


Figura 4.21.- Diagrama propuesta N°4, vista lateral

4.4 SELECCIÓN DE LA MEJOR SOLUCIÓN

Durante esta etapa se realizará una definición y ponderación de los criterios de diseño mediante la comparación directa entre estos según la importancia que tengan, posteriormente se evaluarán y puntuarán respecto a cada solución planteada, la alternativa que tenga la mayor puntuación será seleccionada como la mejor solución a la situación problemática.

A continuación se muestran los criterios que definen las principales necesidades del proyecto a realizar, estos se encuentran en orden jerárquico una vez que se realizó la ponderación de cada criterio respecto a los demás. Los resultados de la evaluación llevada a cabo se muestran en la tabla a continuación.



Tabla 4.7.- Puntuación dada a cada criterio considerado

Criterio	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Puntuación	1	3	2	7	5	4	6

Lista de criterios

1. Mayor número de bobinas enfriándose al mismo tiempo
2. Menor dificultad de operatividad del sistema a diseñar
3. Menor espacio físico requerido por el sistema
4. Menor índice de mantenimiento
5. Mayor simplicidad de diseño
6. Menor restricción de desplazamiento al puente grúa
7. Menor tiempo de fabricación

Una vez establecida la ponderación de cada criterio se procederá a realizar la comparación de cada una de las soluciones respecto a cada criterio, y por último se tomará nota de la puntuación de cada alternativa para, finalmente tomar la decisión de la mejor solución a la situación problemática. A continuación se muestra el resumen de los resultados del Apéndice II.

Tabla 4.8.- Puntuación total de cada solución

Solución	Puntuación de cada solución
S1	53
S2	74
S3	47
S4	106



Finalmente como resultado de la ponderación de criterios y soluciones, se obtuvo la alternativa N°4 como la mejor solución a la situación problemática.

4.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.

En esta sección se muestra el desarrollo del sistema a diseñar, los estudios realizados y elementos que lo conforman además de los procedimientos que se llevaron a cabo para su selección.

4.5.1 Comportamiento térmico del sistema de enfriamiento actual

A fin de realizar el diseño del sistema de enfriamiento seleccionado, es necesario estudiar las condiciones de enfriamiento actual, para ello se procederá al análisis de la transferencia de calor de la bobina respecto al ambiente, con la finalidad de generar un modelo matemático que permita determinar el comportamiento de la misma durante este proceso.

El estudio parte del establecimiento de que los medios de transferencia de calor presentes en el proceso son la convección y la radiación puesto que se desprecia el contacto existente entre la bobina y el suelo, sin embargo, se obtuvo que la radiación representa menos del 10% de la transferencia de calor total emitido por la bobina por lo cual será omitida durante el desarrollo del proyecto (Apéndice IV) y se asumirá que todo el calor emitido por la bobina durante su enfriamiento es disipado por el proceso de la convección. Por lo tanto es necesario determinar los factores que influyen durante este proceso, los mismos se mencionan a continuación:



4.5.1.1 Condiciones ambientales a los que se someterá el material una vez salga de los hornos de recocido:

Para obtener los valores correspondientes a las condiciones ambientales registradas en el área de enfriamiento actual, se hizo uso de un higrómetro digital cuyas especificaciones se muestran en el Anexo N°6. Tomando la temperatura de ambiente en la Nave A (lugar donde se encuentran ubicadas las bobinas) durante un lapso de dos semanas consecutivas, en horas del mediodía, se estableció una temperatura promedio de la nave correspondiente a 32,08° C (Apéndice III).

4.5.1.2 Variación de temperatura de la bobina durante el proceso de enfriamiento

La temperatura de la bobina durante el proceso de enfriamiento se obtuvo a partir de la medición directa, la cual contempló dos etapas, la primera fue a la salida de los hornos de recocido mientras que la segunda fue aquella donde el material estaba en condiciones para continuar con el proceso de laminación, para ello se utilizó un termopar de contacto directo, disponible en laboratorio de metrología de la empresa, cuyas especificaciones se muestran en el Anexo N°7.

Las bobinas estudiadas como se estableció fueron aquellas cuyas características corresponden a las mencionadas en la presente investigación, el grupo en estudio fue aquel proveniente del horno de recocido N°1 dado que es en este donde se alcanzan las mayores temperaturas obteniéndose un promedio de $T_{inic.bobina} = 390 \text{ }^{\circ}\text{C}$. De igual forma la temperatura final de la bobina será la temperatura mínima requerida para la continuación del proceso, la misma se obtuvo $T_{final.bobina} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$.



4.5.1.3 Variación de temperatura del aire de suministro durante el proceso de enfriamiento

Para determinar la temperatura del aire de suministro una vez estuvo en contacto con la bobina caliente, fue necesario realizar una medición directa del mismo, los valores fueron tomados en intervalos de 2 horas, una vez obtenida la temperatura del aire al estar en contacto con la bobina se promedia la misma con la temperatura ambiente para posteriormente establecer de las propiedades térmicas del aire. Los resultados de dicho estudio se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 4.9.- Temperatura del aire suministro a la salida de la bobina

Tiempo (26 horas)	Promedio (°C)
Temp. Salida (°C)	48,579
Temp. Entrada (°C)	32,000
Temp Prom. ent/sal	35,986

4.5.1.4 Flujo de aire suministrado por el conjunto de ventiladores y comportamiento del mismo alrededor de la bobina.

Para realizar el estudio convectivo de la bobina, se dividió la misma en cuatro áreas cuyas geometrías se adaptaban a modelos matemáticos establecidos en la bibliografía consultada, ver tabla 4.10. Dichos modelos permiten el cálculo de un coeficiente convectivo local para luego obtener un valor promedio de este coeficiente alrededor de la bobina (Apéndice III). Para ello es necesario determinar primeramente la velocidad en distintos puntos del sistema; a la salida del ventilador y la del flujo de aire que llega a las cuatro zonas anteriormente definidas. En la figura 4.22 se muestra la dirección del flujo de aire del



sistema de enfriamiento actual, dicho parámetro se obtuvo mediante la utilización de un velocímetro digital antes mencionado.

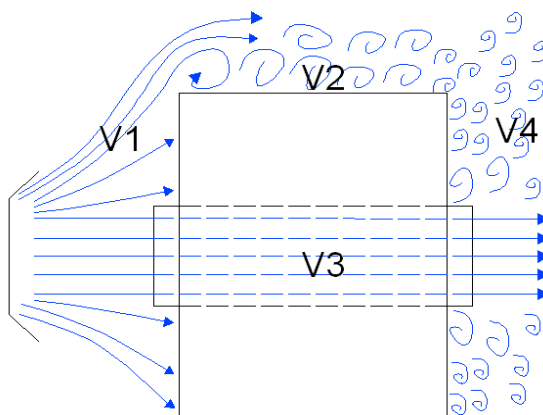


Figura 4.22.- flujo de aire alrededor de la bobina para el sistema actual

La tabla a continuación muestra las configuraciones del flujo de aire que se determinaron durante el estudio del sistema de enfriamiento actual así como la velocidad promedio obtenida durante la medición.

Tabla 4.10.- Análisis del flujo de aire alrededor de la bobina para el sistema actual

Velocidad	Zona de la bobina	Configuración del flujo	Promedio (m/s)
V1	Extremo bobina con ventilación directa	Flujo sobre pared con ventilación directa	8,1
V2	Lateral de la bobina	Flujo pared plana horizontal	1,5
V3	Cara interna del Core	Flujo a través de un ducto	5,9
V4	Extremo bobina con ventilación indirecta	Flujo sobre pared con ventilación indirecta	0,8

Una vez establecidos los factores que influyen durante el enfriamiento de las bobinas, se determina el coeficiente convectivo promedio, con este y la geometría de la bobina se



procede a definir el régimen de transferencia de calor del cuerpo a través del número de Biot.

$$N^{\circ} BIOT = \frac{L_c \cdot h_{promedio}}{k} \quad Ec. 3$$

Siendo L_c la longitud corregida de la bobina definiéndose como:

$$L_c = \frac{\text{Volumen bobina}}{\text{Area superficial bobina}} \quad Ec. 4$$

$$L_c = \frac{2,716}{13,321} = 0,2039 \text{ m}$$

Para establecer el coeficiente convectivo promedio es necesario establecer primeramente los coeficientes convectivos locales, para ello se seguirá el procedimiento mostrado a continuación:

1. Establecer la velocidad del flujo de aire local en el área a estudiar. Las mismas se muestra en la tabla 4.10.
2. Con las temperaturas promedio del ambiente, la bobina y el aire se determinan las propiedades térmicas de este último en el Anexo N°5, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4.11.- Propiedades térmicas del aire

Propiedad	Valor a 409,964 K
k (W/m.K)	0,034
ρ (Kg/m³)	0,865
Cp (J/Kg.°C)	1009,797
μ (Kg/m.s)	22,900x10 ⁻⁶
ν (m²/s)	26,676x10 ⁻⁶
Pr	0,69



3. Posteriormente a fin de establecer el estado del aire que se encuentra en contacto con la bobina, se procede al cálculo del Numero de Reynolds mediante la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{\rho \cdot V_i \cdot L_c}{\mu} \quad Ec. 5$$

4. Con el número de Reynolds, se determina el número de Nusselt correspondiente a la configuración de flujo en estudio.
5. Finalmente se obtiene el coeficiente convectivo local mediante la siguiente ecuación:

$$h = \frac{Nu \cdot K_{aire}}{L} \quad Ec. 8$$

6. Por último, ya determinados cada uno de los coeficientes convectivos locales, se procede a promediarlos, para posteriormente calcular el número de Biot.

En la tabla 4.12, se muestra el resumen de los resultados obtenidos para cada área en estudio. Los cálculos se presentan en el Apéndice III.

Tabla 4.12.- Resultados obtenidos del análisis térmico del sistema de enfriamiento actual

Configuración del flujo	Numero de Reynolds	Numero de Nusselt	Coficiente convectivo local $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$
Flujo sobre pared con ventilación directa	260180,653	507,890	20,123
Flujo sobre pared con ventilación indirecta	25696,855	91,383	3,621
Flujo a través de un ducto	115938,162	198,726	12,871
Flujo pared plana horizontal	74823,194	197,217	5,032



Finalmente sustituyendo cada uno de los parámetros en la ecuación de Biot tenemos

$$N^{\circ} BIOT = \frac{0,203874 \cdot 10,412}{210} = 0,01011$$

Dado que Biot resulto menor que 0,1 se puede asumir que el cuerpo se encuentra en estado uniforme. Como método para evaluar la veracidad de los cálculos realizados, se determina el tiempo de enfriamiento teórico de la bobina para este sistema.

Partiendo de la definición de calor que matemáticamente se expresa como

$$q_c = \frac{du}{dt} \quad Ec. 25$$

Desarrollando esta ecuación dejando como variable la variación de temperatura en el tiempo, se obtiene que:

$$m \cdot Cp \cdot \frac{dT}{dt} = A \cdot h \cdot (\Delta T) \quad Ec. 26$$

Desarrollando la fórmula anterior (Apéndice III) se obtiene que:

$$\ln \left(\frac{T_{(x)} - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} \right) = \Psi \cdot t \quad Ec. 27$$

Siendo

$$\Psi = \frac{A \cdot h}{m \cdot Cp} \quad Ec. 28$$

Sustituyendo:



$$\Psi = \frac{13,3205 \cdot 10,412}{(2710 \cdot 2,7157) \cdot 900} = 2,094 \times 10^{-5}$$

Finalmente sustituyendo para determinar el tiempo de enfriamiento del material tenemos

$$t = \frac{\text{Ln} \left(\frac{660,56 - 305,08}{352,75 - 305,08} \right)}{2,094 \times 10^{-5}} = 95956,868 \text{ s} = 26,655 \text{ horas}$$

Comparando este resultado con el tiempo registrado durante el proceso de recolección de información, el cual denominaremos tiempo de enfriamiento real, y que fue de 26 horas, se verifica que el modelo teórico presenta un valor muy cercano al valor real.

4.5.2 Modificaciones del sistema de enfriamiento seleccionado

El sistema seleccionado mediante la ponderación de criterios presenta dentro de su propuesta ciertas características que definen el proyecto tales como: la utilización de una campana de extracción, la reducción de la temperatura extraída del ambiente mediante la utilización de un chiller y el enfriamiento alrededor de la bobina empleando ductos de ventilación dispuestos debajo de la misma. Se determinó, mediante el estudio del sistema de enfriamiento actual que resulta importante el flujo de aire que pasa a través del core, por lo cual se adicionará al diseño un ducto paralelo a las estibas y alineado con la altura del core que permita el flujo de aire a través del mismo. Se colocará solo por uno de los laterales de las bobinas a enfriar debido que a las limitaciones de espacio existentes.

Como segunda modificación de esta propuesta se tuvo la necesidad de eliminar la campana de extracción del diseño ya que el espacio disponible entre el puente grúa y el techo de la nave imposibilita la instalación de la misma.



Como última modificación de esta propuesta se decidió eliminar la instalación de los chillers para disminuir la temperatura del aire de enfriamiento de la bobina, pues a través del modelo matemático establecido en la sección anterior se determinó que la implementación de estos equipos, podía ser sustituida y aun así se una disminución del tiempo de enfriamiento que cumpla con el tiempo de enfriamiento de diseño.

4.5.3 Calor máximo emitido por una bobina durante su enfriamiento

El nuevo sistema de enfriamiento debe ser capaz de disipar todo el calor emitido por la bobina durante su proceso de enfriamiento, por lo cual el cálculo del calor total emitido por la bobina es de vital importancia para la realización de los cálculos de diseño del sistema.

Partiendo de la expresión matemática:

$$C = \frac{\partial q}{\partial T} \quad Ec. 29$$

Y sustituyendo esta ecuación dentro de la expresión matemática para determinar el calor específico de un material se obtiene que:

$$Ce = \frac{C}{m} = \frac{1}{m} \cdot \frac{\partial q}{\partial T} \quad Ec. 30$$

Despejando queda:

$$Ce \cdot m \cdot \partial T = \partial q$$

Desarrollando la fórmula anterior (Apéndice IV) se obtiene que:

$$Q_{bobina} = Ce \cdot m \cdot \Delta T_{aluminio} \quad Ec. 31$$



Este valor representa el calor máximo que emitirá la bobina hacia el ambiente finalmente sustituyendo:

$$Q_{bobina} = 986,277 \cdot 8000 \cdot (660,56 - 352,75) = 2428687,387 \text{ KJ}$$

Ahora se desea que este calor sea disipado en un tiempo de 18 horas por lo cual la rata de transferencia de calor, expresada por la ecuación $\dot{q} = \frac{\partial Q}{\partial t}$, será de 37,48 Kw (Apéndice IV)

El valor anterior corresponde al calor emitido por una sola bobina, multiplicando este valor por la cantidad de bobinas que se encontrarán en el sistema de enfriamiento (11 bobinas), se obtiene que el calor total emitido por el conjunto de bobinas es de 412,28 Kw.

4.5.4 Flujo másico de aire requerido por el sistema

Para el cálculo del flujo másico requerido por el sistema se asumirá que todo el calor emitido por el conjunto de bobinas será absorbido por el aire. Lo cual corresponde a la primera ley de la termodinámica, dada por la siguiente expresión:

$$\dot{q} = \frac{\partial m}{\partial t} \cdot C_e \cdot \Delta T_{aire} \quad Ec. 32$$

Despejando se obtiene que el flujo másico de aire requerido es igual a:

$$\frac{\partial m}{\partial t} = \dot{m}_{aire} = \frac{(Q/t)}{C_e \cdot \Delta T_{aire}}$$

Sustituyendo los datos correspondientes a la expresión anterior (Apéndice IV) se consigue que el $\dot{m}_{aire} = 24,324 \text{ Kg/s}$.



Una vez obtenido el flujo másico se procede al cálculo del caudal de aire requerido por el sistema:

$$Q_{\text{aire}} = \frac{\dot{m}_{\text{aire}}}{\rho_{\text{aire}}} \quad \text{Ec. 33}$$

$$Q_{\text{aire}} = \frac{24,324 \text{ Kg/s}}{0,8653} = 28,11 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.5.5 Descripción del sistema de enfriamiento

En la siguiente sección se realizará una descripción detallada del sistema de enfriamiento, y de cada uno de los elementos que lo conforman.

4.5.5.1 Sistema de soporte

La red de distribución de aire para el enfriamiento de las bobinas, deberá ser capaz de enfriar 11 bobinas de manera uniforme y al mismo tiempo, las cuales se encuentran sobre estibas de apoyo en arreglos de 5 y 6 bobinas, como se muestra en la figura 4.23.

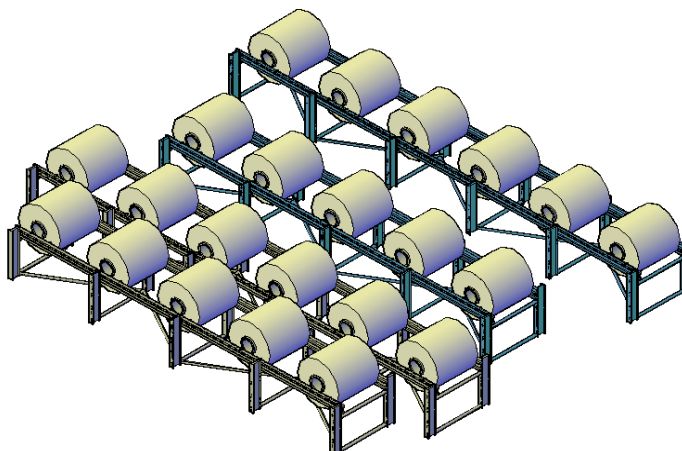


Figura 4.23.- Arreglos de bobinas



Se colocarán dos juegos de estibas, uno de estibas de enfriamiento sobre las cuales se colocarán las bobinas sometidas a ventilación forzada, y otro de estibas auxiliares, sobre las cuales se colocarán bobinas en espera para ser enfriadas, tal como se muestra en la figura 4.24. En la misma, las estibas de enfriamiento se encuentran representadas en color azul y las auxiliares en color amarillo.

Nótese que existe un desfase entre la posición de cada estiba, esto con el fin de permitir el paso del gancho del puente grúa al momento de colocar y sacar las bobinas. Además de esto se puede apreciar que existe una mayor separación entre las estibas de enfriamiento y las auxiliares, esto se debe a que se quiso dar mayor libertad al operario para la operación del puente grúa al colocar estas bobinas, permitiendo un manejo más sutil de las mismas.

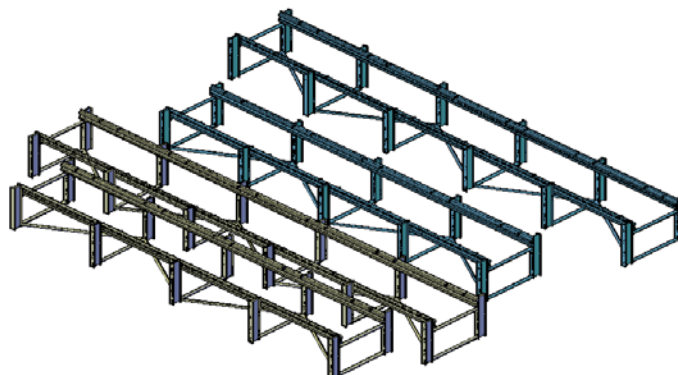


Figura 4.24.- Estibas fijas y estibas auxiliares

4.5.5.2 Sistema de enfriamiento

Para lograr el enfriamiento de las bobinas en el tiempo requerido, se tomará aire del ambiente y será forzado a pasar por ventiladores industriales para aumentar la velocidad del mismo, posteriormente el aire será conducido hacia cada bobina a través de ductos.

Para determinar el flujo de aire es necesario conocer la velocidad y el área por donde va a circular el mismo, las velocidades máximas del aire de suministro será de 15m/s y de 11m/s



la velocidad en los ramales (Anexo N° 6), lo cual asegura factor de control de rozamiento en el conducto.

La red de distribución de aire del sistema consiste en una serie de conductos de aire rectangulares colocados en la parte inferior de las estibas de enfriamiento y en uno de sus laterales, cuyas bocas de descarga se encuentran alineadas con la bobina, como se muestra en la figura 4.25.

Se escogieron ductos rectangulares debido a que sus dimensiones se encuentran limitadas por el sistema de soporte, y al utilizar este tipo de ducto se puede distribuir de una manera más fácil el área que ocuparán.

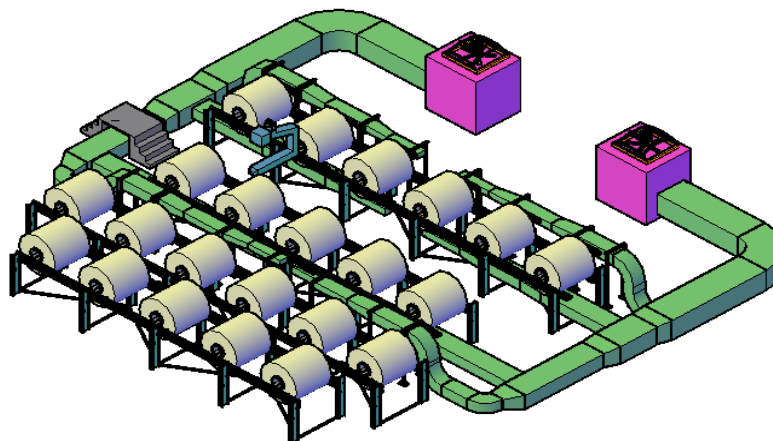


Figura 4.25.- Ubicación de la red de ductos

La red de ductos consta de dos secciones independientes, una Sección A en la cual se pueden enfriar hasta 6 bobinas simultáneamente y un Sección B con capacidad para 5 bobinas. Cada sección incluye un ventilador autónomo, lo que permite facilitar las actividades de mantenimiento del sistema y asegura que en caso de que falle alguno aún se puede enfriar una cantidad de bobinas igual a la que se enfría con el sistema actual.



4.5.6 Diseño de la red de distribución de aire para el sistema de enfriamiento de bobinas

Para establecer las dimensiones de los conductos y accesorios de suministro, se seguirá el procedimiento mostrado a continuación, también conocido como método de igual fricción.

1. Establecer la velocidad que va a manejar el conducto principal de suministro a la salida del ventilador. En el Anexo N° 10, se muestra la tabla de velocidades máximas recomendadas para sistemas de baja velocidad.
2. Utilizando el caudal total a suministrar y la velocidad establecida en el punto anterior, se calcula el área del conducto principal. Con esta área y las tablas de dimensiones de conductos mostradas en el Anexo N°11, se determinan las dimensiones rectangulares del conducto y el diámetro equivalente.
3. Con el diámetro equivalente y la gráfica de pérdidas en ductos mostrada en el Anexo N°12 se determina la pérdida por unidad de longitud del conducto principal, que será la misma para los demás tramos de suministro de aire al área de enfriamiento de las bobinas. Para determinar la pérdida total del conducto, se multiplica dicha pérdida por la longitud del tramo.
4. El área de los demás ductos, se determina a través de la tabla de porcentaje de área de sección recta para conservar constante el rozamiento, mostrada en el Anexo N°13 y mediante las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ de capacidad} = \frac{\text{Caudal de aire en cada sección}}{\text{Caudal total de aire}} \quad \text{Ec. 34}$$

Área del conducto = Porcentaje de área referida al área inicial del conducto



5. Con el área de los demás tramos obtenida en el paso anterior se determinan las dimensiones de cada ducto a través de las tablas mostradas en el Anexo N°11.
6. Para las pérdidas de los accesorios, como codos y difusores se utilizan las tablas de rozamiento en los elementos de un sistema de conductos rectangulares, las cuales se muestran en el Anexo N°14.

En el plano N°6 se muestra la disposición que tendrá la red de ductos del sistema de enfriamiento, y con esta disposición se determinarán las dimensiones y pérdidas en cada ducto.

En las tablas 4.13 y 4.14, se muestra el resumen de las características principales que poseen los conductos, codos y difusores para las secciones A y B del sistema, respectivamente. Los cálculos se presentan en el apéndice V.

Tabla 4.13.- Características de los ductos sección A.

Tramo	Q (m ³ /s)	V1 (m/s)	Area _{teórica} (m ²)	Dimensiones (mm)	L _{tramo} (m)	Accesorios		ΔP (mmca)
						Tipo	L _{eq} (m)	
1-2	15,333	14,0	1,095	1200x950	3,55	-----	-----	0,568
2-3	15,333	14,0	1,095	1200x950	-----	Codo 90°	6,77	1,083
3-4	15,333	14,0	1,095	1200x950	3,88	-----	-----	0,621
5-6	3,067	10,4	0,296	550x550	-----	Doble Codo 90°	11	1,76
6-7	3,067	10,4	0,296	550x550	1,7	Rejilla lateral	-----	0,272
7-8	2,044	6,9	0,296	550x550	-----	Reducción	-----	1,43
		11,0	0,186	500x400				
8-9	2,044	11,0	0,186	500x400	1,7	Rejilla lateral	-----	0,272
9-10	1,022	5,5	0,186	500x400	-----	Reducción	-----	1,763
		11,0	0,093	350x300				
10-11	1,022	11,0	0,093	350x300	1,2	Rejilla lateral	-----	0,192
4-12	12,266	11,2	1,095	1200x950	-----	Reducción	-----	0,846
		13,0	0,944	1100x900				
13-14	4,6	10,7	0,429	750x600	3,1	Rejilla Inferior	-----	0,496



Capítulo IV Desarrollo de la investigación



14-15	3,067	7,1	0,429	750x600	-----	Reducción	-----	1,372
		11,0	0,279	600x500				
15-16	3,067	11,0	0,279	600x500	1,7	Rejilla Inferior	-----	0,272
16-17	1,533	5,5	0,279	600x500	-----	Reducción	-----	1,804
		11,0	0,139	500x300				
17-18	1,533	11,0	0,139	500x300	1,4	Rejilla Inferior	-----	0,224
12-19	7,666	8,1	0,944	1100x900	1,6	-----	-----	0,256
19-20	7,666	8,1	0,944	1100x900	-----	Reducción	-----	1,524
		12,0	0,639	950x700				
21-22	4,6	10,7	0,431	750x600	4,6	Rejilla Inferior	-----	0,736
22-23	3,067	7,1	0,431	750x600	-----	Reducción	-----	1,372
		11,0	0,279	600x500				
23-24	3,067	11,0	0,279	600x500	1,7	Rejilla Inferior	-----	0,272
24-25	1,533	5,5	0,279	600x500	-----	Reducción	-----	1,804
		11,0	0,139	500x300				
25-26	1,533	11,0	0,139	500x300	1,4	Rejilla Inferior	-----	0,224
20-27	3,066	4,8	0,639	950x700	3,5	-----	-----	0,56
27-28	3,066	4,8	0,639	950x700	-----	Reducción	-----	1,903
		11,0	0,279	600x500				
28-29	3,066	11,0	0,279	600x500	-----	Codo 90º	2,88	0,568
29-30	3,066	11,0	0,279	600x500	1,4	-----	-----	0,224
30-31	3,066	11,0	0,279	600x500	-----	Doble Codo 90º	8	1,6
31-32	3,066	11,0	0,279	600x500	1,7	Rejilla lateral	-----	0,272
32-33	2,044	7,3	0,279	600x500	-----	Reducción	-----	1,319
		11,0	0,186	500x400				
33-34	2,044	11,0	0,186	500x400	1,7	Rejilla lateral	-----	0,272
34-35	1,022	5,5	0,186	500x400	-----	Reducción	-----	1,804
		11,0	0,093	350x300				
35-36	1,022	11,0	0,093	350x300	1,2	Rejilla lateral	-----	0,192



Tabla 4.14.- Características de los ductos sección B.

Tramo	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Area (m ²)	Dimensiones (mm)	L tramo (m)	Accesorios		ΔP (mmca)
						Tipo	L _{eq} (m)	
1-2	12,777	14,0	0,913	1200x800	3,55	-----	-----	0,568
2-3	12,777	14,0	0,913	1200x800	-----	Codo 90º	5,8	0,928
3-4	12,777	14,0	0,913	1200x800	3,88	-----	-----	0,589
5-6	3,066	10,7	0,287	600x500	-----	Doble Codo 90º ^a	10	1,6
6-7	3,066	10,7	0,287	600x500	1,7	Rejilla lateral	-----	0,272
7-8	2,044	7,1	0,287	600x500	-----	Reducción	-----	1,372
		11,0	0,186	500x400				
8-9	2,044	11,0	0,190	500x400	1,7	Rejilla lateral	-----	0,272
9-10	1,022	7,3	0,140	500x400	-----	Reducción	-----	1,37
		11,0	0,093	350x300				
10-11	1,022	11,0	0,095	350x300	1,2	Rejilla lateral	-----	0,192
4-12	9,711	10,6	0,913	1200x800	-----	Reducción	-----	0,62
		12,0	0,809	1050x800				
13-14	4,6	10,3	0,448	800x600	3,1	Rejilla inferior	-----	0,496
14-15	3,067	6,8	0,448	800x600	-----	Reducción	-----	1,45
		11,0	0,279	600x500				
15-16	3,067	11,0	0,279	600x500	1,7	Rejilla Inferior	-----	0,272
16-17	1,533	5,5	0,279	600x500	-----	Reducción	-----	1,804
		11,0	0,139	500x300				
17-18	1,533	11,0	0,139	500x300	1,4	Rejilla Inferior	-----	0,224
12-19	5,111	6,3	0,809	1050x800	1,6	-----	-----	0,256
19-20	5,111	6,3	0,809	1050x800	-----	Reducción	-----	2,03
		12,0	0,426	750x600				
21-22	3,067	10,7	0,287	600x500	4,6	Rejilla inferior	-----	0,736
22-23	1,534	5,3	0,287	600x500	-----	Reducción	-----	1,81
		11,0	0,139	450x350				
23-24	1,534	11,0	0,139	450x350	1,7	Rejilla inferior	-----	0,272
20-25	2,044	4,7	0,436	750x600	3,5	-----	-----	0,56
25-26	2,044	4,7	0,436	750x600	-----	Reducción	-----	1,92
		11,0	0,186	500x400				
26-27	2,044	11,0	0,186	500x400	-----	Codo 90º	2,85	0,456
27-28	2,044	11,0	0,186	500x400	1,4	-----	-----	0,224
28-29	2,044	11,0	0,186	500x400	-----	Doble Codo 90º ^a	8	1,28
29-30	2,044	11,0	0,186	500x400	1,7	Rejilla lateral	-----	0,272



30-31	1,022	5,5	0,186	500x400	-----	Reducción	-----	1,804
		11,0	0,093	350x300				
31-32	1,022	11,0	0,093	350x300	1,5	Rejilla lateral	-----	0,24

4.5.7 Calibre de los ductos

Para dimensionar el calibre del ducto se hará uso de las normas ASHRAE y de los estándares para construcción de ductos para aire acondicionado de SMACNA, donde se establece que la dimensión mayor del ducto determinará el calibre del mismo para todos los lados. Por lo tanto cada sección del sistema diseñado tendrá un calibre definido según lo mostrado en la tabla a continuación:

Tabla 4.15.- Espesor de lamina para construcción de ductos rectangulares.

Dimensión Lado Mayor (mm)	Medidas mínimas de calibre	
	Acero galvanizado	
	(mm)	Calibre US std
Hasta 300	0,5	26
301-500	0,6	24
501-750	0,6	24
751-1050	0,8	22
1051-1350	0,8	22
1351-1500	1,0	20

4.5.8 Soportes de los ductos

Los soportes de los ductos se instalarán bajo los estándares SMACNA, donde se establece que la dimensión mayor del ducto determinará tanto el modelo de soporte como la



separación entre estos. En la sección de planos se muestra la distribución de los soportes mientras que en la tabla a continuación se presenta las características de este.

Tabla 4.16.- Soportes para ductos rectangulares.

Dimensión Lado Mayor (mm)	Platina o Soporte de Angulo	Distancia Máxima entre soportes (m)
Hasta 500	Pestaña inferior de 25 mm o platina continua	3,0
501-900	Marco ángulo de 25x25x3 mm	2,4
901-1200	Marco ángulo de 40x40x3 mm	2,4
1201-1500	Marco ángulo de 40x40x4 mm	2,4

4.5.9 Selección de las rejillas

El sistema de enfriamiento utilizará dos tipos de rejillas diferentes, dependiendo del caudal a manejar. Las primeras rejillas serán las correspondientes a los ductos ubicados en la parte lateral de las bobinas que manejan el 40% del caudal necesario para su enfriamiento, y las segundas son las colocadas en los ductos de la parte inferior del sistema, las cuales manejan el resto del caudal.

Para realizar la selección se consultaron catálogos comerciales de rejillas y utilizando como los datos correspondientes al caudal a manejar, la velocidad de salida y el área de la rejilla las cuales se muestran en la tabla 4.17, se seleccionó un producto que se pudiese adaptar a los requerimientos del sistema. (Anexo N°15)



Tabla 4.17.- Datos para selección de rejillas.

Rejilla	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /h)	V (m/s)	Área de rejilla
Laterales	1,0465	3767,4	11	0,095
Inferiores	1,5697	5650,92	11	0,143

Primero se determinan las dimensiones de la rejilla utilizando como dato el área y verificando que las dimensiones de las rejillas se adapten a las dimensiones del ducto. Se escogió para los ductos laterales unas rejillas de 250x500 y de 400x500 para las inferiores.

Luego con el caudal y la velocidad de salida, la cual se tomó de 10m/s, debido a que es la máxima que pueden manejar las rejillas, y asumiendo que el aire a su paso por ella aumentará más de 1 m/s, se determina el alcance del aire y las pérdidas ocasionadas por las rejillas.

Tabla 4.18.- Características de las rejillas

Rejilla	Dimensiones rejilla	Afree (m ²)	DPt (Pa)	Perdida de presión (mm.c.a)
Laterales	150x900	0,1	50	5,099
Inferiores	250x800	0,15	55	5,608

4.5.10 Determinación de camino crítico del sistema de suministro

El camino crítico es aquella ruta que genera más pérdidas y es en base a éste que se selecciona el ventilador de suministro. Dado que los tramos están diseñados por el método de igual fricción, el camino crítico será la ruta de mayor longitud y mayor pérdida por accesorios. Para realizar el estudio del camino crítico y posteriormente seleccionar el ventilador se estudiará la sección A del sistema, ya que por ser más larga que la B, las pérdidas generadas en este serán mayores y el mismo ventilador podrá satisfacer el caudal de aire requerido por ambas secciones.



Tabla 4.19.- Camino y tramos que lo conforman, para ambas secciones

Camino	Tramos
1-11	(1-2) – (2-3) – (3-4) – (5-6) – (6-7) – (7-8) – (8-9) – (9-10) – (10-11)
1-18	(1-2) – (2-3) – (3-4) – (4-12) – (13-14) – (14-15) – (15-16) – (16-17) – (17-18)
1-26	(1-2) – (2-3) – (3-4) – (4-12) – (12-19) – (19-20) – (21-22) – (22-23) – (23-24) – (24-55) – (25-26)
1-36	(1-2) – (2-3) – (3-4) – (4-12) – (12-19) – (19-20) – (20-27) – (27-28) – (28-29) – (29-30) – (30-31) – (31-32) – (32-33) – (33-34) – (34-35) – (35-36)

Los valores de las pérdidas en cada tramo se muestran en la tabla 4.13. Sumando cada una de ellas siguiendo los distintos caminos se obtiene:

- Camino 1-11 = 7,691 mm.c.a.
- Camino 1-18 = 12,975 mm.c.a.
- Camino 1-26 = 17,791 mm.c.a.
- Camino 1-36 = 26,505 mm.c.a.

Entonces el camino crítico, es el camino 1-23, con pérdidas de **26,505 mm.c.a.**

4.5.11 Selección del ventilador

Para la selección del ventilador, es necesario conocer el caudal de aire y la disponibilidad requerida por el sistema, las cuales se presentan a continuación:

- **Caudal de aire requerido:** El caudal requerido para la sección A del diseño es de $15,333 \text{ m}^3/\text{s}$ (32488,79 PCM).
- **Disponibilidad requerida:** las pérdidas totales del sistema vienen dadas por las pérdidas en la succión y en la descarga del ventilador. Las pérdidas en la succión vienen dadas por una etapa de filtración, realizada mediante la utilización de un banco de filtros



que se encargue de evitar el paso de partículas que puedan contaminar el material y asimismo proteger el ventilador. Las pérdidas en las descargas están dadas por las pérdidas por rejillas, a la salida de cada ramal, y que sirven para regular el caudal en cada tramo y las pérdidas en la red de conductos, tomando como criterio el camino crítico. En la tabla siguiente se presentan las pérdidas aportadas por cada uno de los elementos del sistema, así como las pérdidas totales.

Tabla 4.20.- Disponibilidad requerida para el ventilador de suministro de are del sistema.

Pérdidas Accesorio	Sección A (mmca)
Rejillas	5,608
Camino crítico	26,505
Banco de filtros	13,695
Disponibilidad requerida	45,808

- **Corrección por altitud y temperatura:** la corrección por altitud y temperatura se realiza mediante el Anexo N°16; mediante éste, se determina el factor de corrección de acuerdo a la temperatura y la altura sobre el nivel del mar a la cual se encuentra el lugar de trabajo. La empresa está ubicada en Guacara, Edo. Carabobo, por lo que se tomará una altura aproximada 440,44 metros sobre el nivel del mar y una temperatura promedio de 30°C. Con estos valores se tiene que el factor de corrección (fr) es de 1,09.

Al multiplicar el factor de corrección por (h_{Tcor}) para seleccionar el ventilador:

$$\text{Sección A: } h_{Tcor} = 49,93 \text{ mmca}$$

Luego se selecciona el ventilador utilizando el Anexo N°17:



- Fabricante: Fredive SFP-44
- $Q = 15,697 \text{ m}^3/\text{s}$ (34200 PCM)
- RPM = 901
- Velocidad de salida = 15,24 m/s (3000 PPM)
- $h_T = 50,8 \text{ mm.c.a.}$ (2 plg.c.a.)
- Pot = 15.66 kW (21 bhp)
- La potencia requerida por el ventilador, se divide entre el f_r , para obtenerla potencia requerida real, obteniéndose $\text{Pot}_{\text{cor}} = 14,366 \text{ kW}$ (19,26 bhp)

4.5.12 Comportamiento térmico del sistema de enfriamiento diseñado

A fin de realizar el diseño del sistema de enfriamiento seleccionado, y al igual que con el sistema de enfriamiento actual, se requiere generar un modelo matemático que permita determinar el comportamiento de la bobina durante el nuevo proceso de enfriamiento. Para este procedimiento se parte de igual manera del establecimiento de que los medios de transferencia de calor presentes en el proceso son la convección y la radiación, puesto que se desprecia el contacto existente entre la bobina y el suelo. La radiación igualmente será omitida durante el desarrollo del análisis y se asumirá que todo el calor emitido por la bobina durante su enfriamiento es disipado por el proceso de la convección.

Por otro lado, los factores como: las condiciones ambientales, la variación de la temperatura inicial y final de la bobina, la temperatura del aire para la determinación de sus propiedades térmicas, no variarán respecto a las determinadas para el sistema de enfriamiento actual. Sin embargo, las condiciones del aire de suministro presentan modificaciones puesto que en el sistema de ductos varía tanto la velocidad como la distribución. A continuación se describe el análisis de cada uno de estos factores.



4.5.12.1 Flujo de aire suministrado y comportamiento alrededor de la bobina.

Para realizar el estudio convectivo del sistema de enfriamiento, se dividió en forma similar que en el estudio del sistema de enfriamiento actual, la bobina en cuatro áreas cuyas geometrías se adaptaban a modelos matemáticos establecidos la bibliografía consultada. Dicha medida permite el cálculo de un coeficiente convectivo local para luego obtener un valor promedio de este coeficiente alrededor de la bobina (Apéndice III). Para determinar el comportamiento del aire en cada área de la bobina se recurrió a las especificaciones establecidas durante el diseño de los ductos de ventilación, puesto que la configuración de suministro del aire fue modificada según lo muestra la figura 4.26. En la misma se muestra la dirección del flujo de aire del sistema de enfriamiento propuesto.

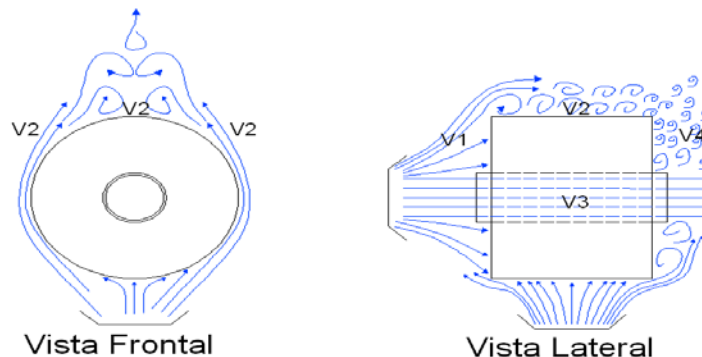


Figura 4.26.- Flujo de aire para el sistema propuesto

4.5.12.2 Velocidad de aire de suministro

La velocidad del flujo de aire se determinó a partir de las especificaciones establecidas durante el diseño de los ductos de ventilación, teniendo en cuenta que la velocidad del aire a la salida del ducto no será la misma con la que llega a la bobina, pues el fluido debe



trasladarse una distancia que genera una pérdida de energía cinética. La misma se determinó a partir del sistema de enfriamiento actual, tal como se muestra en el Apéndice VI, los valores de las velocidades se presenta en la tabla a continuación:

Tabla 4.21- Análisis del flujo de aire alrededor de la bobina para el sistema propuesto

Velocidad	Zona de la bobina	Configuración del flujo	Promedio (m/s)
V1	Extremo bobina con ventilación directa	Flujo sobre pared con ventilación directa	9,3
V2	Lateral de la bobina	Flujo alrededor de un cilindro	9,3
V3	Cara interna del Core	Flujo a través de un ducto	9,3
V4	Extremo bobina con ventilación indirecta	Flujo sobre pared con ventilación indirecta	2

Una vez establecidos los factores que influyen durante el enfriamiento de las bobinas, se determina el coeficiente convectivo promedio. Con este y la geometría de la bobina se procede a definir el régimen de transferencia de calor del cuerpo a través del número de Biot; además, debido a que se estudiarán las bobinas con las mismas dimensiones del sistema de enfriamiento actual, la longitud corregida no varía respecto a la obtenida en el punto 4.5.1.

Para establecer el coeficiente convectivo promedio se seguirá el mismo procedimiento desarrollado durante el estudio del sistema de enfriamiento actual, donde se establecen los coeficientes convectivos locales para determinar posteriormente el coeficiente convectivo promedio existente en la bobina. En la tabla que se presenta a continuación, se muestra el resumen de los resultados obtenidos para cada área en estudio. Los cálculos se presentan en el Apéndice VI.



Tabla 4.22.- Resultados obtenidos del análisis térmico del sistema de enfriamiento diseñado

Configuración del flujo	Numero de Reynolds	Numero de Nusselt	Coefficiente convectivo local $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$
Flujo sobre pared con ventilación directa	298725,934	565,526	22,407
Flujo sobre pared con ventilación indirecta	64242,136	176,249	6,983
Flujo a través de un ducto	182749,983	224,249	14,524
Flujo alrededor de un cilindro	597451,869	797,066	15,790

Finalmente, sustituyendo cada uno de los parámetros en la ecuación de Biot tenemos:

$$N^{\circ} BIOT = \frac{0,2038 \cdot 14,926}{210} \quad Ec. 3$$

$$N^{\circ} BIOT = 0,0145$$

Dado que BIOT resulto menor que 0,1 se puede asumir que la bobina se encuentra con una temperatura uniforme en la superficie de ésta.

Para el diseño de los ductos de ventilación se estableció el tiempo mínimo de enfriamiento en 18 horas de acuerdo a lo requerido por la empresa. Como método de comprobación de que el sistema enfriará la bobina en el tiempo establecido, se procede a determinar el tiempo de enfriamiento teórico de la bobina para este sistema. Empleando el mismo procedimiento utilizado en el punto 4.5.1.4, se obtiene que el tiempo de enfriamiento será de $t = 66934,29 s = 18,593 \text{ horas}$, (Apéndice VI). Comparando el resultado obtenido



con el tiempo requerido por la empresa, se verifica que el sistema de enfriamiento diseñado satisface las necesidades de la empresa.

Para determinar el calor emitido por una bobina durante las 18,593 horas de enfriamiento se estudiará la transferencia de calor en régimen transitorio para una configuración geométrica bidimensional formada por la intersección de dos configuraciones unidimensionales ^[5]. A través de la siguiente expresión matemática, se llevará a cabo el análisis de la bobina donde se asumió a la misma como un cilindro macizo.

$$\left(\frac{Q}{Q_{max}}\right)_{total\ 2D} = \left(\frac{Q}{Q_{max}}\right)_1 + \left(\frac{Q}{Q_{max}}\right)_2 \cdot \left[1 - \left(\frac{Q}{Q_{max}}\right)_1\right] \quad Ec. 35$$

Para determinar los parámetros Q/Q_{max1} y Q/Q_{max2} es necesario calcular tanto el número de Biot como de Fourier para un cilindro finito y una pared finita.

4.5.12.3 Determinación de números a dimensionales para placa de espesor 2L

- **Número de Biot**

$$Bi = \frac{h_c \cdot L}{k}$$

Siendo:

h_c : Coeficiente convectivo promedio de la bobina. (W/m²·k)

2L: Ancho de la bobina. (m)

k: Conductividad térmica del aluminio AA-8011. (W/m·k)

Sustituyendo cada término se obtiene:



$$Bi = \frac{14,926 \cdot 0,66}{210} = 0,0469$$

- **Número de Fourier**

$$Fo = \frac{\alpha \cdot t}{Lc^2} \quad Ec. 36$$

Siendo:

t : Tiempo de enfriamiento de la bobina (s)

$2Lc$: Ancho de la bobina (m)

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot Cp} \quad Ec. 37$$

$$\alpha = \frac{210}{2710 \cdot 900} = 8,61 \times 10^{-5}$$

Finalmente sustituyendo cada parámetro

$$Fo = \frac{8,61 \times 10^{-5} \cdot 66934,30}{0,66^2} = 13,23$$

Conocido tanto el número de Biot como Fourier para una placa infinita, se emplean las gráficas de Heysler (Anexo N° 18), y se obtiene el parámetro $\left(\frac{Q_0}{Q_{max}}\right)_{pared\ plana} = 0,5$

4.5.12.4 Determinación de números a dimensionales para cilindro largo

- **Número de Biot**

$$Bi = \frac{h_c \cdot r_0}{k}$$

Siendo

h_c : Coeficiente convectivo promedio de la bobina. (W/m²k)



r_o : radio de la bobina. (m)

k : Conductividad térmica del aluminio AA-8011. (W/m·k)

Sustituyendo cada término se obtiene:

$$Bi = \frac{14,926 \cdot 0,85}{210} = 0,0604$$

- **Número de Fourier**

$$Fo = \frac{\alpha \cdot t}{Lc^2}$$

Siendo

t : Tiempo de enfriamiento de la bobina (s)

Lc : Radio de la bobina (m)

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot Cp}$$

$$\alpha = \frac{210}{2710 \cdot 900} = 8,61 \times 10^{-5}$$

Finalmente sustituyendo cada parámetro

$$Fo = \frac{8,61 \times 10^{-5} \cdot 66934,30}{0,85^2} = 7,977$$

Conocido tanto el número de Biot como Fourier para una placa infinita, se emplean las gráficas de Heysler (Anexo N° 19), y se obtiene el parámetro $\left(\frac{Q_0}{Q_{max}}\right)_{cilindro\ infinito} = 0,65$

Obtenidos los términos anteriormente mencionados y sustituyendo en la ecuación Ec.35



$$\left(\frac{Q}{Q_{max}}\right)_{total\ 2D} = (0,5)_1 + (0,65)_2 \cdot [1 - (0,5)_1]$$

$$\left(\frac{Q}{Q_{max}}\right)_{total\ 2D} = 0,825$$

El calor emitido por la bobina analizada a través del régimen transitorio será definido como:

$$Q_t = (Q/Q_0) \cdot Q_0 \quad Ec. 38$$

Siendo Q_0 el calor máximo que se puede transferir desde el cilindro determinado en el apéndice IV, el mismo resultado $Q_0 = 2428687,387\ KJ$ por lo tanto la transferencia de calor total desde el cilindro durante las 18,593 horas de enfriamiento es:

$$Q_t = (0,825) \cdot 2428687,387 = 2003666,775\ KJ$$

4.5.13 Diseño y cálculos de las estibas de soporte del sistema de enfriamiento propuesto

Para el cálculo del diseño del sistema de soporte de las bobinas, se tomará como muestra la estiba que sustente el mayor número de bobinas, ya que es sobre esta donde se aplicará la mayor carga. En la figura 4.27 se visualiza el arreglo de las bobinas según lo establecido en el diseño para la estiba con mayor carga.

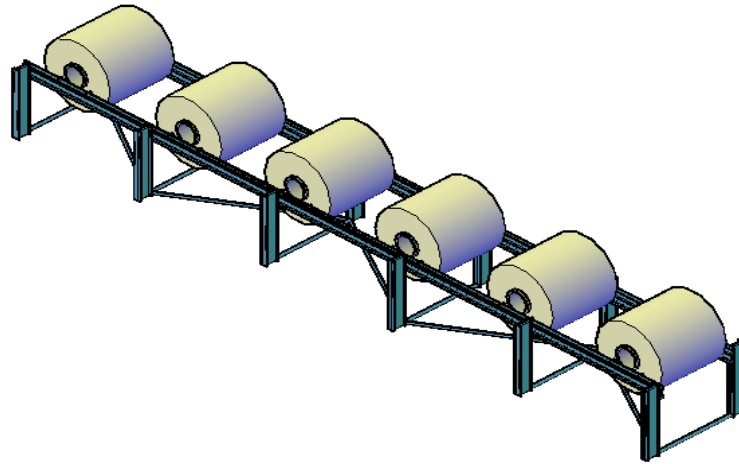


Figura 4.27.- Diagrama propuesta N°4, vista lateral

El máximo peso que debe soportar la estiba será de 24 toneladas aproximadamente, producto de las 6 bobinas que reposan sobre ella, la carga total ejercida será distribuida uniformemente entre las 12 columnas que sostienen las dos vigas principales del sistema.

A continuación se procederá al diseño por flexión y corte directo solo para una de las vigas principales, dado que cada una recibe la mitad del peso total; para el caso de las columnas de soporte, se realizará el diseño por compresión y pandeo en aquella que reciba la mayor carga.

4.5.13.1 Análisis de fuerzas aplicadas

A fin de identificar correctamente todas las fuerzas potenciales y momentos en el sistema mostrado, es necesario situarlas en el espacio donde éstas se ubicarán. A continuación se muestran las dimensiones de la estiba sometida a mayor esfuerzo así como la posición de las bobinas que reposan sobre ella.

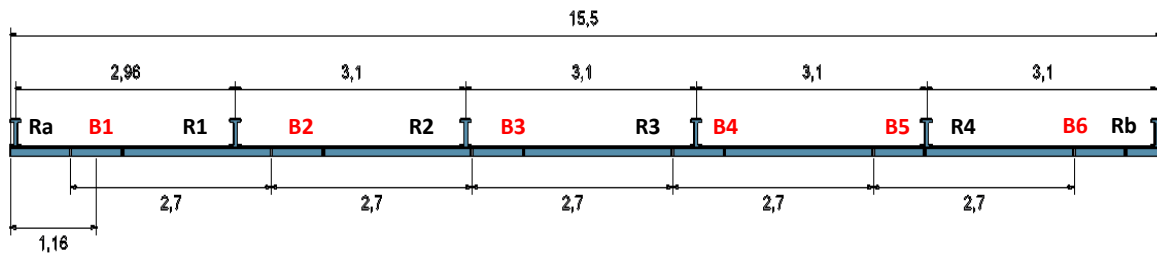


Figura 4.28.- Dimensiones de la viga principal y posiciones de las cargas y reacciones proveniente de las bobinas (vista de planta)

4.5.13.2 Diagrama de cuerpo libre

En cada una de las columnas se produce una reacción originada por el peso que ejercen las bobinas; para determinar el módulo de cada una de estas reacciones es necesario elaborar el diagrama de cuerpo libre de la viga de apoyo de la estiba.

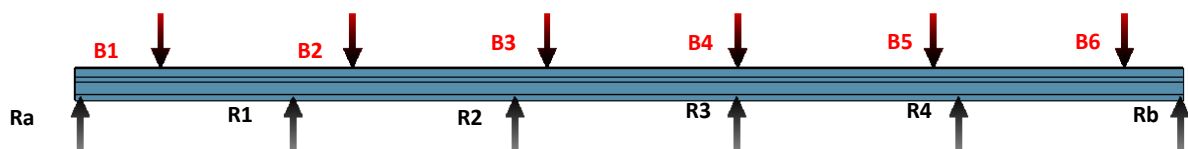


Figura 4.29.- Diagrama de cuerpo libre de la viga principal del sistema de estibas

En relación a la figura 4.29, se realiza el análisis de las fuerzas aplicadas perpendicularmente al eje de la viga, la sumatoria de momentos que producen estas sobre la estructura y mediante el uso de un software para el estudio de estructuras de este tipo, se obtiene el valor de las reacciones, cuyos resultados se muestran a continuación:

- $R_a = 1820,560 \text{ Kg}$
- $R_b = 2717,909 \text{ Kg}$
- $R_1 = 5267,875 \text{ Kg}$
- $R_2 = 4464,871 \text{ Kg}$
- $R_3 = 4461,938 \text{ Kg}$
- $R_4 = 5266,845 \text{ Kg}$



4.5.13.3 Diagrama de corte y diagrama de momento aplicado a la viga

Debido a los efectos de las fuerzas aplicadas determinadas en el punto anterior, el estudio de la flexión presenta variaciones de una sección a otra. Los esfuerzos generados por estas fuerzas son del tipo cortante y flexionante. Para el estudio de este fenómeno, a continuación se muestran los diagramas de esfuerzos para la longitud de la viga principal de la estiba, para el cálculo de estos gráficos se utilizaron las ecuaciones indicadas en el Capítulo II.

Grafico N° 2.- Diagrama de fuerza cortante sobre viga principal de las estibas

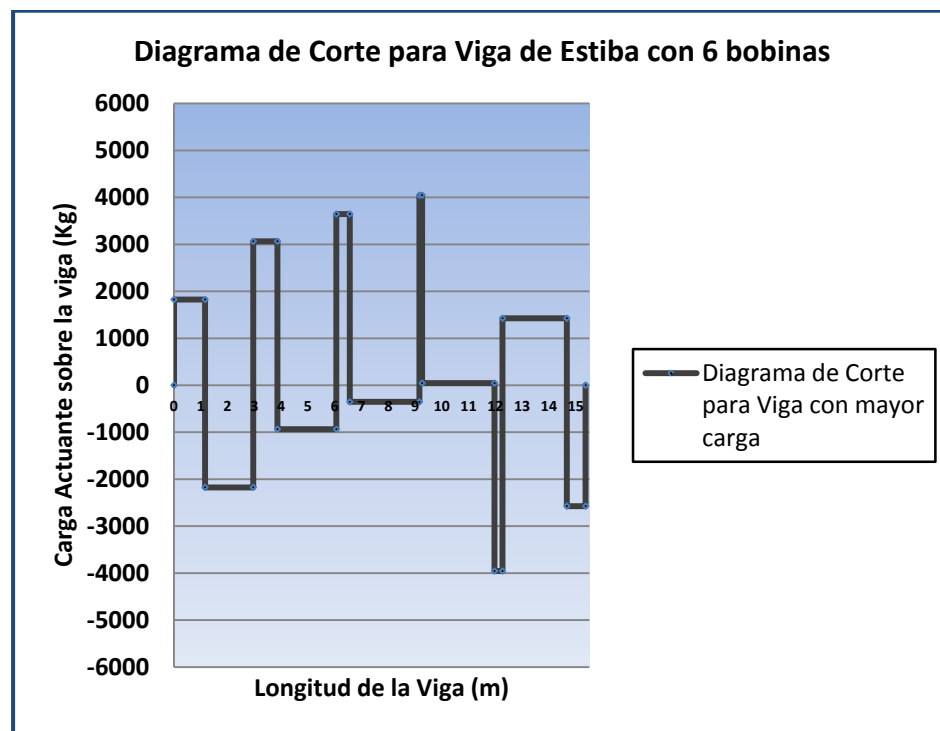
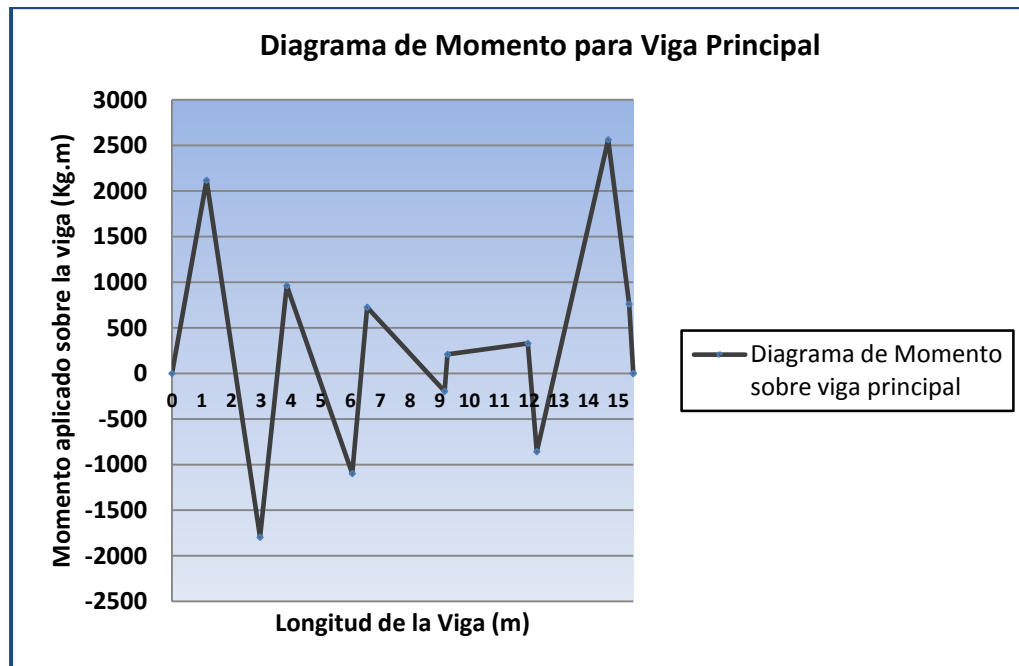




Grafico 3.- Diagrama de Momento sobre viga principal de las estibas



4.5.13.4 Selección de perfil de viga

La selección del perfil de la viga a emplear para el diseño del sistema de estibas de soporte, se realizará a partir del análisis de esfuerzos que actúan sobre esta. Para dicha acción se consultaron catálogos de perfiles comerciales existentes en el mercado (Anexo N° 20)

- **Diseño por momento flector**

Para escoger una determinada sección y aplicarla como viga es necesario establecer que el momento que puede resistir la misma debe ser igual o menor al momento flexionante máximo aplicado. Esta condición puede expresarse por la desigualdad:



$$S_x \geq \frac{M_{maximo}}{\sigma_{trabajo}} \quad Ec. 39$$

La expresión anterior indica que la sección debe elegirse de manera que su módulo resistente sea igual o mayor que la relación del momento flexionante al esfuerzo admisible.

Establecido el factor de seguridad (Apéndice VII), y conocido el módulo del esfuerzo de fluencia proporcionado por la empresa productora de perfiles Properca, definimos el esfuerzo de trabajo admisible por el sistema.

$$F_s = \frac{\sigma_{fluencia}}{\sigma_{trabajo}} \quad Ec. 40$$

$$\sigma_{trabajo} = \frac{25,30}{3} = 8,433 \frac{kg}{mm^2}; 8,433E6 \frac{kg}{m^2}$$

Observando el diagrama de momento sobre la viga principal, se obtiene como momento flector máximo un valor de 2111,8496 Kg.m, por lo tanto sustituyendo cada parámetro en la desigualdad de diseño tenemos que:

$$S_x \geq \frac{2111,8496}{8,433E6}$$

$$S_x \geq 2,50427E - 4 m^3 = 250,42cm^3$$

Comparando este valor con aquellos que están descritos en el catálogo para perfiles de vigas serie estándar Properca se determina que el perfil que cumple con el criterio de diseño es el modelo Vp 250 x 29,4, teniendo un módulo de 351 cm³. Las características y dimensiones del elemento se presentan a continuación

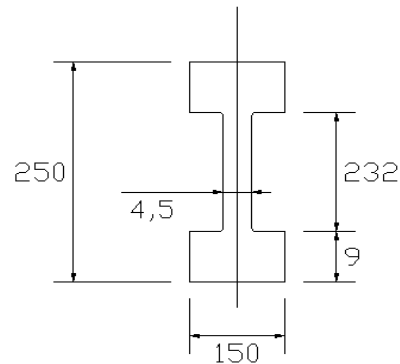


Figura 4.30.- Dimensiones del Perfil de Viga

- **Diseño por corte directo**

Para determinar si el perfil seleccionado como viga es capaz de soportar la carga que le está siendo aplicada, debemos saber si el esfuerzo de trabajo actuante es menor o igual al esfuerzo último que puede resistir el elemento. Esta condición puede expresarse por la desigualdad:

$$\sigma_{trabajo} < \sigma_{ultimo}$$

El módulo del esfuerzo último es proporcionado por la empresa productora de perfiles Properca, el mismo es igual a $4080 \frac{kg}{cm^2}$, mientras que el esfuerzo de trabajo se determina bajo la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{V_{max}}{A} \quad Ec. 12$$

Donde V es la fuerza de corte máxima aplicada sobre la viga obtenida a partir del diagrama de corte mostrado anteriormente, A es el área de sección transversal de la viga y σ es el esfuerzo de trabajo aplicado sobre la viga. Por lo tanto sustituyendo tenemos:



$$\sigma_{trabajo} = \frac{4000}{37,4} = 106,951 \frac{kg}{cm^2}$$

Comparando ambos esfuerzos se concluye que la viga es capaz de soportar los esfuerzos de flexión y los esfuerzos de corte directo.

- **Deformación en la viga**

Una vez definida la viga principal de apoyo del sistema de estibas es necesario determinar la deformación que sufrirá la misma al ser sometida a las cargas para las cuales fue diseñada. Para ello se utilizará el cálculo de flechas sobre vigas ^[14] donde se busca establecer la ecuación característica de la viga. La misma quedará definida como:

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = M = RaX - B1(X - 1,16) + R1(X - 2,96) - B2(X - 3,86) + R2(X - 6,06) - B3(X - 6,56) + R3(X - 9,16) - B4(X - 9,26) - B5(X - 11,96) + R4(X - 12,26) - B6(X - 14,66) \quad Ec. 41$$

El desarrollo de la ecuación anterior se muestra en el apéndice VII, obteniéndose como resultado un valor de deflexión en la viga de $Y = -1,18E-3$ m, visto en otras unidades $Y = 1,18$ mm, valor que permite asegurar la rigidez del sistema de estibas.

4.5.13.5 Diseño de la columna a compresión y pandeo

Inicialmente, es necesario establecer si las columnas de soporte de la viga principal pertenecen a la categoría de columnas largas o columnas cortas, y posteriormente, según sea el caso, estudiar el efecto de pandeo que pudiera producirse en la misma. En la siguiente figura se muestran las dimensiones de la columna a estudiar:

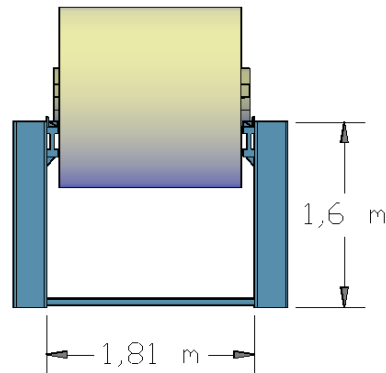


Figura 4.31.- Dimensiones de Columnas de Apoyo

- **Diseño de la columna a compresión**

Para el diseño de las columnas se tomará como base de cálculo aquella que reciba la mayor carga por parte de las bobinas. Se tomará un factor de seguridad igual a tres (3) por las mismas razones mencionadas durante el diseño de la viga a flexión. El esfuerzo de trabajo se obtendrá a partir del esfuerzo máximo admisible por la columna, de acuerdo al catálogo consultado, el mismo es igual a $4080 \frac{kg}{cm^2}$. Posteriormente se determinará el área mínima requerida de la sección transversal de la columna que se utilizará como soporte del sistema. A continuación se determina el esfuerzo máximo admisible a partir del factor de seguridad.

$$F_S = \frac{\sigma_{ultimo}}{\sigma_{trabajo}}$$

Despejando el esfuerzo de trabajo admisible y sustituyendo cada término tenemos:

$$\sigma_{trabajo} = \frac{\sigma_{ultimo}}{F_S}$$

$$\sigma_{trabajo} = \frac{4080}{3} = 1360 \frac{kg}{cm^2}$$



Por lo tanto, el área mínima requerida de la sección transversal de la columna que se utilizará como soporte del sistema de estibas será determinada a través de la siguiente expresión:

$$\sigma_{trabajo} = \frac{F}{A_{viga}}$$

Despejando el área de la viga y sustituyendo cada parámetro se obtiene

$$A_{viga} = \frac{5523,292}{1360} = 4,061 \text{ cm}^2$$

Comparando este valor con aquellos que están descritos en el catálogo antes mencionado, se determina que el perfil que cumple con el criterio de diseño es el modelo Vp 120x 9,70, el cual posee un área de 12,3 cm². Las características y dimensiones del elemento se presentan a continuación:

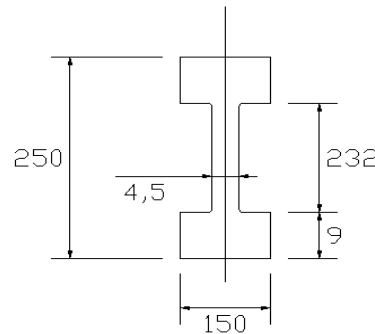


Figura 4.32.- Dimensiones del Perfil de las columnas

- **Diseño de falla por pandeo en perfil seleccionado**

Una columna corta fallará a compresión, mientras que cuando la carga axial aplicada exceda algún valor crítico, una columna intermedia o larga fallará por pandeo. El factor que determina si una columna es corta o larga es su razón de esbeltez (Sr)^[11], por lo que es



necesario verificar si las dimensiones establecidas en las columnas del sistema de estibas hacen que las mismas sean consideradas como columnas cortas o largas. Para ello será empleada la relación de esbeltez la cual relaciona la longitud de la viga con la menor dimensión de la sección

$$Sr = \frac{l}{k} \quad Ec. 42$$

Donde

$$k = \sqrt[2]{\frac{I}{A}} \quad Ec. 43$$

Sustituyendo cada parámetro se obtiene

$$k = \sqrt[2]{\frac{75}{12,3}} = 2,46$$

Finalmente se obtiene la relación de esbeltez

$$Sr = \frac{1,60E2}{\sqrt[2]{\frac{75}{12,3}}} \rightarrow Sr = 64,795$$

- **Criterio para clasificación de columnas**

Una vez determinada la relación de esbeltez, se procede a la clasificación del tipo de columna mediante el siguiente criterio:

Relación de esbeltez para columna corta



$$Sr \leq 10$$

Relación de esbeltez para columna larga

$$Sr \geq 10$$

Dado el resultado, la columna en la estiba es considerada como larga, por lo tanto para el cálculo por efecto del pandeo se determinara a través de la siguiente expresión.

$$\frac{P_{ctr}}{A} = \frac{S_y}{1 + \left(\frac{ec}{k^2}\right) \cdot \sec\left(\frac{L_{effec}}{k} \cdot \sqrt{\frac{P}{4 \cdot E \cdot A}}\right)} \quad Ec. 44$$

En este caso, para la relación de esbeltez es necesario tomar en cuenta un factor de longitud efectiva según sea la terminación de la columna (Anexo N° 21), siendo esta del tipo fija-libre se establece la longitud efectiva como

$$L_{effec} = 2.1 \cdot L$$

Sustituyendo los valores se obtiene

$$L_{effec} = 2.1 \cdot 1,6 = 3,36 \text{ m}; 336 \text{ cm}$$

Este valor es recomendado por la AISC en su manual of steel construction, por ende sustituyendo cada uno de los valores en la ecuación de pandeo

$$\frac{P_{ctr}}{12,3} = \frac{2530}{1 + \left(\frac{1,25}{2,46^2}\right) \cdot \sec\left(\frac{336}{2,46} \cdot \sqrt{\frac{P_{ctr}}{4 \cdot 2,1E6 \cdot 12,3}}\right)}$$

$$P_{ctr} = 20633,467 \text{ Kg}$$



Calculando el factor de seguridad existente en el sistema tenemos que

$$F_s = \frac{P_{ctr.adm}}{P_{actuante}}$$

$$F_s = \frac{11606,163}{5523,292} = 2,101$$

Conocido el resultado el sistema deberá soportar la carga axial exigida, sin ningún inconveniente.

4.5.13.6 Refuerzos en las estibas

A pesar de que el sistema de estibas para el soporte de las bobinas fue diseñado en base a las condiciones críticas de cargas (estiba con 6 bobinas y peso máximo 8 Ton), se recomendó el empleo de elementos que ofrecen un refuerzo a la estructura a lo largo de la misma, por tal motivo se incluyen dentro del diseño el uso de un tubo de tres pulgadas dispuesto en forma triangular uniendo las columnas unas de otras; además que el mismo restringe el desplazamiento de las columnas horizontalmente. La figura a continuación muestra la ubicación del elemento dentro de la estructura, en ella destaca que el refuerzo debe ir lo más cerca del suelo, pues encima de estos estarán los ductos de ventilación del sistema de enfriamiento.

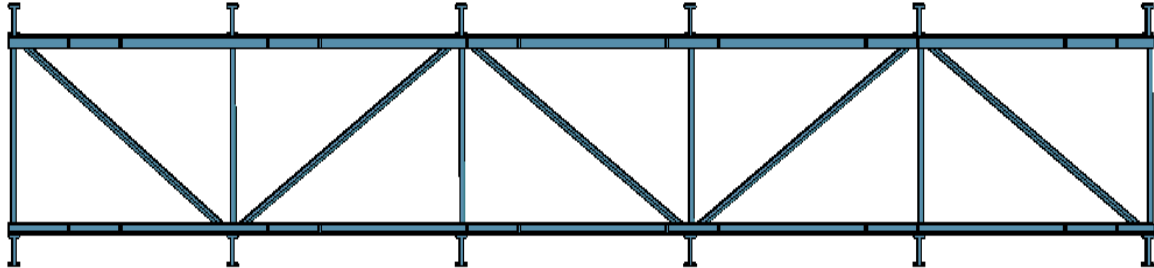


Figura 4.33.- Posición de Tubo refuerzo.

Adicional al tubo se colocará una plancha de acero de media pulgada de espesor, la cual se ubicará en la parte inferior de la viga principal de soporte, ello dará mayor rigidez a la estructura y aumentará la resistencia al impacto de la misma. En la figura a continuación se detalla la geometría de este refuerzo.

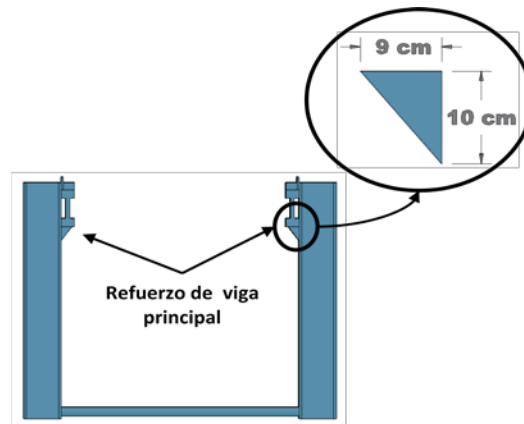


Figura 4.34.- Posición de plancha de refuerzo.

4.5.14 Diseño y cálculos de la soldadura en el sistema de estibas

Para el diseño y cálculo de la soldadura que será requerida en la estructura metálica, se tomará en consideración aquella zona de la estiba que reciba el mayor esfuerzo por parte del conjunto de bobinas que se encuentran sobre la viga principal. Esta información se



obtendrá a partir del diagrama de corte y momento de la viga publicado en la sección de diseño del sistema de estibas (la zona con mayor esfuerzo resultó a 9,26 m con una carga de 4015 Kg).

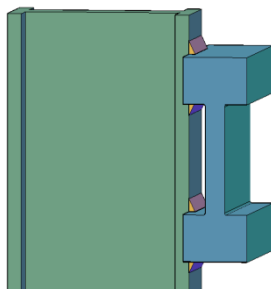


Figura 4.35.- Posición de la soldadura

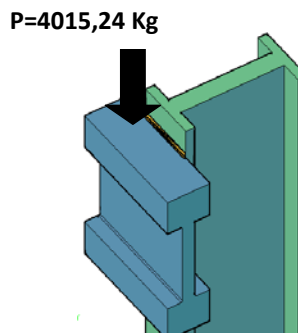


Figura 4.36.- Punto aplicación de la carga

4.5.14.1 Diseño de la soldadura

Durante esta etapa, se busca establecer las dimensiones mínimas que debe tener el cordón de soldadura para que sea capaz de soportar las cargas a las cuales estará sometido, para ello se debe calcular el esfuerzo de trabajo actuante y posteriormente calcular la longitud de la garganta.

Como se muestra en el Apéndice VIII, la distribución de la carga quedará definida por el número de cordones de soldadura que se coloquen, para este caso como se establecieron 4 cordones (separados en 2 pares) cada par recibirá la mitad de la carga total aplicada, sobre la estiba la misma resultó de $P=2007,622$ Kg.

Analizando las fuerzas y momentos resultantes sobre el cordón de soldadura, se obtiene que el mismo recibe esfuerzos del tipo Corte directo y esfuerzos por Momento Flector. Por lo tanto el esfuerzo resultante será la combinación de ambos. Donde para cada eje el esfuerzo total será:

$$\bar{\sigma}_r = \bar{F}_v + \bar{F}_M$$



Siendo F_v el esfuerzo por corte directo, mientras que F_m será esfuerzo flector sobre la soldadura. Analizando cada uno de estos esfuerzos de forma individual sobre la soldadura tenemos:

- **El esfuerzo por corte directo**

$$F_v = \frac{P_{act}}{A_w} \quad Ec. 22$$

Donde

P_{act} = Carga aplicada sobre el cordón de soldadura (Kg)

A_w = longitud total del cordón de soldadura (cm)

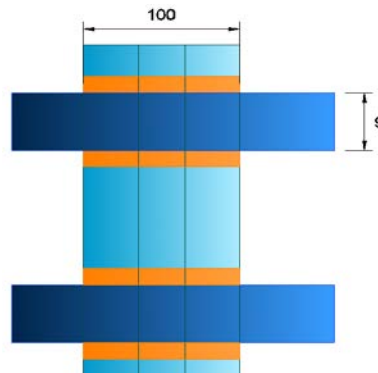


Figura 4.37 Posición de la soldadura y aplicación de la carga

Por lo tanto determinando la longitud para un par de la soldadura en estudio se obtiene

$$A_w = 100 + 100 = 200 \text{ mm} \rightarrow 20 \text{ cm}$$

Sustituyendo cada término finalmente tenemos que

$$F_v = \frac{2007,622}{20} \rightarrow F_v = 100,3811 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}}$$



- El esfuerzo flector

$$F_M = \frac{M \cdot C}{I} \quad Ec 23$$

Analizando el momento flector aplicado sobre la soldadura, a partir del diagrama de momento de la estiba se obtiene el punto de mayor carga en la misma, por lo tanto el mismo resultado igual a $M = 2111,8496 \text{ Kg} \cdot \text{m}$

Los valores de (C) e (I) se obtendrán a partir del Anexo N° 22, según la geometría de la soldadura. La figura a continuación muestra las dimensiones de la misma:

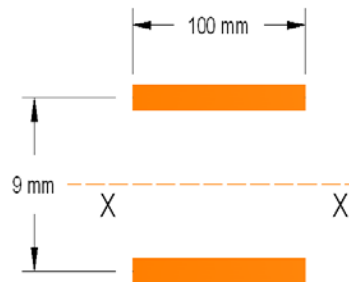


Figura 4.38.- Geometría de la soldadura a realizar

En la figura anterior se presenta que (C) es la distancia existente entre los cordones de soldadura respecto al centro de gravedad de la misma, mientras que (I) es el momento de inercia en relación al eje centroidal de la soldadura

Finalmente sustituyendo cada término tenemos que



$$F_M = \frac{2111,8496 E3 \cdot (4,5)}{\frac{(9)^2 \cdot 100}{2}} = 2346,5 \frac{Kg}{m m} = 234,65 \frac{Kg}{c m}$$

El esfuerzo combinado entre ambos ejes queda entonces definido como:

$$\sigma_r = \sqrt{(100,3811)^2 + (234,65)^2} = 255,22 \frac{Kg}{cm^2}$$

Calculando el espesor efectivo de la garganta será

$$T_s = \frac{\sigma_r}{S_v} \quad \text{Ec. 45}$$

Conocido el material base se establece al electrodo del tipo E7018 como material de aporte, el mismo presenta las siguientes especificaciones según lo mostrado en el Anexo N° 23:

$$S_u = 70 \text{ Ksi}; 4921.487 \frac{kg}{cm^2}$$

Para determinar el esfuerzo máximo por corte directo que es capaz de soportar el electrodo se utilizará la siguiente relación ^[6]

$$S_{v_{\text{máx sold}}} = 0,3 \cdot S_u$$

$$S_{v_{\text{máx sold}}} = 0,3 \cdot 4921.487 = 1476,4461 \frac{kg}{cm^2}$$

Asumiendo un factor de seguridad igual a tres (3), debido a los mismos motivos explicados durante la selección del factor de seguridad en la viga de soporte, se procederá al cálculo del esfuerzo admisible en la soldadura.



$$n = \frac{Sv_{\text{máx sold}}}{Sv_{\text{adm sold}}} \quad \text{Ec. 46}$$

Despejando el esfuerzo admisible en la soldadura

$$Sv_{\text{adm sold}} = \frac{Sv_{\text{máx sold}}}{n}$$

$$Sv_{\text{adm sold}} = \frac{1476,4461}{3} = 492,1487 \frac{kg}{cm^2}$$

Por lo tanto el ancho de la garganta es

$$Ts = \frac{255,22}{492,1487} = 0,52 \text{ cm}$$

Conocido el ancho de la garganta, se obtiene el espesor nominal de la soldadura

$$D = \frac{2}{\sqrt{2}} \cdot Ts$$

$$D = \frac{2}{\sqrt{2}} \cdot 0,52 \rightarrow D = 0,733 \text{ cm} \approx 8 \text{ mm}$$

Dado que el cálculo realizado se hizo para aquella sección de soldadura sometida a mayor esfuerzo, se estima que cualquier otro sitio donde se empleen estas dimensiones en la soldadura, la misma será capaz de soportar los esfuerzos exigidos, entre estos otros elementos se encuentran los refuerzos colocados en cada una de las columnas de apoyo de la estiba principal.



4.6 ESTUDIO ECONÓMICO

El siguiente estudio económico consiste en determinar los beneficios económicos que lleva consigo la instalación del nuevo sistema de enfriamiento para las bobinas de aluminio. El tiempo de estudio del proyecto es de 5 años, que es el tiempo aproximado de vida útil de los ventiladores (45.000 horas), que son el elemento principal del sistema de enfriamiento, los montos ese encuentran expresados en bolívares fuertes (BsF).

4.6.1 Rentabilidad de la instalación del nuevo sistema de enfriamiento

Estudio de la factibilidad económica se llevó a cabo bajo el modelo del valor actual (VA), además estará complementado con el modelo de tiempo de pago para la estimación del tiempo en años en recuperar la inversión.

4.6.2 Flujos monetarios asociados

La estimación de los flujos monetarios netos es necesaria para el estudio de la rentabilidad de este proyecto, dichos flujos se dividen en dos: Ingresos y Costos. El primero, son las ganancias percibidas por todo aquello que genere ahorro y reducción en los costos, mientras que el segundo, son todas aquellas pérdidas o egresos que se puedan generar. Ambos debido a la ejecución del proyecto. En las siguientes secciones se darán a conocer los procedimientos y las consideraciones tomadas para su obtención.

4.6.3 Inversión inicial (II)

Se obtendrá una inversión inicial, producto de la construcción e instalación del sistema de soporte y de la construcción e instalación del sistema de enfriamiento. Los costos asociados al sistema de soporte se desglosan en la tabla 4.23, y cuyos valores provienen del Anexo N° 24.



Tabla 4.23.- Costos relativos al sistema de soporte

COMPONENTES	DESCRIPCIÓN	P. UNIT.	TOTAL Bs
Vigas para descanso (horizontales)	Vigas marca Properca modelo Vp 250 x 29,4. Dimensiones: longitud total 112m. Cantidad: las vigas se venden en unidades de 12 m por lo cual se requieren 10 vigas.	1.115,06	11.150,6
Vigas para columnas (verticales)	Vigas marca Properca modelo Vp 120x 9,70. Dimensiones: longitud total 72,6m. Cantidad: las vigas se venden en unidades de 12 m por lo cual se requieren 6 vigas.	318,04	1.908,24
Láminas para riel	Láminas de acero 12x1200x2400 mm Dimensiones: longitud total 112m Cantidad: Se requieren 47 segmentos de estas láminas de 2400 mm de largo, se tomará una altura de 60mm para el mismo por lo cual será suficiente con 3 láminas.	685,87	2.057,61
Láminas para soportes triangulares	Láminas de acero 12x1200x2400 mm Dimensiones: el soporte triangular es de 10x10cm de lado. (Área=10000 mm ²) Cantidad: Serán 44 soportes por lo cual se necesita un área total de 440000 mm ² , por lo cual será suficiente con solo una sola lámina.	685,87	685,87
Tubos para refuerzos	Tubos de acero 3” Dimensiones: longitud total 104,4m. Cantidad: los tubos vienen en unidades de 6m de largo por lo cual utilizarán 18 tubos	154,04	2.772,72
Electrodos para soldadura vigas	Electrodo tipo E70XX Dimensiones: longitud total 17,6 m. Área de la soldadura 32x10 ⁻⁶ m ² . Volumen total 5,632x10 ⁻⁴ m ³ . Cantidad: El electrodo se vende por Kg, multiplicando el volumen del material de aporte por la densidad del acero (7850 Kg/m ³) se obtiene un total del 4,42 Kg. Considerando una pérdida de material del 30% se requieren 5,746Kg.	6,93	41,58



Electrodos para soldadura soportes	Electrodo tipo E70XX Dimensiones: longitud total 8,8 m. Área de la soldadura $32 \times 10^{-6} \text{ m}^2$. Volumen total $2,816 \times 10^{-4} \text{ m}^3$. Cantidad: El electrodo se vende por Kg, multiplicando el volumen del material de aporte por la densidad del acero (7850 Kg/m^3) se obtiene un total del 2,21 Kg. Considerando una pérdida de material del 30% se requieren 2,87Kg.	6,93	20,79
Electrodos para soldadura refuerzos	Electrodo tipo E70XX Dimensiones: longitud total 19,15 m. Área de la soldadura $32 \times 10^{-6} \text{ m}^2$. Volumen total $6,128 \times 10^{-4} \text{ m}^3$. Cantidad: El electrodo se vende por Kg, multiplicando el volumen del material de aporte por la densidad del acero (7850 Kg/m^3) se obtiene un total del 4,81 Kg. Considerando una pérdida de material del 30% se requieren 6,25Kg.	6,93	48,51
Costo por consumo de energía eléctrica	Cantidad: el costo de la energía eléctrica es de 0,12 Bs/KWh, las horas hombre a invertir para la realización de la soldadura son 45,55 y el consumo de un equipo para soldar común es de 1150W.	0,12	6,29
		TOTAL Bs.	18.692,21
		IVA 9% Bs.	1.682,29
		TOTAL CON MANO DE OBRA Bs.	24.112,95

Nota: Se considera que el costo de la mano de obra e instalación será un 20% del costo total del material de construcción, sin incluir el impuesto.

Los costos asociados a la construcción e instalación del sistema de enfriamiento fueron cotizados por una empresa contratista (Anexo N° 25) dando como total un valor de 198.805,10 Bs., precio que incluye compra de materiales y equipos, transporte, instalación y el impuesto correspondiente.



Entonces, el valor de la inversión inicial esta dado por:

II = costo sistema de soporte + costo de sistema de enfriamiento

$$II = 24.112,95 \text{ (Bs.)} + 198.805,10 \text{ (Bs.)}$$

$$II = 222.918,05 \text{ Bs.}$$

4.6.4 Estimación de ingresos

El análisis económico de la solución seleccionada se realizará a partir de los costos que genere mantener el material sin procesar en el área de enfriamiento, utilizando el sistema actual. Para obtener dicha información se consultó a un analista del departamento de costos de la empresa. Debido a que la información financiera de la misma se maneja de manera confidencial, solo se pudo obtener el valor global del costo que representa mantener el material en el área de enfriamiento por unidad de tiempo el cual es de 0,89 Bs/min.

Debido a que con el sistema a implementar se producirá una reducción en el tiempo de enfriamiento de 8 horas por bobina, respecto al sistema actual, entonces se determinan los ingresos anuales por concepto de instalación del nuevo sistema de la siguiente manera:

$$\text{Ingresos por 8 horas} = 0,89 \frac{\text{Bs}}{\text{min}} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{h}} \times 8h = 427,2 \text{ Bs/bobina}$$

Si la producción promedio de la empresa se mantiene en 1600 toneladas mensuales, el promedio anual de la producción será de 19200 toneladas, debido a que los cálculos se realizaron para las bobinas de mayor tamaño se estima que se reducirán 8 horas del tiempo de enfriamiento por cada 8000 Kg producidos (peso de la bobina de mayor tamaño), entonces:



$$\text{Bobinas a enfriar en un año} = \frac{19200 \text{ ton} \times 1000 \text{ Kg/ton}}{8000 \text{ Kg}} = 2400 \text{ bobinas}$$

Entonces el ingreso total por año será de:

$$\text{Ingreso anual} = 2400 \text{ bobinas} \times 427,2 \frac{\text{Bs}}{\text{bobina}} = 1.025.280 \text{ Bs.}$$

4.6.5 Estimación de costos

Se considera que el sistema de enfriamiento trabajará 24 horas todos los días de la semana. Como se mencionó anteriormente el costo por servicio de electricidad está estimado en 0,12 Bs/kWh. En la sección de selección del ventilador se especifica la potencia consumida por este en 14,366 kW, tomando en cuenta que son dos ventiladores, con el nuevo sistema la potencia consumida será de:

$$\text{Costo consumo elec. en un día} = 0,12 \frac{\text{Bs}}{\text{kW.h}} \times 24 \text{ h} \times 14,366 \text{ kW} \times 2 = 82,74 \frac{\text{Bs}}{\text{día}}$$

$$\text{Costo consumo elec. anual} = 82,74 \frac{\text{Bs}}{\text{día}} \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 30.203,07 \frac{\text{Bs}}{\text{año}}$$

Otro de los costos operacionales que se considera, son los generados por mantenimiento y repuestos del sistema, los cuales fueron estimados por la contratista que realizó la cotización del proyecto en 1.600,00 Bs mensuales, que representan 19.200,00 Bs anuales, costo que incluye rutinas de mantenimiento a los ventiladores, limpieza de ductos y filtros, etc., además del costo generado por cualquier reparación pertinente. Los sueldos y salarios no se consideran ya que el operador del sistema es el mismo operador de los hornos de



recocido por lo que la instalación del nuevo sistema no genera costos adicionales a los que ya existen por este concepto.

Tabla 4.24.- Costos generados por el sistema

Costos operacionales (C_{op})	Bs/año
Consumo eléctrico	30.203,07
Mantenimiento y repuestos	19.200,00
TOTAL	49.403,07

4.6.6 Valor residual (VR)

Para obtener este valor se considera que al término del periodo de estudio (5 años) los ventiladores han cumplido con su vida útil por lo cual su VR será igual a cero, mientras que el resto de los componentes del sistema aún se encuentran a menos del 50% del tiempo de su vida útil por lo cual su valor será el 50% del costo que representa actualmente. De esta manera el valor residual del sistema será:

$$VR = (222.918,05 - 105.200,00) * 50\%$$

$$VR = 58.859,03 \text{ Bs.}$$

4.6.7 Determinación del valor actual (VA)

La determinación de la rentabilidad del proyecto se basara en el modelo del Valor Actual, para ello se representará en la escala de tiempo los flujos monetarios asociados al estudio, tal como se muestra a continuación en la figura 4.39

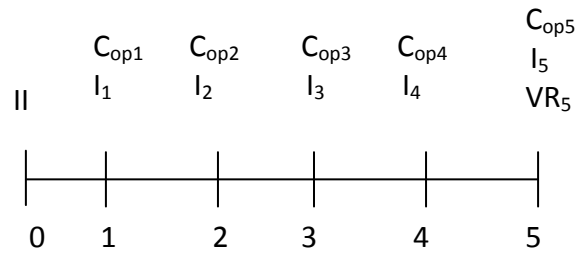


Figura 4.39.- Escala de tiempo con los flujos monetarios asociados al estudio

Para el obtener los flujos monetarios netos, se realizará el cálculo utilizando la ecuación

$$F_t = I_t - COP_t + VR_t \quad Ec. 47$$

Por lo que la convención usual (28) de signos determina que:

- ♦ Se le asigna positivo (+) a todo flujo que represente un ingreso para el proyecto
- ♦ Se le asigna negativo (-) a todo flujo que represente un egreso para el proyecto

Los flujos monetarios para los años 1, 2 3 y 4 serán:

$$F_{1,2,3 \text{ y } 4} = 1.025.280 - 49.403,07 = 975.876,93 \text{ Bs.}$$

Mientras que para el año 5 será:

$$F_5 = 1.025.280 - 49.403,07 + 58.859,03 = 1.034.735,96 \text{ Bs.}$$

Luego, en la figura 4,.40 se muestran los flujos monetarios netos en la escala de tiempo.

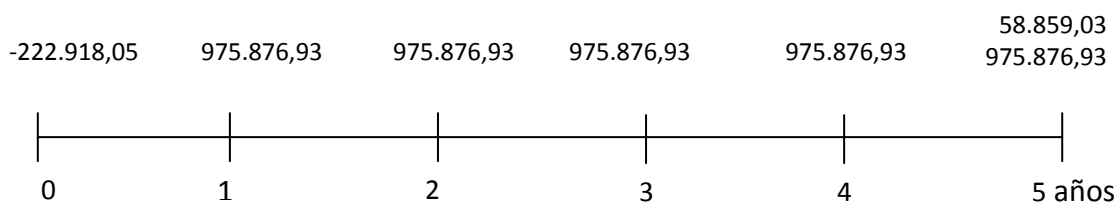


Figura 4.40 Escala de tiempo con los flujos monetarios netos

Para este trabajo se tomará como tasa mínima de rendimiento, la tasa de interés anual pasiva promedio de los seis principales bancos comerciales de cobertura nacional, es decir, TMR = 13 %. Esto se obtiene de la página web del Banco Central de Venezuela (B.C.V) en febrero de 2008. Con este porcentaje y consultando la tabla del Anexo N° 23 se obtiene el factor de actualización, denominado $P/R_{13\%; 5 \text{ años}} = 3,5172$

El valor actual del proyecto es:

$$VA = -222.918,05 + 975.876,93 \times (P/R_{13\%; 5 \text{ años}}) + 58.859,03 \times (P/R_{13\%; 5 \text{ años}})$$

$$VA = -222.918,05 + 975.876,93 \times (3,5172) + 58.859,03 \times (3,5172)$$

$$VA = 3.416.455,27 \text{ Bs}$$

Ya que el $VA > 0$, quiere decir que los ingresos superan los costos, incluyendo la tasa mínima de rendimiento, en una cantidad de dinero equivalente al valor actual. Por lo cual es proyecto es rentable.

4.6.8 Tiempo de pago (T_p)

Ahora bien, si se divide el total de la inversión requerida, entre las ganancias generadas por la instalación del sistema, se obtiene el tiempo aproximado de pago de la inversión, esto puede sujetarse al uso de la siguiente ecuación.



$$Tp = \frac{II}{Ingresos} \quad Ec. 48$$

$$Tp = \frac{222.918,05}{1.025.280,00}$$

$$Tp = 0,2años$$

Como resultado el tiempo de pago de la inversión del nuevo sistema de enfriamiento es de 0,2 años, lo cual representa 73 días de trabajo continuo.



CONCLUSIONES

Evaluando el proceso de enfriamiento utilizado actualmente en la empresa, se determinó que el mismo es capaz de enfriar 5 bobinas en un lapso de 26 horas, por convección forzada y otras 15 por convección natural en un lapso de 36 horas. A su vez se determinó que el promedio de bobinas que permanecen en el área de 14 bobinas.

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos, se determina que la aleación de aluminio AA-8011 elaborada en la empresa CVG Alucasa, está catalogada como una aleación no endurecible térmicamente, lo que se refleja en la poca variación de sus propiedades mecánicas ante los tratamientos térmicos aplicados.

Los valores de las propiedades mecánicas a tracción obtenidas experimentalmente, demuestran que el material poseerá los estándares de calidad requeridos en la empresa sin importar la velocidad de enfriamiento al cual éste se vea sometido. Por lo tanto, las propiedades mecánicas no se ven afectadas por el tiempo de enfriamiento.

El tiempo de enfriamiento para el material se estableció en 18 horas, en función a la capacidad instalada de la empresa, lo que asegura un proceso continuo evitando la creación de cuellos de botella aguas abajo en el proceso. No obstante durante el análisis del sistema diseñado se obtuvo como tiempo de enfriamiento un lapso de 18,593 horas. Estos resultados se pueden considerar como semejantes, pues el estudio de la transferencia de calor de la bobina se realizó a partir de un modelo matemático.

Se estableció que existen dos factores principales que afectan la selección del método de enfriamiento más adecuado, la temperatura del fluido para el intercambio de calor y la distribución del mismo alrededor de la bobina. Siendo éste último el que se tomó en



consideración, debido a que asegurando la uniformidad del flujo alrededor del cuerpo en estudio, se puede conseguir el tiempo de enfriamiento deseado sin necesidad de disminuir la temperatura del fluido.

Se establece como método de enfriamiento para el sistema a diseñar, la transferencia de calor por convección en régimen transitorio, empleando como fluido aire extraído del ambiente e impulsado a través de ventiladores centrífugos. El transporte del fluido se realizará mediante una red de ductos de ventilación y su distribución alrededor de la bobina se realizará mediante el uso de rejillas de descarga. Para el soporte y suspensión de las bobinas por encima del suelo se emplearán estibas metálicas.

Mediante el análisis de la transferencia de calor se estableció que el calor máximo que se puede transferir desde la bobina hacia el ambiente es de $Q_0=2428687,387$ KJ, aunque se determinó que durante el enfriamiento de la misma solo se emitirá un 85% del calor total. Por lo tanto, se puede asegurar que el material se enfriará en el tiempo establecido.

El sistema propuesto en este trabajo de grado permitirá ampliar la capacidad de enfriamiento del material existente en la empresa. La misma pasó de 5 a 11 bobinas representando un incremento superior al 100%, generando una mayor fluidez del mismo durante el proceso productivo, por lo que se evitarán las paradas innecesarias de los equipos, producto del retardo o ausencia en el material.

El valor actual obtenido del estudio de la rentabilidad del proyecto es mayor a cero ($VA > 0$), lo que indica que la instalación del nuevo sistema de enfriamiento es un proyecto factible, con un tiempo de pago igual a 73 días de trabajo continuo (2 meses y 15 días de producción).



RECOMENDACIONES

Implementar el sistema de enfriamiento propuesto en este trabajado de grado dado que el mismo aumentará la producción en más del 100 %, generando beneficios económicos para la empresa.

Debido a la limitación del espacio dentro de la nave A para el posicionamiento de los ventiladores, los mismos fueron situados en el exterior de la estructura. Por lo tanto, se aconseja el acondicionamiento del área de caminería dispuesto para la ubicación de los equipos a fin de optimizar el funcionamiento de los mismos.

Realizar un estudio de la pérdida de energía cinética existente entre la descarga de las rejillas y la bobina, para tener una mejor aproximación de la velocidad del aire que llega al material, a fin de mejorar el estudio del sistema de enfriamiento propuesto.

Realizar el mantenimiento del sistema de ventiladores, según lo recomendado por el fabricante de los equipos, teniendo en cuenta que debido al ambiente donde estos operan existe una mayor posibilidad de falla por suciedad u obstrucción de algún elemento mecánico.

Dentro de la planificación de las rutinas de mantenimiento para el sistema de enfriamiento propuesto, incluir el mantenimiento de los ductos de ventilación dado que los mismos son igualmente propensos a la obstrucción por suciedad.

Dictar charlas al personal de la planta, que comprenda tanto a los operarios, como a los supervisores encargados del traslado del material, sobre las normas y medidas de seguridad para el desplazamiento del mismo dentro de la nueva área de enfriamiento.



Situar una escalera o pasarela que permita cruzar por encima del ducto principal de la Sección A de la red de ductos, de manera que facilite la entrada a la zona de enfriamiento, dado que la misma está rodeada por la ductería de ventilación.

Delimitar y señalizar el área de enfriamiento, a fin de evitar cualquier accidente por parte de los montacargas que circulan en las instalaciones de la empresa.

Por último, crear un archivo en el cual se almacene toda la información y especificaciones técnicas referentes al sistema de enfriamiento diseñado.

**BIBLIOGRAFIA****BIBLIOGRAFÍA**

1. American Conference of Govermental Industrial Hygienists. (1992). *Industrial Ventilation* (21va Ed.). Cincinnati, Estados Unidos.
2. Böhler Thyssen Soldaduras, S.A. de C.V. (2002) *Manual de soldadura. México.*
3. Carabaño, José – Ferrer, Deivy. (2006). “*Diseño de una cabina de pintura y secado para partes plásticas en una empresa automotriz*”. Trabajo especial de grado no publicado. Universidad de Carabobo, Venezuela.
4. Carrier Air Conditioner Company. (1974) *Manual de Aire Acondicionado.* España. Editorial: Macombo de Boixaren Editores, S. A.
5. Cengel A. Yunus. (2004) *Transferencia de Calor* (2da Ed.) Editorial: Prentice Hall Interamericana, C.A.
6. Fratelli, M. Gabriela. (1991) *Proyectos estructurales de acero.* Venezuela.
7. García, A. F. (1997) *Cálculo de conductos de Aire.* Perú. Ceac, C.A.
8. Guerra, V. Gonzales, I. (1995). *Evaluación de proyectos de inversión.* Venezuela, Universidad de Carabobo.
9. Incropera, P. Frank – De Witt, P. David. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor.* (4ta Edición). Editorial: Prentice Hall Interamericana, C.A.
10. Mills, F. Anthony. (1999). *Transferencia de Calor.* España. Editoral: Mc. Graw Hill.



11. Norton, Robert. (1999) *Diseño de Máquinas*. Mexico. Editorial: Prentice Hall Interamericana, C.A.
12. Sifontes, J. (2006). “*Desarrollo de una herramienta computacional, para el diseño de ductería, en equipos de Aire Acondicionado*”. Trabajo especial de grado no publicado, Universidad de Carabobo, Venezuela.
13. Shigley, J. E. – Mischke, C. (2002) *Diseño en Ingeniería Mecánica*. (6ta Ed.) Editorial: Mc. Graw Hill.
14. Singer, L Ferdinand. (1994) *.Resistencia de Materiales* (4ta Ed.). México. Oxford University Press México, S.A. de C.V
15. Tamayo y Tamayo, Mario. (1990) *El proceso de Investigación científica*. (3ra Ed.) México. Editorial: Limusa y Noriega.
16. Torres Thairis. (2006) *Caracterización de la aleación de aluminio AA-8011 proveniente de colada continua de doble rodillo, sometida a un recocido de estabilización*. Trabajo de grado no publicado. Venezuela, Universidad Central de Venezuela
17. Vilchez, Nelson. (2001). *Estrategias creativas en el Diseño Mecánico*. Venezuela, Universidad de Carabobo.
18. Software para calculadoras programables Hp49G+ “Sections. Solución de sistemas de estructuras”

Páginas web consultadas

- a. Propiedades del aluminio: <http://grupos.unican.es/gidai/asignaturas/CI/Aluminio.pdf>
- b. Generalidades de las aleaciones de aluminio: www.aluminum.org.au
- c. Propiedades de la aleación de aluminio AA-8011: www.matweb.net

LISTADO DE APÉNDICES

Apéndice I Estudio del material	-1-
Apéndice II Ponderación de Criterios	-7-
Apéndice III Comportamiento térmico del sistema de enfriamiento actual	-10-
Apéndice IV Calor emitido por una bobina durante su enfriamiento	-24-
Apéndice V Diseño de la red de distribución de aire para el sistema de enfriamiento de bobinas	-27-
Apéndice VI Comportamiento térmico del sistema de enfriamiento diseñado	-43-
Apéndice VII Diseño y cálculos de las estibas del sistema de enfriamiento propuesto	-53-
Apéndice VIII Diseño y cálculo de las soldaduras de las soldaduras	-65-

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO N°1 Bobinas procesadas en los meses de Julio y Agosto de 2007	-70-
ANEXO N°2 Tiempos de enfriamiento registrados en el mes de Octubre de 2007 para bobinas que cumplen con las especificaciones del diseño.	-75-
ANEXO N°3 Especificaciones de las propiedades mecánicas del material	-77-
ANEXO N°4 Dimensiones de probeta de ensayos según norma ASTM E 8M – 04	-78-
ANEXO N°5 Resultados ensayos de tracción	-83-
ANEXO N°6 Higrómetro digital	-105-
ANEXO N°7 Termopar digital	-106-
ANEXO N°8 Anemómetro Digital	-107-
ANEXO N°9 Propiedades Térmicas del aire	-108-
ANEXO N°10 Velocidades máximas recomendadas para ductos (Manual Carrier)	-109-
ANEXO N°11 Dimensiones de conductos rectangulares	-110-
ANEXO N°12 Gráfica de pérdidas en ductos	-113-
ANEXO N°13 Porcentaje de área de sección recta para conservar constante el rozamiento	-114-
ANEXO N°14 Rozamiento en los elementos de un sistema de conductos rectangulares	-115-
ANEXO N°15 Selección de las rejillas	-117-
ANEXO N°16 Corrección por altitud y temperatura	-118-
ANEXO N°17 Selección del ventilador	-119-
ANEXO N°18 Gráfica de Heysler para flujo de calor en pared	-120-
ANEXO N°19 Gráfica de Heysler para flujo de calor en cilindro largo	-121-
ANEXO N°20 Catálogo de vigas Properca	-122-
ANEXO N°21 Factor de longitud efectiva según sea la terminación de la columna	-123-
ANEXO N°22 Propiedades a flexión de soldaduras de filete	-124-
ANEXO N°23 Electrodo para soldadura	-125-
ANEXO N°24 Presupuesto sistema de enfriamiento	-126-
ANEXO N°25 Factores de interés al 13% correspondientes a periodos compuestos discretos	-127-

LISTADO DE PLANOS

PLANO N°1 Vista de Planta Instalaciones de CVG Alucasa.

PLANO N°2 Reubicación de la zona de enfriamiento.

PLANO N°3 Vista 3D de propuesta N°1.

PLANO N°4 Vista 3D de propuesta N°2.

PLANO N°5 Vista 3D de propuesta N°3.

PLANO N°6 Vista 3D del sistema diseñado.

PLANO N°7 Descripción de la red de ductos

PLANO N°8 Caudales y dimensiones de los ductos

PLANO N°9 Longitudes de la red de ductos (vista de planta)

PLANO N°10 Longitud de la red de ductos (vista lateral)

PLANO N°11 Numeración de la red de ductos

PLANO N°12 Dimensiones del sistema de soporte

APÉNDICE I

Resultados de los ensayos de tracción

Luego de someter las probetas a los distintos métodos de enfriamiento se procedió a realizar ensayos de tracción, los cuales proporcionan datos sobre la carga aplicada al material en función del alargamiento que se obtuvo durante el ensayo. Es necesario emplear cálculos que permitan obtener el esfuerzo, el porcentaje de alargamiento y la fluencia del material, a continuación se muestran las ecuaciones necesarias para hallar estos parámetros.

Esfuerzo máximo

$$\sigma_{maximo} = \frac{Carga_{maxima}}{Area_{transversal}}$$

σ_{maximo} = Esfuerzo máximo (kg/mm²).

Carga (máxima) = correspondiente al valor observado u obtenido en el registro del equipo

A = Área inicial de la sección transversal original (mm²).

Porcentaje de Elongación

$$\%E = \frac{Lf - Lo}{Lo} \cdot 100$$

Lo = Longitud inicial de Referencia

Lf: Longitud final después del ensayo

Esfuerzo máximo

$$\sigma_{fluencia} = \frac{Carga_{fluencia}}{Area_{transversal}}$$

$\sigma_{fluencia}$ = Esfuerzo fluencia (kg/mm²).

Carga (fluencia) = correspondiente al valor observado u obtenido en el registro del equipo

A = Área inicial de la sección transversal original (mm²).

Resultados ensayos de tracción N°1

Tabla AI.1.- Condiciones iniciales de las probetas de tracción tomadas de las bobinas enfriadas con el sistema actual

N° Probeta	Código	Espesor (mm)	Ancho Entalla (mm)	Área (mm ²)
1	AluCR1	3,10	12,50	38,75
2	AluCR2	3,05	11,85	36,14
3	AluCR3	3,15	12,00	37,80
4	AluCR4	3,15	12,50	39,38
5	AluCR5	3,10	12,30	38,13
6	AluCR6	3,20	12,70	40,64
7	AluCR7	3,10	12,30	38,13
8	AluCR8	3,10	12,15	37,67
9	AluCR9	3,15	12,45	39,22

Tabla AI.2.- Resultados ensayos de tracción N°1

N° Probeta	Carga (N)	Carga (Kg)	Esfuerzo máximo (Kg/mm ²)	Fluencia (Kg/mm ²)	% Elong. Log. Ref.
1	3760,00	383,28	9,89	4,60	31,59
2	3551,00	361,98	10,02	6,49	32,68
3	3661,00	373,19	9,87	4,85	33,07
4	3860,00	393,48	9,99	4,40	34,35
5	3696,00	376,76	9,88	4,95	33,86
6	3938,00	401,43	9,88	4,77	36,42
7	3826,00	390,01	10,23	4,68	34,84
8	3721,00	379,31	10,07	5,41	35,83
9	3806,00	387,97	9,89	4,68	38,19
		Promedio	9,9951	4,9506	34,5669

Gráfico AI.1.- Esfuerzos máximos de ensayos de tracción N°1



Resultados ensayos de tracción N°2

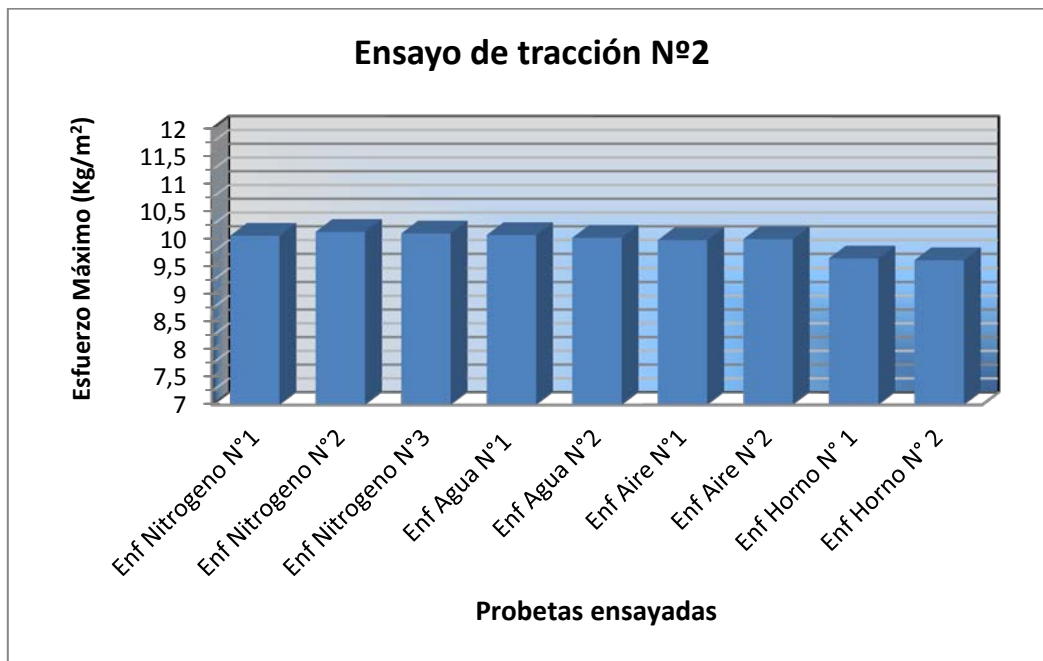
Tabla AI.3.- Condiciones iniciales de las probetas para ser enfriadas en distintos medios

N° Probeta	Código	Espesor (mm)	Ancho Entalla (mm)	Área (mm²)
1	AluNitro1	3,082	12,863	39,643766
2	AluNitro2	3,064	12,867	39,424488
3	AluNitro3	3,105	12,83	39,83715
4	AluAgua1	3,093	12,71	39,31203
5	AluAgua2	3,102	12,643	39,218586
6	AluAire1	3,082	13,118	40,429676
7	AluAire2	3,059	13,239	40,498101
8	AluHorno1	3,088	13,003	40,153264
9	AluHorno2	3,083	12,751	39,311333

Tabla AI.14.- Resultados ensayos de tracción N°2

N° Probeta	Carga (N)	Carga (Kg)	Esfuerzo máximo (Kg/mm²)	Fluencia (Kg/mm²)
1	398,8	10,0595892	3,77	31,3
2	399,4	10,1307593	2,66	32,48
3	402,4	10,1011242	2,97	30,71
4	396	10,0732524	3,35	32,87
5	393,1	10,0233088	3,34	31,1
6	403,5	9,98029269	3,13	32,09
7	405	10,0004689	2,47	31,3
8	387,4	9,6480326	2,6	35,24
9	378	9,61554776	2,81	32,09

Gráfico AI.2.- Esfuerzos máximos de ensayos de tracción N°2



Resultados ensayos de tracción N°3

Tabla AI.5.- Condiciones iniciales de las probetas para ser enfriadas al aire tranquilo simulando condiciones del proceso

N° Probeta	Código	Espesor (mm)	Ancho Entalla (mm)	Área (mm ²)
1	AluEnfAire1	3,10	12,30	38,13
2	AluEnfAire2	3,25	12,65	41,11
3	AluEnfAire3	3,10	12,50	38,75
4	AluEnfAire4	3,05	12,50	38,13
5	AluEnfAire5	3,05	12,70	38,74
6	AluEnfAire6	3,10	12,75	39,53
7	AluEnfAire7	3,20	12,45	39,84
8	AluEnfAire8	3,10	12,60	39,06

Tabla AI.6.- Condiciones iniciales de las probetas para ser enfriadas en agua simulando condiciones del proceso

N° Probeta	Código	Espesor (mm)	Ancho Entalla (mm)	Área (mm ²)
1	AluEnfAgua1	3,10	12,90	39,99
2	AluEnfAgua2	3,10	12,30	38,13
3	AluEnfAgua3	3,10	12,60	39,06
4	AluEnfAgua4	3,10	12,40	38,44
5	AluEnfAgua5	3,20	12,70	40,64
6	AluEnfAgua6	3,05	12,10	36,91
7	AluEnfAgua7	3,10	12,50	38,75
8	AluEnfAgua8	3,10	12,45	38,60

Tabla AI.7.- Resultados ensayos de tracción N°3 (Probetas enfriadas al aire)

N° Probeta	Carga (N)	Carga (Kg)	Esfuerzo máximo (Kg/mm ²)	Fluencia (Kg/mm)	% Elong. Log. Ref.
1	4108,00	418,76	10,98	4,68	35,00
2	4274,00	435,68	10,60	3,72	35,90
3	4207,00	428,85	11,07	5,39	37,40
4	4233,00	431,50	11,32	3,88	34,40
5	4357,00	444,14	11,47	4,61	35,70
6	4385,00	446,99	11,31	3,35	38,90
7	4089,00	416,82	10,46	3,84	34,50
8	4345,00	442,92	11,34	4,70	33,80
		Promedio	11,0945	4,1682	36,0556

Tabla AI.8.- Resultados ensayos de tracción N°3 (Probetas enfriadas en agua)

N° Probeta	Carga (N)	Carga (Kg)	Esfuerzo máximo (Kg/mm ²)	Fluencia (Kg/mm)	% Elong. Log. Ref.
1	4245,00	432,72	10,82	4,59	35,60
2	4088,00	416,72	10,93	4,41	33,60
3	4300,00	438,33	11,22	4,70	32,40
4	4202,00	428,34	11,14	4,64	35,90
5	4286,00	436,90	10,75	4,51	32,30
6	4107,00	418,65	11,34	4,83	34,00
7	4243,00	432,52	11,16	4,74	35,80
8	4226,00	430,78	11,16	4,89	36,10
		Promedio	11,0974	4,6824	34,4111

Gráfico AI.3.- Esfuerzos máximos de ensayos de tracción N°3 (Enfriadas en aire)

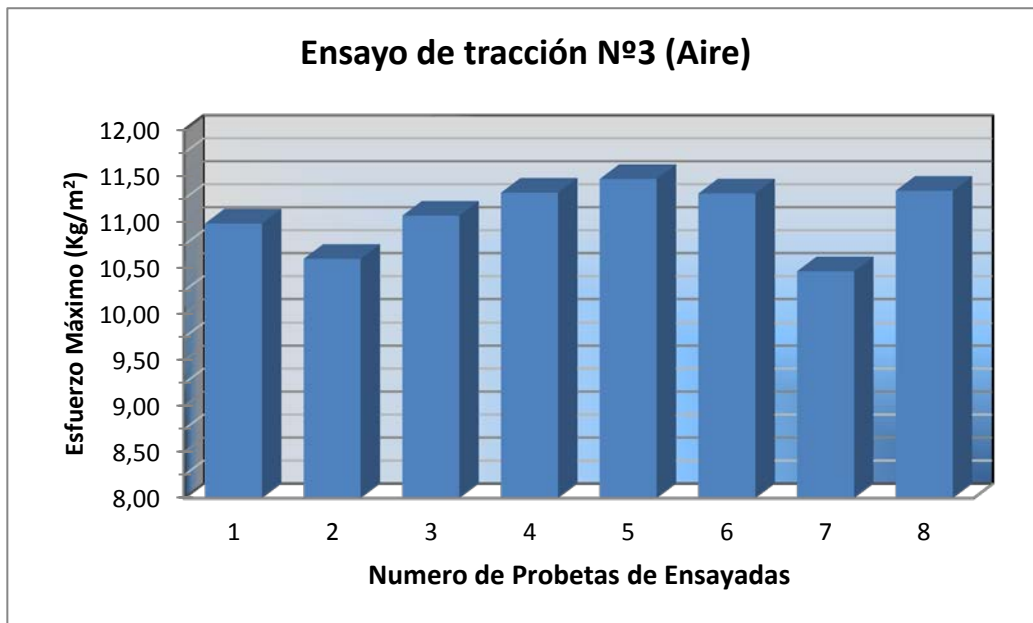
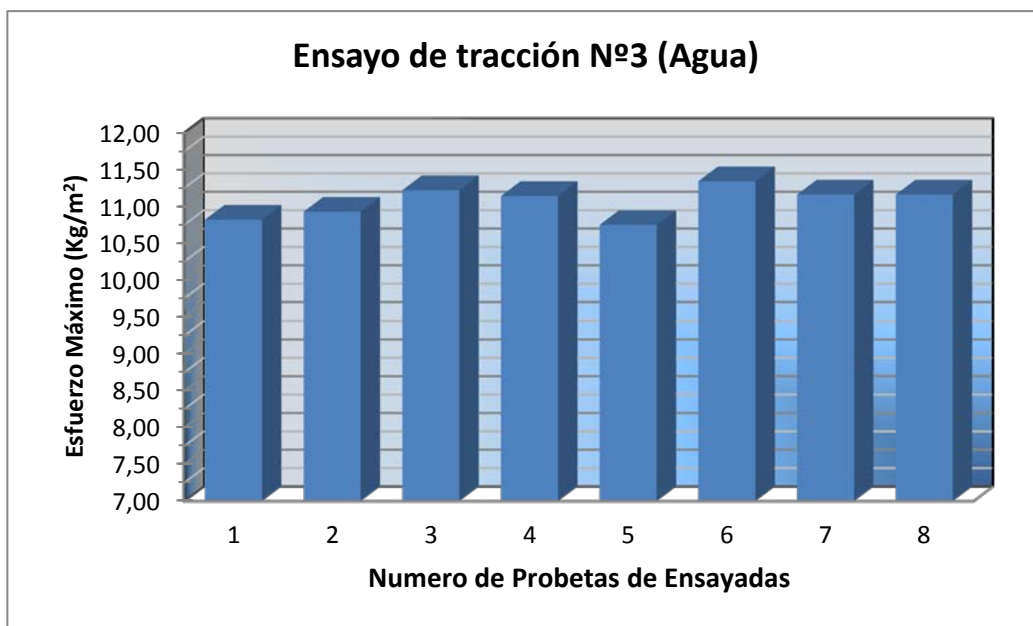


Gráfico AI.4.- Esfuerzos máximos de ensayos de tracción N°3 (Enfriadas en agua)



APÉNDICE II

SELECCIÓN DE LA MEJOR SOLUCIÓN

A continuación se muestran los criterios que definen las principales necesidades del proyecto a realizar,

1. Mayor numero de bobinas enfriándose a la vez
2. Menor dificultad de operatividad
3. Menor espacio físico requerido por el sistema
4. Menor índice de mantenimiento
5. Mayor simplicidad de diseño
6. Menor restricción de desplazamiento al puente grúa
7. Menor tiempo de fabricación

Los criterios se encuentran en orden jerárquico una vez realizada la ponderación de estos respecto a los demás. Los resultados de la evaluación llevada a cabo se muestran en la tabla a continuación.

Tabla AII.1.- Ponderación de criterios respecto a los demás criterios

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	Nº DE VECES	Pcx=M+1
C1								0	1
C2	C2							2	3
C3	C3	C2						1	2
C4	C4	C4	C4					6	7
C5	C5	C5	C5	C4				4	5
C6	C6	C6	C6	C4	C5			3	4
C7	C7	C7	C7	C4	C7	C7		5	6

Se procede a realizar la comparación de cada una de las soluciones respecto a cada criterio. Las siglas S1, S2, S3 y S4 corresponden a cada una de las soluciones propuestas.

Tabla AII.2.- Ponderación de soluciones respecto al criterio 1

C1	S1	S2	S3	S4	N° DE VECES	Pcx=M+1
S1					1	2
S2	S2				3	4
S3	S1	S2			0	1
S4	S4	S2	S4		2	3

Tabla AII.3.- Ponderación de soluciones respecto al criterio 2

C2	S1	S2	S3	S4	N° DE VECES	Pcx=M+1
S1					1	2
S2	S2				2	3
S3	S1	S2			0	1
S4	S4	S4	S4		3	4

Tabla AII.4.- Ponderación de soluciones respecto al criterio 3

C3	S1	S2	S3	S4	N° DE VECES	Pcx=M+1
S1					1	2
S2	S1				0	1
S3	S3	S3			2	3
S4	S4	S4	S4		3	4

Tabla AII.5.- Ponderación de soluciones respecto al criterio 4

C4	S1	S2	S3	S4	N° DE VECES	Pcx=M+1
S1					0	1
S2	S2				2	3
S3	S3	S2			1	2
S4	S4	S4	S4		3	4

Tabla AII.6.- Ponderación de soluciones respecto al criterio 5

C5	S1	S2	S3	S4	N° DE VECES	P _{Cx} =M+1
S1					3	4
S2	S1				1	2
S3	S1	S2			0	1
S4	S1	S4	S4		2	3

Tabla AII.7.- Ponderación de soluciones respecto al criterio 6

C6	S1	S2	S3	S4	N° DE VECES	P _{Cx} =M+1
S1					1	2
S2	S2				2	3
S3	S1	S2			0	1
S4	S4	S4	S4		3	4

Tabla AII.8.- Ponderación de soluciones respecto al criterio 7

C7	S1	S2	S3	S4	N° DE VECES	P _{Cx} =M+1
S1					0	1
S2	S2				2	3
S3	S3	S2			1	2
S4	S4	S4	S4		3	4

Por último se tomara nota de la puntuación de cada alternativa para así finalmente tomar la decisión de la mejor solución a la situación problemática.

Tabla AII.9.- Puntuación de soluciones respecto a cada criterio

	PS _x *CR1	PS _x *CR2	PS _x *CR3	PS _x *CR4	PS _x *CR5	PS _x *CR6	PS _x *CR7	PONDERACION
S1	2*1	2*2	2*3	1*7	4*5	2*4	1*6	53
S2	4*1	3*2	1*3	3*7	2*5	3*4	3*6	74
S3	1*1	1*2	3*3	2*7	1*5	1*4	2*6	47
S4	3*1	4*2	4*3	4*7	3*5	4*4	4*6	106

Apéndice III

COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO ACTUAL

A través de la observación de proceso y de la recolección de información dentro de la empresa se puede obtener el tiempo de enfriamiento empírico de las bobinas bajo las condiciones actuales de enfriamiento. Sin embargo, es necesario establecer teóricamente el tiempo de enfriamiento bajo las mismas condiciones, con la finalidad de poseer un parámetro de comparación entre el sistema actual y el sistema a proponer en el presente trabajo de grado, ya que los cálculos del mismo serán realizados de manera teórica.

Para este procedimiento se parte del establecimiento de que los medios de transferencia de calor presentes en el proceso son la convección y la radiación puesto que se desprecia el contacto existente entre la bobina y el suelo, la radiación igualmente será omitida durante el desarrollo del análisis debido a que representa menos del 10% del la transferencia de calor total, por lo tanto se asumirá que todo el calor emitido por la bobina durante su enfriamiento es disipado por el proceso de la convección.

Con el fin de determinar la transferencia de calor entre la bobina y el ambiente, lo primero que se debe conocer son las propiedades físicas del material de estudio. En la tabla N° 1 de este apéndice se muestran tanto las dimensiones de las bobinas de mayor tamaño que transitan el área de enfriamiento, como las especificaciones de la aleación de aluminio AA-8011.

. **Tabla AIII.1.-** Dimensiones y características de la bobina

Ancho bobina (m)	1,32
Diámetro máximo bobina (m)	1,7
Diámetro Core (m)	0,52
K al (W/m.k)	210
Cp. Al (J/kg.°C)	900
ρ al (Kg/m ³)	2710

Fuente: www.matweb.net

La temperatura inicial de la bobina es de se obtuvo a partir de la medición directa a la salida de los hornos de recocido, mediante la utilización de un termopar de contacto directo, disponible en laboratorio de metrología de la empresa. La temperatura final de la bobina será la temperatura mínima requerida para la continuación del proceso, la cual es de 80°C de acuerdo a los estándares de producción de la empresa sin embargo se realizado también un estudio a través de medición directa y se promedio un valor de 79,75 °C.

Para obtener los valores correspondientes de las condiciones ambientales registradas en el área de enfriamiento actual, se utilizó un hidrómetro digital. Tomando la temperatura de ambiente en la Nave A (lugar donde se encuentran ubicadas las bobinas) durante un lapso de dos semanas consecutivas, registrando solo la máxima temperatura alcanzada durante el día, obteniendo como resultado que la misma promedió los 32,08 °C, en la tabla a continuación se muestra la data arrojada.

Tabla AIII.2.- Temperatura Ambiente en la zona de enfriamiento actual

Día de Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio (°C)
Temp. Registrada (°C)	32,6	33,3	31,1	32,2	31,9	32,1	32,0	30,8	33,1	31,7	32,080

Utilizando el mismo hidrómetro se determinó que la temperatura de suministro del aire de los ventiladores del sistema actual es igual a la temperatura ambiente. Para determinar la temperatura del aire después de estar en contacto con la bobina se hizo un seguimiento durante 24 horas a bobinas cuyas dimensiones se encuentran entre las indicadas en la tabla N° 1 de esta sección, durante el estudio se tomó la temperatura del aire en el extremo de la bobina que se encuentra más alejado del ventilador. Las tablas 3, 4, y 5 de este apéndice, muestran los resultados del análisis, a partir del cual se obtiene que la temperatura de salida del aire promedio es de 48,612 °C.

Tabla AIII.3.- Temperatura del aire en contacto con la bobina medición 1.

Tiempo (horas)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	Promedio (°C)
Temp. Salida (°C)	70,6	66,4	62,3	58,5	55,0	52,3	48,0	45,7	43,1	40,9	36,4	35,6	33,2	32,1	48,579

Tabla AIII.4.- Temperatura del aire en contacto con la bobina medición 2.

Tiempo (horas)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	Promedio (°C)
Temp. Salida (°C)	73,7	68,9	61,3	59,1	56,9	51,7	47,9	46,2	44,1	41,2	35,6	34,1	32,7	31,9	48,950

Tabla AIII.5.- Temperatura del aire en contacto con la bobina medición 3.

Tiempo (horas)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	Promedio (°C)
Temp. Salida (°C)	72,3	63,9	60,5	58,8	54,1	50,9	49,1	46,0	45,9	41,1	34,1	33,7	33,1	32,9	48,307

Para la realización del estudio de transferencia de calor es necesario determinar la temperatura promedio de la bobina para ellos se monitoreo el proceso durante dos etapas, la primera fue a la salida del horno de recocido N°1 dado que es en este donde se alcanzan las mayores temperaturas, mientras que la segunda etapa fue aquella donde el material estaba en condiciones para continuar con el proceso de laminación, para ello se utilizó un termopar de contacto directo disponible en laboratorio de metrología de la empresa, las tablas a continuación muestran los resultados obtenidos

Tabla AIII.6.- Temperatura de la bobina a la entrada y salida de la zona de enfriamiento

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio (°C)
Temp. Inicial Bobina (°C)	388,1	389,4	387,2	386,2	388,4	387,2	385,4	386,6	388,2	388,9	387,56
Temp. Final Bobina (°C)	81,4	79,5	77,5	80,2	76,4	79,9	76,5	82,2	83,2	80,7	79,75

Una vez definidos cada uno de los parámetros que intervienen en el proceso de transferencia de calor, es necesario promediar los valores de: la temperatura inicial y final de la bobina, la temperatura del aire una vez en contacto con la bobina y por último la temperatura del ambiente registrada. La tabla a continuación muestra el resultado del procedimiento

Tabla AIII.7.- Temperaturas promedio de la bobina, el aire y el ambiente.

Temperatura	°C	K
Ambiente promedio	32,08	305,08
Aire promedio	48,464	321,464
Promedio aire- ambiente	40,272	313,272
Inicial bobina	387,56	660,56
Final bobina	79,75	352,75
Promedio bobina	233,655	506,655
Promedio amb-aire-bobina	136,964	409,964

A partir de la temperatura promedio entre el ambiente, la bobina y el aire se proceden a calcular las propiedades térmicas de este último la tabla 4.11.- muestra los resultados obtenidos a partir del anexo 9.

Para realizar el cálculo del tiempo de enfriamiento, primeramente se requiere definir el estado de transferencia de calor del cuerpo, donde a través del N° de BIOT se determina si conducción de calor dentro de la bobina es mucho más rápida que la convección en la superficie de ésta, permitiendo el análisis del cilindro como el de un cuerpo con temperatura uniforme.

El numero de Biot queda definido a través de la ecuación (3) siendo la longitud corregida.

$$Lc = \frac{\text{volumen}}{\text{Area superficial}}$$

*Area superficial = area lateral cilindro + 2 * area de tapa + area del core*

$$Lc = \frac{\frac{\pi \cdot An}{4} \cdot (D_{bo}^2 - D_{core}^2)}{\pi \cdot D_{bo} \cdot An + 2 \cdot \left(\left(\frac{\pi}{4} \right) \cdot (D_{bo}^2 - D_{core}^2) \right) + \pi \cdot D_{core} \cdot An}$$

$$Lc = \frac{\frac{\pi \cdot 1,32}{4} \cdot (1,7^2 - 0,52^2)}{\pi \cdot 1,7 \cdot 1,32 + 2 \cdot \left(\left(\frac{\pi}{4} \right) \cdot (1,7^2 - 0,52^2) \right) + \pi \cdot 0,52 \cdot 1,32}$$

$$Lc = 0,2039 \text{ m}$$

Debido a que la bobina está sometida a diferentes flujos de aire alrededor de su geometría es necesario definir el cálculo del coeficiente convectivo para poder estimar el tiempo de enfriamiento de la misma, para ello se tomará el promedio de cada uno de estos coeficientes planteando áreas individuales según sea el caso en que este clasificada, además mediante el uso de un velocímetro se determinara la velocidad con que llega el flujo de aire a la bobina una vez sale del ventilador. En la figura 4.22.- se muestra la dirección del flujo de aire, mientras que en la tabla 9 del apéndice se presentan los valores de las velocidades obtenidas en el estudio.

Tabla AIII.9.- Velocidad del aire en contacto con la bobina.

Velocidad (m/s)	Análisis 1 (m/s)	Análisis 2 (m/s)	Análisis 3 (m/s)	Promedios (m/s)
V1	8,3	7,9	8,1	8,1
V2	1,6	1,3	1,5	1,5
V3	6	5,5	6,1	5,9
V4	0,4	0,8	1,2	0,8

A continuación se presenta el desarrollo del estudio de transferencia de calor por convección, donde se busca determinar el coeficiente convectivo local mediante el análisis de cada sección, según sea la configuración del flujo de aire que transita por el área de la bobina, en la siguiente tabla se muestran las zonas a estudiar así como el arreglo de flujo que más se asemeja según la bibliografía consultada ^[10]

Tabla AIII.10.- Configuraciones del flujo de aire en contacto con la bobina.

Velocidad	Zona de la bobina	Configuración del flujo
V1	Extremo bobina con ventilación directa	Flujo sobre pared con ventilación directa
V2	Lateral de la bobina	Flujo pared plana horizontal
V3	Cara interna del Core	Flujo a través de un ducto
V4	Extremo bobina con ventilación indirecta	Flujo sobre pared con ventilación indirecta

Flujo sobre una pared vertical con ventilación directa

Número de Reynolds

Utilizando la velocidad determinada para esta sección de la bobina y definiendo la longitud característica del extremo plano de la bobina como el radio de la bobina

$$Lc = r_o$$

$$Lc = \frac{1,7}{2} = 0,85 \text{ m}$$

Se determina el valor de Reynolds a través de la ecuación (5)

$$Re = \frac{0,865 \cdot 8,1 \cdot 0,85}{22,9 \times 10^{-6}} \rightarrow Re = 260180,653$$

Calculo de Nusselt para flujo sobre placa plana

Se calculó este valor para un flujo choca contra una de los extremos de la bobina, para ello es fue necesario calcular primeramente el coeficiente de fricción superficial local.

$$C_{Fx} = \frac{0,455}{(\ln 0,06Re)^2}$$

$$C_{Fx} = \frac{0,455}{(\ln (0,06 \cdot 260180,653))^2}$$

$$C_{Fx} = 4,88 \times 10^{-3}$$

Hallado el coeficiente de fricción se procede a determinar el nusselt

$$Nu_D = \frac{(C_{Fx}/2) \cdot Re \cdot Pr}{1 + 12,7 \cdot (C_{Fx}/2)^{1/2} \cdot (Pr^{2/3} - 1)}$$

$$Nu_D = \frac{(4,88 \times 10^{-3}/2) \cdot 260180,653 \cdot 0,69}{1 + 12,7 \cdot (4,88 \times 10^{-3}/2)^{1/2} \cdot (0,69^{2/3} - 1)}$$

$$Nu_D = 507,890$$

Coefficiente de convección

Una vez determinado el número de Nusselt se determina el coeficiente convectivo local para el área estudiada mediante la ecuación (8)

$$h = \frac{Nu \cdot K_{aire}}{L} \rightarrow h = \frac{507,890 \cdot 0,034}{0,85}$$

$$h = 20,123 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

Flujo sobre una pared vertical con ventilación indirecta

Número de Reynolds

Utilizando la velocidad determinada para esta sección de la bobina y definiendo la longitud característica del extremo plano de la bobina como el radio de la bobina

$$Lc = r_o$$

$$Lc = \frac{1,7}{2} = 0,85 \text{ m}$$

Se determina el valor de Reynolds a través de la ecuación (5)

$$Re = \frac{0,865 \cdot 0,8 \cdot 0,85}{22,9 \times 10^{-6}} \rightarrow Re = 25696,855$$

Calculo de Nusselt para flujo sobre placa plana

Se calculó este valor para un flujo choca contra una de los extremos de la bobina, para ello es fue necesario calcular primeramente el coeficiente de fricción superficial local.

$$C_{Fx} = \frac{0,455}{(\ln 0,06Re)^2}$$

$$C_{Fx} = \frac{0,455}{(\ln (0,06 \cdot 25696,855))^2}$$

$$C_{Fx} = 8,444 \times 10^{-3}$$

Hallado el coeficiente de fricción se procede a determinar el nusselt

$$Nu_D = \frac{(C_{Fx}/2) \cdot Re \cdot Pr}{1 + 12,7 \cdot (C_{Fx}/2)^{1/2} \cdot (Pr^{2/3} - 1)}$$

$$Nu_D = \frac{(8,444 \times 10^{-3} / 2) \cdot 25696,855 \cdot 0,69}{1 + 12,7 \cdot (8,444 \times 10^{-3} / 2)^{1/2} \cdot (0,69^{2/3} - 1)}$$

$$Nu_D = 91,383$$

Coefficiente de convección

Una vez determinado el número de Nusselt se determina el coeficiente convectivo local para el área estudiada mediante la ecuación (6)

$$h = \frac{Nu \cdot K_{aire}}{L} \rightarrow h = \frac{91,383 \cdot 0,034}{0,85}$$

$$h = 3,621 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

Flujo a través de un ducto (core)

Como estimación para calcular el flujo de calor a través del core de la bobina se realizará una analogía entre esta superficie respecto a un ducto cilíndrico con igual área de transferencia de calor.

Número de Reynolds

Utilizando la velocidad determinada para esta sección de la bobina y definiendo la longitud característica como el diámetro del core se obtiene el mediante la ecuación (5) el número de Reynolds

$$Re = \frac{0,865 \cdot 5,9 \cdot 0,520}{22,9 \times 10^{-6}} \rightarrow Re = 115938,162$$

Calculo de Nusselt para flujo a través de un ducto (core)

Se calculó este valor para un flujo que atraviesa el ducto (core), para ello es necesario calcular primeramente el factor de fricción.

$$F = (0,790 \cdot \ln(Re) - 1,64)^{-2}$$

$$F = (0,790 \cdot \ln(115938,162) - 1,64)^{-2}$$

$$F = 1,744 \times 10^{-2}$$

Hallado el factor de fricción se procede a determinar el nusselt

$$Nu_D = \frac{(F/8) \cdot (Re - 1000) \cdot Pr}{1 + 12,7 \cdot (F/8)^{1/2} \cdot (Pr^{2/3} - 1)}$$

$$Nu_D = \frac{(1,744 \times 10^{-2}/8) \cdot (115938,162 - 1000) \cdot 0,69}{1 + 12,7 \cdot (1,744 \times 10^{-2}/8)^{1/2} \cdot (0,69^{2/3} - 1)}$$

$$Nu_D = 198,726$$

Coefficiente de convección

Una vez determinado el número de Nusselt se determina el coeficiente convectivo local para el área estudiada mediante la ecuación (8)

$$h = \frac{Nu \cdot K_{aire}}{D} \rightarrow h = \frac{198,726 \cdot 0,034}{0,520}$$

$$h = 12,871 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

Flujo pared plana horizontal

Como estimación para calcular el flujo de calor alrededor de la bobina se realizara una analogía entre esta superficie respecto a una pared plana con igual área de transferencia de calor.

Número de Reynolds

Utilizando la velocidad determinada para esta sección de la bobina y definiendo la longitud característica como el ancho del cilindro se obtiene el mediante la ecuación (5) el numero de Reynolds

$$Re = \frac{0,865 \cdot 1,5 \cdot 1,32}{22,9 \times 10^{-6}} \rightarrow Re = 74823,194$$

Calculo de Nusselt para flujo sobre placa plana horizontal

Se calculó este valor para un flujo que pasa alrededor de la bobina, para ello es fue necesario calcular primeramente el coeficiente de fricción superficial local.

$$C_{Fx} = \frac{0,455}{(\ln 0,06Re)^2}$$

$$C_{Fx} = \frac{0,455}{(\ln (0,06 \cdot 74823,194))^2}$$

$$C_{Fx} = 6,434 \times 10^{-3}$$

Hallado el coeficiente de fricción se procede a determinar el nusselt

$$Nu_D = \frac{(C_{Fx}/2) \cdot Re \cdot Pr}{1 + 12,7 \cdot (C_{Fx}/2)^{1/2} \cdot (Pr^{2/3} - 1)}$$
$$Nu_D = \frac{(6,434 \times 10^{-3}/2) \cdot 74823,194 \cdot 0,69}{1 + 12,7 \cdot (6,434 \times 10^{-3}/2)^{1/2} \cdot (0,69^{2/3} - 1)}$$
$$Nu_D = 197,217 \rightarrow pag 295$$

Coefficiente de convección

Una vez determinado el número de Nusselt se determina el coeficiente convectivo local para el área estudiada mediante la ecuación (8)

$$h = \frac{Nu \cdot K_{aire}}{D} \rightarrow h = \frac{197,217 \cdot 0,034}{1,32}$$
$$h = 5,032 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

Finalmente una vez definidos cada uno de los coeficientes convectivos actuantes sobre la bobina se procede a promediarlos, posteriormente se realiza el cálculo del número de BIOT a fin de determinar el régimen en el que se encuentra la bobina.

$$N^\circ BIOT = \frac{L_c \cdot h_{promedio}}{k}$$

Sustituyendo cada parámetro

$$N^\circ BIOT = \frac{0,203874 \cdot 10,412}{210} = 0,01011$$

Dado que BIOT resulto menor que 0,1 se puede asumir que el cuerpo se encuentra a temperatura uniforme. Como método para evaluar la veracidad de los cálculos realizados, se determina el tiempo de enfriamiento teórico de la bobina para este sistema.

Partiendo de la definición de calor que matemáticamente se expresa como

$$q_c = \frac{du}{dt}$$

Desarrollando esta ecuación dejando como variable la variación de temperatura en el tiempo, se obtiene que:

$$m \cdot Cp \cdot \frac{dT}{dt} = A \cdot h \cdot (\Delta T)$$

Desarrollando la fórmula anterior se obtiene que:

$$\int_{T_o}^{T_f} \frac{dT}{T - T_\infty} = \frac{A \cdot h}{m \cdot Cp} \int_0^t dt$$

Finalmente se expresa la ecuación en función del tiempo de enfriamiento

$$\text{Ln} \left(\frac{T_{(x)} - T_\infty}{T_o - T_\infty} \right) = \Psi \cdot t$$

Definiéndose a (ψ) como

$$\Psi = \frac{A \cdot h}{m \cdot Cp}$$

Sustituyendo tenemos que

$$\Psi = \frac{13,3205 \cdot 10,412}{(2710 \cdot 2,7157) \cdot 900} = 2,094 \times 10^{-5}$$

Finalmente despejando el tiempo tenemos

$$t = \frac{\text{Ln} \left(\frac{T_{(x)} - T_\infty}{T_o - T_\infty} \right)}{\Psi}$$

Sustituyendo cada termino

$$t = \frac{\text{Ln} \left(\frac{660,56 - 305,08}{352,75 - 305,08} \right)}{2,094 \times 10^{-5}} = 95956,868 \text{ s} = 26,655 \text{ horas}$$

El tiempo de enfriamiento obtenido mediante este análisis el cual denominaremos como teórico, resulto un valor muy próximo al registrado por la empresa por lo que se verifica el modelo matemático planteado durante este estudio.

APENDICE IV

CALOR EMITIDO POR UNA BOBINA DURANTE SU ENFRIAMIENTO

El nuevo sistema de enfriamiento debe ser capaz de disipar todo el calor emitido por la bobina durante su proceso de enfriamiento, por lo cual el cálculo del calor total emitido por la bobina es de vital importancia para la realización de los cálculos de diseño del sistema.

Partiendo de la expresión matemática:

$$C = \frac{\partial q}{\partial T}$$

Y sustituyendo esta ecuación dentro de la expresión matemática para determinar el calor específico de un material se obtiene que:

$$Ce = \frac{C}{m} = \frac{1}{m} \cdot \frac{\partial q}{\partial T}$$

Despejando queda

$$Ce \cdot m \cdot \partial T = \partial q$$

Teniendo en cuenta que:

$$\overline{Ce} = \frac{Ce|_{T_1} + Ce|_{T_2}}{2}$$

Mediante interpolación y la tabla de propiedades térmicas del aluminio^[10], se hallan los valores de Ce del aluminio, siendo T1 (660,56 K) la temperatura inicial de la bobina a la salida de los hornos y T2 (352,75 K) la temperatura al final del proceso de enfriamiento

$$\overline{Ce} = \frac{1067,216 + 905,337}{2} = 986,277 \text{ J/Kg K}$$

Desarrollando la expresión en función del calor obtiene la ecuación del calor máximo que se puede transferir desde la bobina.

$$\int_0^Q \partial q = Ce \cdot m \cdot \int_{T_1}^{T_2} \partial T$$

$$Q_{bobina} = Ce \cdot m \cdot \Delta T_{aluminio}$$

Sustituyendo obtenemos

$$Q_{bobina} = 986,277 \cdot 8000 \cdot (660,56 - 352,75) = 2428687,387 \text{ KJ}$$

Para calcular el calor emitido por unidad de tiempo se establecerá el periodo indicado por la empresa, el mismo fue de 18 horas según los datos ofrecidos por el departamento de PCP. Este valor representa el lapso mínimo en el cual se pueden enfriar las bobinas sin superar la capacidad instalada de la planta, evitando así la generación de cuellos de botellas aguas abajo en el proceso.

$$\dot{q} = \frac{\partial Q}{\partial t}$$

$$\dot{q} = \frac{2428687,387}{18 \cdot 3600} = 37,48 \text{ Kw}$$

Por lo tanto el calor que emitirá el conjunto total de bobinas quedara definido como

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{1 \text{ bobina}} \cdot N^{\circ} \text{ bobinas}$$

$$\dot{Q}_{total} = 37,48 \cdot 11 = 412,28 \text{ Kw}$$

Para calcular el flujo másico de aire es necesario aplicar una primera ley, estableciendo que el calor emitido por la bobina, será el mismo absorbido por el aire.

$$\dot{q} = \frac{\partial m}{\partial t} \cdot Ce \cdot \Delta T_{aire}$$

Despejando se obtiene que el flujo másico de aire requerido es igual a:

$$\frac{\partial m}{\partial t} = \dot{m}_{aire} = \frac{(Q/t)}{Ce \cdot \Delta T_{aire}}$$

Donde

$$\Delta T_{aire} = T_{salida} - T_{entrada}$$

Tomando en consideración la temperatura del aire obtenida de directamente a la entrada y salida de la bobina, así como el mismo tiempo requerido por la empresa.

$$\dot{m}_{aire} = \frac{(412,28 \cdot 1000) \text{ W}}{1009,852 \text{ J/Kg } C \cdot (48,464 - 32,08) C} = 24,324 \text{ Kg/s}$$

Obtenido el flujo másico se procede al cálculo del caudal de aire requerido por el sistema

$$Q_{aire} = \frac{\dot{m}_{aire}}{\rho_{aire}}$$

$$Q_{aire} = \frac{24,324 \text{ Kg/s}}{0,8653} = 28,11 \text{ m}^3/\text{s}$$

Calor emitido por radiación

Conocido el calor máximo emitido por la bobina se procederá al estudio de la radiación dado que es necesario conocer la influencia de este medio de transferencia de calor durante el proceso de enfriamiento del material. El análisis parte de la definición de una superficie de emisividad ε y área superficial A , que se encuentra a una temperatura absoluta T , la misma está completamente encerrada por una superficie mucho mayor que se encuentra a una temperatura T_{alred} y separada por el aire que no interviene con la radiación [5]. Conocidos las propiedades térmicas tanto del ambiente como de la bobina se analiza el calor emitido por esta última a través de la radiación, a fin de determinar el porcentaje de transferencia de calor respectivo.

Sustituyendo cada uno de los parámetros en la ecuación (14) se obtiene:

$$Q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s (T_s^4 - T_{alred}^4)$$

Siendo la emisividad del aluminio ($\varepsilon=0,07$), la constante de boltz-mann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$) y el área superficial de la bobina ($13,321 \text{ m}^2$) determinado durante el estudio térmico del sistema de enfriamiento actual (Apéndice III), sustituyendo finalmente.

$$Q = 0,07 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \cdot 13,321 \cdot (506,655^4 - 305,08^4)$$

$$Q = 3025,904 \text{ W}$$

Este valor representa menos del 10% del calor máximo emitido por la bobina por lo cual se omitirá durante el estudio de transferencia de calor del material durante su enfriamiento.

APENDICE V

DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCION DE AIRE PARA EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE BOBINAS

La distribución en la red de aire de enfriamiento de las bobinas, deberá ser capaz de enfriar a 11 bobinas (uniformemente y al mismo tiempo), estas se encuentran sobre estibas de apoyo en arreglos de 5 y 6 bobinas, por tal motivo es necesario balancear el sistema de forma tal de que a cada bobina le llegue la misma cantidad de aire que a las demás. El flujo de aire será forzado a pasar por ventiladores para aumentar la velocidad del mismo, posteriormente el aire será conducido hacia la bobina a través de ductos.

FLUJO DE AIRE REQUERIDO PARA ENFRIAR LAS BOBINAS.

Para determinar el flujo de aire es necesario conocer la velocidad y el área por donde va a circular el mismo, de acuerdo con el criterio utilizado para el cálculo de los tiempos de enfriamiento de las bobinas se seleccionará una velocidad de suministro que pueda satisfacer las velocidades de descargas requeridas por el sistema, respecto a las dimensiones del ducto se establece que por razones de espacio físico disponible tanto el ancho como la altura en la sección transversal de los mismo quedaran sujetos a valores máximos de tamaño de manera que no afecte al diseño seleccionado. El ancho del ducto de ventilación está limitado por el ancho de la bobina, mientras que la altura no deberá ser mayor a la separación que existe entre el suelo de la nave y el lateral de la bobina que reposa sobre las estibas del sistema seleccionado.

CALCULO DE CONDUCTOS Y ACCESORIOS DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE AIRE

En esta sección se realizarán los cálculos que permitan determinar las dimensiones que poseen cada tramo y accesorio, los cuales, conforman la red de conductos que suministran el aire al área de enfriamiento de las bobinas. De igual manera se realizará el cálculo de las pérdidas por rozamiento que en estos se generan.

El flujo de aire que recibirá cada bobina se obtiene mediante la definición del área transversal de cada ducto y la velocidad del fluido a la salida del mismo, por otro lado el flujo de aire total que debe transportar el ducto principal será el resultado de la sumatoria de los caudales que recibirá cada una de las bobinas que pertenezcan a la red de suministro de aire.

DUCTOS DE SUMINISTRO DE AIRE SECCION “A”

Tramo 1-2 Conducto principal

Este conducto irá acoplado a la sección de salida del ventilador y transportará todo el caudal de aire proveniente del mismo. Dicho caudal será de $15,333 \text{ m}^3/\text{s}$. La velocidad de aire en el tramo inicial se tomará como 14 m/s para así lograr la menor sección transversal tanto para este conducto como para el resto de los otros ductos de suministro.

Dimensiones del ducto tramo 1-2: para determinar las dimensiones del ducto es necesario determinar el área del mismo, el área mínima requerida del conducto se obtiene al dividir el caudal que va a manejar dicho tramo entre la velocidad del aire dentro del mismo, posteriormente con esta área y en la tabla de dimensiones de ductos del manual Carrier, se selecciona aquella área que más se aproxime.

$$Area_{ducto} = \frac{Q_{aire\ total}}{V_{aire}}$$
$$Area_{ducto} = \frac{15,333 \text{ m}^3/\text{s}}{14 \text{ m/s}} \rightarrow Area_{ducto} = 1,095 \text{ m}^2$$

Con el valor obtenido anteriormente, se establece un ducto de dimensiones **1200x950 mm**; $D_{\text{eqv}} = 1180 \text{ mm}$

Perdida del conducto: con el diámetro equivalente y la grafica de perdidas en ductos, se determina la pérdida por unidad de longitud del conducto principal, que será la misma para los demás tramos de suministro de aire al área de enfriamiento de las bobinas.

$$f = 0,16 \text{ mm.c.a./m}$$

Para determinar la pérdida total del conducto, se multiplica dicha perdida por la longitud del tramo principal.

$$\Delta P_{1-2} = 0,16 \text{ mm.c.a./m} \cdot 3,55 \text{ m} = 0,568 \text{ mm.c.a}$$

Tramo 2-3: Codo de 90°

Las dimensiones del codo son las mismas que el tramo anterior (1-2); es decir, **1200x950 mm**, siendo $W = 1200 \text{ mm}$ y $D = 950 \text{ mm}$. Las pérdidas del codo se determinan obteniendo la longitud equivalente del mismo, mediante la tabla de rozamiento en los elementos de un sistema de conductos rectangulares, para luego multiplícalo por el factor f .

Para obtener la longitud equivalente, es necesario determinar las relaciones R/D y W/D . para el caso de la relación R/D , se tomara el valor de 1,25 la cual es la relación estándar [xx]. La relación W/D es 1,333 (se obtiene de dividir las dimensiones del ducto: $1200/950$)

Con estos valores, se tiene que la relación (L/D) será de 7,13 por lo tanto multiplicando este valor por el ancho del ducto la longitud equivalente del accesorio será de 6,77 m, Al multiplicar esta ultima por el factor f para determinarse la perdida de accesorio tiene:

$$\Delta P_{1-2} = 0,16 \text{ mm.c.a./m} \cdot 6,77 \text{ m} = 1,083 \text{ mm.c.a}$$

Tramo 3-4: Tramo Recto.

Al ser el caudal de este tramo igual al caudal de los tramos 1-2 y 2-3, las dimensiones siguen siendo las mismas: **1200x950 mm**. La longitud de este tramo es de 3.88 m y su pérdida es:

$$\Delta P_{1-2} = 0,16 \text{ mm.c.a./m} \cdot 3,88 \text{ m} = 0,621 \text{ mm.c.a}$$

Diseño de las ramificaciones del ducto principal:

Del ducto principal salen cuatro ramificaciones 5-11,13-18,21-26,28-36 que se dirigen a las zonas de enfriamiento de las bobinas.

Ramificación 5-11:

El caudal de aire que maneja este tramo en el inicio del ducto es de $3,067 \text{ m}^3/\text{s}$. Para determinar las dimensiones de la ramificación, es necesario conocer el porcentaje de capacidad de la misma (%Cap), el cual se obtiene al dividir el caudal que maneja el tramo 5-6 entre el caudal total, luego con la tabla de porcentaje de sección recta en ramas para conservar el rozamiento, se obtiene el porcentaje de área, que al multiplicarlo por el área del tramo principal resulta en el área del nuevo ducto.

$$\%Cap = \frac{3,067 \text{ m}^3/\text{s}}{15,333 \text{ m}^3/\text{s}} \cdot 100 = 20\%$$

Para un 20% de capacidad de caudal, el porcentaje de área es de 27%, el área para este tramo es entonces:

$$A = 0,27 \cdot 1,095 \text{ m}^2 = 0,296 \text{ m}^2$$

Con esta área se obtienen las dimensiones del ducto = **550x550 mm**. Dado que la sección siguiente es un doble codo de 90° la misma tendrá las dimensiones determinadas.

De igual forma se obtienen las dimensiones para las demás ramificaciones.

Tramo 5-6: Doble codo de 90°

Las dimensiones del doble codo son las mismas a las determinadas para el inicio del tramo; es decir, **550x550 mm**, siendo $W = 550$ mm y $D = 550$ mm. Las pérdidas del mismo se determinan obteniendo la longitud equivalente del mismo, mediante la tabla de rozamiento en los elementos de un sistema de conductos, para luego multiplicarlo por el factor f .

Conociendo que S y D son dimensiones diferentes, la tabla de rozamiento en los elementos de un sistema de conductos rectangulares presenta una expresión para este modelo de ductos (sin embargo esta es una aproximación al valor real dado que W/D es diferente a la unidad aunque si muy cercano), se tiene que la longitud equivalente es de 11 m, al multiplica la longitud por el factor f se tiene:

$$\Delta P_{1-2} = 0,16 \text{ mm.c.a./m} \cdot 10 \text{ m} = 1,76 \text{ mm.c.a}$$

Tramo Recto 6-7

El caudal de aire que maneja este ducto es de $3,076 \text{ m}^3/\text{s}$. Este tramo tendrá las mismas dimensiones de la sección que le precede. La longitud de este tramo es de 1,7 m por lo tanto la perdida será

$$\Delta P_{10-11} = 0,16 \text{ mm.c.a./m} \cdot 1,7 \text{ m} = 0,272 \text{ mm.c.a}$$

Tramo 7-8: Reducción

Debido a la disminución del flujo de aire dentro del ducto, se requiere reducir las dimensiones del mismo, para mantener la velocidad de aire establecida para el sistema de enfriamiento a diseñar.

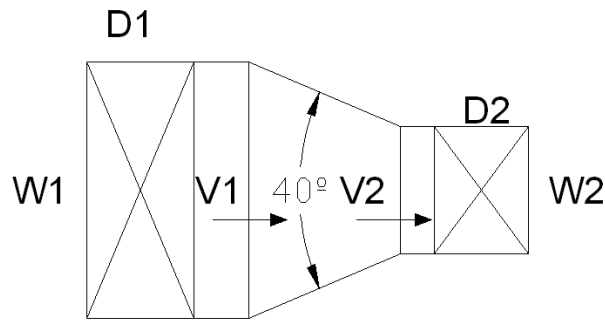


Figura AV.1.- Esquema de la reducción. El aire entra con una velocidad V1 y sale con una velocidad V2, igualmente las dimensiones del conducto varían (de D1, w1 a d2, w2)

El cálculo de las pérdidas en una reducción viene dada por la siguiente ecuación

$$\Delta P = n_p \cdot (h_{v1} - h_{v2})$$

Donde:

ΔP : Pérdidas generadas (mm.c.a)

n_p : Factor de pérdida

h_{v1} : Presión dinámica a la entrada de la reducción (mm.c.a)

h_{v2} : Presión dinámica a la salida de la reducción (mm.c.a)

Para determinar la presión dinámica a la entrada y salida de la expansión, así como el factor de pérdida, es necesario conocer las velocidades a la entrada y salida de la expansión.

La velocidad a la entrada de la reducción se obtiene dividiendo el caudal que aún queda dentro del ducto y el área del mismo (6,9 m/s), la velocidad de salida es la establecida durante el diseño (11 m³/s).

Con ambas velocidades y la tabla de presiones dinámicas mostradas en el anexo xx, se obtienen los valores de h_{v1} (2,98 mm.c.a) y h_{v2} (7,57 mm.c.a).

Determinando el ángulo de la reducción se obtiene a través de la tabla de rozamiento en los elementos de un sistema de conductos regulares el valor se obtuvo $n_p = 0,311$

Al sustituir los valores en la ecuación a continuación, se obtienen la pérdida total en la tobera.

$$\Delta P = n_p \cdot (h_{v2} - h_{v1})$$

Sustituyendo

$$\Delta P = 0,311 \cdot (7,57 - 2,98)$$

$$\Delta P = 1,43 \text{ mm. c. a}$$

A la salida de la reducción van acopladas las ramificaciones que llevarán el aire a las demás secciones.

Las dimensiones del ducto a la salida de la reducción se establecerán, a partir de la velocidad del aire para ramales recomendada, la misma es de 11 m/s. por lo tanto las dimensiones para este tramo son:

$$Area_{ducto} = \frac{2,044 \text{ m}^3/s}{11 \text{ m/s}} \rightarrow Area_{ducto} = 0,186 \text{ m}^2$$

Siguiendo el mismo procedimiento del tramo 1-2, se establece las dimensiones del ducto, las mismas dieron como resultado **500x400 mm**

Tramo Recto 8-9

El caudal de aire que maneja este ducto es de $2,044 \text{ m}^3/\text{s}$. Este tramo tendrá las mismas dimensiones de la salida de la reducción que le precede. La longitud de este tramo es de 1,7 m por lo tanto la pérdida será

$$\Delta P_{10-11} = 0,16 \text{ mm.c.a./m} \cdot 1,7 \text{ m} = 0,272 \text{ mm.c.a}$$

Tramo 9-10: Reducción

La pérdida generada por la reducción del ducto y las dimensiones a la salida del mismo, fue determinada de la misma forma que del tramo 7-8. Se obtuvo que las velocidades de entrada y salida para este tramo son:

$$V_{\text{entrada}} = 5,5 \text{ m/s} \rightarrow h_{v1} (1,9 \text{ mm.c.a})$$

$$V_{\text{salida}} = 11 \text{ m/s} \rightarrow h_{v2} (7,57 \text{ mm.c.a}).$$

$$\Delta P = 0,311 \cdot (7,57 - 1,9)$$

$$\Delta P = 1,763 \text{ mm.c.a}$$

Con un caudal de $1,022 \text{ m}^3/\text{s}$ que circula a través de la reducción y la velocidad de diseño establecida para ramificaciones, se obtiene un $Area_{ducto} = 0,093 \text{ m}^2$ por lo tanto las dimensiones del ducto serán **350x300 mm**.

Tramo Recto 10-11:

El caudal de aire que maneja este ducto es de $1,022 \text{ m}^3/\text{s}$. Este tramo tendrá las mismas dimensiones de la salida de la reducción que le precede. La longitud de este tramo es de 1,2 m por lo tanto la pérdida será:

$$\Delta P_{10-11} = 0,16 \text{ mm.c.a./m} \cdot 1,2 \text{ m} = 0,192 \text{ mm.c.a}$$

Tramo 4-12: Reducción

La pérdida generada por la reducción del ducto y las dimensiones a la salida del mismo, fue determinada de la misma forma que del tramo 7-8. Se obtuvo que las velocidades de entrada y salida para este tramo son:

$$V_{\text{entrada}} = 11,2 \text{ m/s} \rightarrow h_{v1} (7,85 \text{ mm.c.a})$$

$$V_{\text{salida}} = 13 \text{ m/s} \rightarrow h_{v2} (10,57 \text{ mm.c.a})$$

$$\Delta P = 0,311 \cdot (10,57 - 7,85)$$

$$\Delta P = 0,846 \text{ mm. c. a}$$

Con un caudal de $12,266 \text{ m}^3/\text{s}$ que circula a través de la reducción y la velocidad de diseño establecida para este tramo definida como $V_{\text{salida}} = 13 \text{ m/s}$, se obtiene un $Area_{\text{ducto}} = 0,944 \text{ m}^2$ por lo tanto las dimensiones del ducto serán **1100x900 mm**

Ramificación 13-14: Tramo Recto

El caudal de aire que maneja este ducto es de $4,6 \text{ m}^3/\text{s}$. De igual forma como se determino para la ramificación 5-6, se obtiene $Area=0,429 \text{ m}^2$. Por lo tanto las dimensiones del ducto serán **750x600 mm**, dada que la longitud de este tramo es de 3,1 m la pérdida del mismo será:

$$\Delta P_{10-11} = 0,16 \text{ mm.c.a./m} \cdot 3,1 \text{ m} = 0,496 \text{ mm.c.a}$$

Tramo 14-15: Reducción

La pérdida generada por la reducción del ducto y las dimensiones a la salida del mismo, fue determinada de la misma forma que del tramo 7-8. Se obtuvo que las velocidades de entrada y salida para este tramo son:

$$V_{\text{entrada}} = 7,1 \text{ m/s} \rightarrow h_{v1} (3,16 \text{ mm.c.a})$$

$$V_{\text{salida}} = 11 \text{ m/s} \rightarrow h_{v2} (7,57 \text{ mm.c.a}).$$

$$\Delta P = 0,311 \cdot (7,57 - 3,16)$$

$$\Delta P = 1,372 \text{ mm. c. a}$$

Con un caudal de $3,067 \text{ m}^3/\text{s}$ que circula a través de la reducción y la velocidad de diseño establecida para ramificaciones, se obtiene un $Area_{ducto} = 0,279 \text{ m}^2$ por lo tanto las dimensiones del ducto serán **600x500 mm.**

Tramo Recto 15-16:

El caudal de aire que maneja este ducto es de $3,067 \text{ m}^3/\text{s}$. Este tramo tendrá las mismas dimensiones de la salida de la reducción que le precede. La longitud de este tramo es de 1,7 m por lo tanto la pérdida será

$$\Delta P_{10-11} = 0,16 \text{ mm. c. a}/\text{m} \cdot 1,7 \text{ m} = 0,272 \text{ mm. c. a}$$

Tramo 16-17: Reducción

La pérdida generada por la reducción del ducto y las dimensiones a la salida del mismo, fue determinada de la misma forma que del tramo 7-8. Se obtuvo que las velocidades de entrada y salida para este tramo son:

$$V_{entrada} = 5,5 \text{ m/s} \rightarrow h_{v1} (1,9 \text{ mm.c.a})$$

$$V_{salida} = 11 \text{ m/s} \rightarrow h_{v2} (7,57 \text{ mm.c.a}).$$

$$\Delta P = 0,311 \cdot (7,57 - 1,9)$$

$$\Delta P = 1,804 \text{ mm. c. a}$$

Con un caudal de $1,533 \text{ m}^3/\text{s}$ que circula a través de la reducción y la velocidad de diseño establecida para ramificaciones, se obtiene un $Area_{ducto} = 0,139 \text{ m}^2$ por lo tanto las dimensiones del ducto serán **500x300 mm.**

Tramo Recto 17-18:

El caudal de aire que maneja este ducto es de $1,533 \text{ m}^3/\text{s}$. Este tramo tendrá las mismas dimensiones de la salida de la reducción que le precede. La longitud de este tramo es de 1,4 m por lo tanto la pérdida será

$$\Delta P_{10-11} = 0,16 \text{ mm.c.a./m} \cdot 1,4 \text{ m} = 0,224 \text{ mm.c.a}$$

Tramo Recto 12-19:

El caudal de aire que maneja este ducto es de $7,666 \text{ m}^3/\text{s}$. Este tramo tendrá las mismas dimensiones de la salida de la reducción que le precede. La longitud de este tramo es de 1,6 m por lo tanto la pérdida será

$$\Delta P_{10-11} = 0,16 \text{ mm.c.a./m} \cdot 1,6 \text{ m} = 0,256 \text{ mm.c.a}$$

Tramo 19-20: Reducción

La pérdida generada por la reducción del ducto y las dimensiones a la salida del mismo, fue determinada de la misma forma que del tramo 7-8. Se obtuvo que las velocidades de entrada y salida para este tramo son:

$$V_{\text{entrada}} = 8,1 \text{ m/s} \rightarrow h_{v1} (4,10 \text{ mm.c.a})$$

$$V_{\text{salida}} = 12 \text{ m/s} \rightarrow h_{v2} (9 \text{ mm.c.a}).$$

$$\Delta P = 0,311 \cdot (9 - 4,10)$$

$$\Delta P = 1,524 \text{ mm.c.a}$$

Con un caudal de $7,666 \text{ m}^3/\text{s}$ que circula a través de la reducción y la velocidad de diseño establecida para este tramo definida como $V_{\text{salida}} = 12 \text{ m/s}$, se obtiene un $Area_{\text{ducto}} = 0,639 \text{ m}^2$ por lo tanto las dimensiones del ducto serán **950x700 mm.**

Ramificación 21-22: Tramo Recto

El caudal de aire que maneja este ducto es de $4,6 \text{ m}^3/\text{s}$. De igual forma como se determino para la ramificación 5-6, se obtiene $Area=0,431 \text{ m}^2$. Por lo tanto las dimensiones del ducto serán **750x600 mm**, dada que la longitud de este tramo es de 4,6 m la pérdida del mismo será:

$$\Delta P_{10-11} = 0,16 \text{ mm.c.a./m} \cdot 4,6 \text{ m} = 0,736 \text{ mm.c.a}$$

Tramo 22-23: Reducción

La pérdida generada por la reducción del ducto y las dimensiones a la salida del mismo, fue determinada de la misma forma que del tramo 7-8. Se obtuvo que las velocidades de entrada y salida para este tramo son:

$$V_{\text{entrada}} = 7,1 \text{ m/s} \rightarrow h_{v1} (3,16 \text{ mm.c.a})$$

$$V_{\text{salida}} = 11 \text{ m/s} \rightarrow h_{v2} (7,57 \text{ mm.c.a}).$$

$$\Delta P = 0,311 \cdot (7,57 - 3,16)$$

$$\Delta P = 1,372 \text{ mm. c. a}$$

Con un caudal de $3,067 \text{ m}^3/\text{s}$ que circula a través de la reducción y la velocidad de diseño establecida para ramificaciones, se obtiene un $Area_{ducto} = 0,279 \text{ m}^2$ por lo tanto las dimensiones del ducto serán **600x500 mm.**

Tramo Recto 23-24:

El caudal de aire que maneja este ducto es de $3,067 \text{ m}^3/\text{s}$. Este tramo tendrá las mismas dimensiones de la salida de la reducción que le precede. La longitud de este tramo es de 1,7 m por lo tanto la pérdida será

$$\Delta P_{10-11} = 0,16 \text{ mm.c.a./m} \cdot 1,7 \text{ m} = 0,272 \text{ mm.c.a}$$

Tramo 24-25: Reducción

La pérdida generada por la reducción del ducto y las dimensiones a la salida del mismo, fue determinada de la misma forma que del tramo 7-8. Se obtuvo que las velocidades de entrada y salida para este tramo son:

$$V_{\text{entrada}} = 5,5 \text{ m/s} \rightarrow h_{v1} (1,9 \text{ mm.c.a})$$

$$V_{\text{salida}} = 11 \text{ m/s} \rightarrow h_{v2} (7,57 \text{ mm.c.a}).$$

$$\Delta P = 0,311 \cdot (7,57 - 1,9)$$

$$\Delta P = 1,804 \text{ mm. c. a}$$

Con un caudal de $1,533 \text{ m}^3/\text{s}$ que circula a través de la reducción y la velocidad de diseño establecida para ramificaciones, se obtiene un $Area_{ducto} = 0,139 \text{ m}^2$ por lo tanto las dimensiones del ducto serán **500x300 mm.**

Tramo Recto 25-26:

El caudal de aire que maneja este ducto es de $1,533 \text{ m}^3/\text{s}$. Este tramo tendrá las mismas dimensiones de la salida de la reducción que le precede. La longitud de este tramo es de 1,4 m por lo tanto la pérdida será

$$\Delta P_{10-11} = 0,16 \text{ mm. c. a/m} \cdot 1,4 \text{ m} = 0,224 \text{ mm. c. a}$$

Tramo Recto 20-27:

El caudal de aire que maneja este ducto es de $3,066 \text{ m}^3/\text{s}$. Este tramo tendrá las mismas dimensiones de la salida de la reducción que le precede. La longitud de este tramo es de 3,5 m por lo tanto la pérdida será

$$\Delta P_{10-11} = 0,16 \text{ mm. c. a/m} \cdot 3,5 \text{ m} = 0,560 \text{ mm. c. a}$$

Tramo 27-28: Reducción

La pérdida generada por la reducción del ducto y las dimensiones a la salida del mismo, fue determinada de la misma forma que del tramo 7-8. Se obtuvo que las velocidades de entrada y salida para este tramo son:

$$V_{\text{entrada}} = 4,8 \text{ m/s} \rightarrow h_{v1} (1,45 \text{ mm.c.a})$$

$$V_{\text{salida}} = 11 \text{ m/s} \rightarrow h_{v2} (7,57 \text{ mm.c.a}).$$

$$\Delta P = 0,311 \cdot (7,57 - 1,459)$$

$$\Delta P = 1,903 \text{ mm. c. a}$$

Con un caudal de $3,066 \text{ m}^3/\text{s}$ que circula a través de la reducción y la velocidad de diseño establecida para ramificaciones, se obtiene un $Area_{ducto} = 0,279 \text{ m}^2$ por lo tanto las dimensiones del ducto serán **600x500 mm**.

Tramo 27-28: Codo de 90°

Las dimensiones del codo son las mismas del tramo anterior, es decir **600x500 mm**, siendo $W = 600 \text{ mm}$ y $D = 500 \text{ mm}$. La longitud equivalente del codo fue determinada de la misma forma que el codo 2-3 y es de $3,55 \text{ m}$. Por lo que la pérdida es de:

$$\Delta P_{1-2} = 0,16 \text{ mm.c.a./m} \cdot 3,55 \text{ m} = 0,568 \text{ mm.c.a}$$

Tramo Recto 29-30:

El caudal de aire que maneja este ducto es de $3,066 \text{ m}^3/\text{s}$. Este tramo tendrá las mismas dimensiones de la salida de la reducción que le precede. La longitud de este tramo es de $1,4 \text{ m}$ por lo tanto la pérdida será

$$\Delta P_{10-11} = 0,16 \text{ mm.c.a./m} \cdot 1,4 \text{ m} = 0,224 \text{ mm.c.a}$$

Tramo 30-31: Doble codo de 90°

Las dimensiones del doble codo son las mismas que el tramo anterior (29-30); es decir, **600x500 mm**, siendo $W = 600 \text{ mm}$ y $D = 500 \text{ mm}$. Las pérdidas de esta sección se determinan de forma semejante a las del tramo 5-6, obteniéndose una longitud equivalente de 10 m por lo tanto la pérdida será:

$$\Delta P_{1-2} = 0,16 \text{ mm.c.a./m} \cdot 10 \text{ m} = 1,6 \text{ mm.c.a}$$

Tramo Recto 31-32:

El caudal de aire que maneja este ducto es de $3,066 \text{ m}^3/\text{s}$. Este tramo tendrá las mismas dimensiones del doble codo 90° que le precede. La longitud de este tramo es de $1,4 \text{ m}$ por lo tanto la pérdida será

$$\Delta P_{10-11} = 0,16 \text{ mm.c.a./m} \cdot 1,7 \text{ m} = 0,272 \text{ mm.c.a}$$

Tramo 32-33: Reducción

La pérdida generada por la reducción del ducto y las dimensiones a la salida del mismo, fue determinada de la misma forma que del tramo 7-8. Se obtuvo que las velocidades de entrada y salida para este tramo son:

$$V_{\text{entrada}} = 7,3 \text{ m/s} \rightarrow h_{v1} (3,33 \text{ mm.c.a})$$

$$V_{\text{salida}} = 11 \text{ m/s} \rightarrow h_{v2} (7,57 \text{ mm.c.a}).$$

$$\Delta P = 0,311 \cdot (7,57 - 3,33)$$

$$\Delta P = 1,319 \text{ mm.c.a}$$

Con un caudal de $2,044 \text{ m}^3/\text{s}$ que circula a través de la reducción y la velocidad de diseño establecida para ramificaciones, se obtiene un $Area_{ducto} = 0,186 \text{ m}^2$ por lo tanto las dimensiones del ducto serán **500x400 mm.**

Tramo Recto 33-34:

El caudal de aire que maneja este ducto es de $2,044 \text{ m}^3/\text{s}$. Este tramo tendrá las mismas dimensiones de la reducción que le precede. La longitud de este tramo es de $1,7 \text{ m}$ por lo tanto la pérdida será

$$\Delta P_{10-11} = 0,16 \text{ mm.c.a./m} \cdot 1,7 \text{ m} = 0,272 \text{ mm.c.a}$$

Tramo 34-35: Reducción

La pérdida generada por la reducción del ducto y las dimensiones a la salida del mismo, fue determinada de la misma forma que del tramo 7-8. Se obtuvo que las velocidades de entrada y salida para este tramo son:

$$V_{\text{entrada}} = 5,5 \text{ m/s} \rightarrow h_{v1} (1,9 \text{ mm.c.a})$$

$V_{\text{salida}} = 11 \text{ m/s} \rightarrow h_{v2} (7,57 \text{ mm.c.a.})$.

$$\Delta P = 0,311 \cdot (7,57 - 1,9)$$

$$\Delta P = 1,804 \text{ mm. c. a}$$

Con un caudal de $1,022 \text{ m}^3/\text{s}$ que circula a través de la reducción y la velocidad de diseño establecida para ramificaciones, se obtiene un $Area_{\text{ducto}} = 0,093 \text{ m}^2$ por lo tanto las dimensiones del ducto serán **350x300 mm.**

Tramo Recto 35-36

El caudal de aire que maneja este ducto es de $1,022 \text{ m}^3/\text{s}$. Este tramo tendrá las mismas dimensiones de la salida de la reducción que le precede. La longitud de este tramo es de $1,2 \text{ m}$ por lo tanto la pérdida será:

$$\Delta P_{10-11} = 0,16 \text{ mm.c.a./m} \cdot 1,2 \text{ m} = 0,192 \text{ mm. c. a}$$

APÉNDICE VI

COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DISEÑADO

A fin de realizar el diseño del sistema de enfriamiento seleccionado, y al igual que con el sistema de enfriamiento actual, se requiere generar un modelo matemático que permita determinar el comportamiento de la bobina durante el nuevo proceso de enfriamiento. Para este procedimiento se parte de igual manera del establecimiento de que los medios de transferencia de calor presentes en el proceso son la convección y la radiación puesto que se desprecia el contacto existente entre la bobina y el suelo, la radiación igualmente será omitida durante el desarrollo del análisis y se asumirá que todo el calor emitido por la bobina durante su enfriamiento es disipado por el proceso de la convección.

Por otro lado, los factores como: las condiciones ambientales, la variación de la temperatura inicial y final de la bobina, la temperatura del aire para la determinación de sus propiedades térmicas, no variaran respecto a las anteriormente determinadas (ver Apéndice III).

Para realizar el estudio convectivo sistema de enfriamiento, se dividió de igual forma que en el estudio del sistema de enfriamiento actual, la bobina en cuatro áreas cuyas geometrías se adaptaban a modelos matemáticos establecidos la bibliografía consultada^[10]. Dicha medida permite el cálculo de un coeficiente convectivo local para luego obtener un valor promedio de este coeficiente alrededor de la bobina. Para determinar el comportamiento del aire en cada área de la bobina se recurrió a las especificaciones establecidas durante el diseño de los ductos de ventilación, puesto que la configuración de suministro del aire fue modificada según lo muestra la figura 1 de esta sección, en la misma se muestra la dirección del flujo de aire del sistema de enfriamiento propuesto.

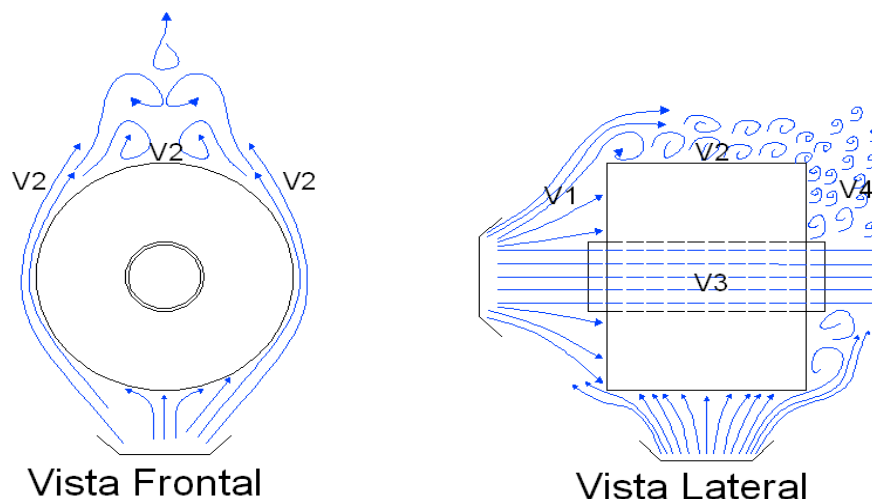


Figura AIV.1.- Flujo de aire alrededor de la bobina sistema de enfriamiento actual

La velocidad del flujo de aire se determinó a partir de las especificaciones establecidas durante el diseño de los ductos de ventilación, teniendo en cuenta que la velocidad del aire a la salida del ducto no es la misma con la que llega a la bobina, pues el fluido debe trasladarse una distancia que genera una pérdida de energía cinética. Dicha pérdida se determinó a partir del sistema de enfriamiento actual, en base a los siguientes criterios los cuales se muestran a continuación:

1. La velocidad de suministro del flujo de aire es aquella con la que sale del ventilador, la misma al medirse con el velocímetro, resultó $V_{salida} = 11,5 \text{ m/s}$
2. La distancia de recorrido del fluido para este estudio será de un metro (1 m) dado que es la distancia que existe entre los ventiladores y la bobina en el sistema actual.
3. La velocidad de llegada del flujo será aquella obtenida en el extremo de la bobina cuya área es sometida a ventilación directa (ver tabla 4.10), omitiéndose las demás áreas, la misma fue $V1 = V_{llegada} = 8,1 \text{ m/s}$.

Basándose en los criterios mencionados anteriormente, y analizando los resultados obtenidos, se establece mediante la diferencia de velocidades registradas que la pérdida de energía cinética es $V_{perd act} = 3,4 m$ por cada metro recorrido. Por lo tanto conocidos los valores de pérdida de energía por metro recorrido y establecida la distancia entre la rejilla de descarga y la bobina en el sistema diseñado (ver plano 5), se determina la pérdida de energía cinética en el aire para el sistema propuesto mediante la siguiente expresión:

$$V_{perd nuev} = \frac{V_{perd act} \cdot d_{diseño}}{d_{actual}}$$

Siendo:

d_{actual} : Distancia existe entre los ventiladores y la bobina en el sistema actual (m)

$d_{diseño}$: Distancia existe entre los ductos de ventilación y la bobina en el sistema a diseñar (m)

Sustituyendo cada término finalmente tenemos

$$V_{perd nuev} = \frac{3,4 m \cdot 0,5 m}{1 m} = 1,7 m/s$$

En la siguiente tabla se presentan los valores de las velocidades con que llegará aire a la bobina para el sistema propuesto

Tabla AIV.9.- Velocidad del aire en contacto con la bobina.

Velocidad (m/s)	Velocidad salida (m/s)	Perdida energía (m/s)	Velocidad de llegada (m/s)
V1	11	1,7	9,3
V2	11	1,7	9,3
V3	11	1,7	9,3
V4	2	0	2

A continuación al igual que para el sistema de enfriamiento actual se presenta el desarrollo del estudio de transferencia de calor por convección, donde se busca determinar el coeficiente convectivo local mediante el análisis de cada sección, según sea la configuración del flujo de aire que transitará por el área de la bobina, en la siguiente tabla se muestran las zonas a estudiar así como el arreglo de flujo que más se asemeja según la bibliografía consultada ^[10]

Tabla AIV.10.- Configuraciones del flujo de aire en contacto con la bobina.

Velocidad	Zona de la bobina	Configuración del flujo
V1	Extremo bobina con ventilación directa	Flujo sobre pared con ventilación directa
V2	Lateral de la bobina	Flujo alrededor de un cilindro
V3	Cara interna del Core	Flujo a través de un ducto
V4	Extremo bobina con ventilación indirecta	Flujo sobre pared con ventilación indirecta

Flujo sobre una pared vertical con ventilación directa

Número de Reynolds

Utilizando la velocidad determinada para esta sección de la bobina y definiendo la longitud característica del extremo plano de la bobina como el radio de la bobina

$$L_c = r_o$$

$$L_c = \frac{1,7}{2} = 0,85 \text{ m}$$

Se determina el valor de Reynolds a través de la ecuación (5)

$$Re = \frac{0,865 \cdot 9,3 \cdot 0,85}{22,9 \times 10^{-6}} \rightarrow Re = 298725,934$$

Calculo de Nusselt para flujo sobre placa plana

Se calculó este valor para un flujo choca contra una de los extremos de la bobina, para ello es fue necesario calcular primeramente el coeficiente de fricción superficial local.

$$C_{Fx} = \frac{0,455}{(\ln 0,06Re)^2}$$

$$C_{Fx} = \frac{0,455}{(\ln (0,06 \cdot 298725,934))^2}$$

$$C_{Fx} = 4,744 \times 10^{-3}$$

Hallado el coeficiente de fricción se procede a determinar el nusselt

$$Nu_D = \frac{(C_{Fx}/2) \cdot Re \cdot Pr}{1 + 12,7 \cdot (C_{Fx}/2)^{1/2} \cdot (Pr^{2/3} - 1)}$$

$$Nu_D = \frac{(4,744 \times 10^{-3}/2) \cdot 298725,934 \cdot 0,69}{1 + 12,7 \cdot (4,744 \times 10^{-3}/2)^{1/2} \cdot (0,69^{2/3} - 1)}$$

$$Nu_D = 565,526$$

Coefficiente de convección

Una vez determinado el número de Nusselt se determina el coeficiente convectivo local para el área estudiada mediante la ecuación (8)

$$h = \frac{Nu \cdot K_{aire}}{L} \rightarrow h = \frac{565,526 \cdot 0,034}{0,85}$$

$$h = 22,407 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

Flujo sobre una pared vertical con ventilación indirecta

Número de Reynolds

Utilizando la velocidad determinada para esta sección de la bobina y definiendo la longitud característica del extremo plano de la bobina como el radio de la bobina

$$Lc = r_o$$

$$Lc = \frac{1,7}{2} = 0,85 \text{ m}$$

Se determina el valor de Reynolds a través de la ecuación (5)

$$Re = \frac{0,865 \cdot 3 \cdot 0,85}{22,9 \times 10^{-6}} \rightarrow Re = 64242,136$$

Calculo de Nusselt para flujo sobre placa plana

Se calculó este valor para un flujo choca contra una de los extremos de la bobina, para ello es fue necesario calcular primeramente el coeficiente de fricción superficial local.

$$C_{Fx} = \frac{0,455}{(\ln 0,06Re)^2}$$

$$C_{Fx} = \frac{0,455}{(\ln (0,06 \cdot 64242,136))^2}$$

$$C_{Fx} = 6,674 \times 10^{-3} \rightarrow \text{pag 293}$$

Hallado el coeficiente de fricción se procede a determinar el nusselt

$$Nu_D = \frac{(C_{Fx}/2) \cdot Re \cdot Pr}{1 + 12,7 \cdot (C_{Fx}/2)^{1/2} \cdot (Pr^{2/3} - 1)}$$
$$Nu_D = \frac{(6,674 \times 10^{-3}/2) \cdot 64242,136 \cdot 0,69}{1 + 12,7 \cdot (6,674 \times 10^{-3}/2)^{1/2} \cdot (0,69^{2/3} - 1)}$$

$$Nu_D = 176,249$$

Coefficiente de convección

Una vez determinado el número de Nusselt se determina el coeficiente convectivo local para el área estudiada mediante la ecuación (8)

$$h = \frac{Nu \cdot K_{aire}}{L} \rightarrow h = \frac{176,249 \cdot 0,034}{0,85}$$

$$h = 6,983 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

Flujo a través de un ducto (core)

Como estimación para calcular el flujo de calor a través del core de la bobina se realizará una analogía entre esta superficie respecto a un ducto cilíndrico con igual área de transferencia de calor.

Número de Reynolds

Utilizando la velocidad determinada para esta sección de la bobina y definiendo la longitud característica como el diámetro del core se obtiene el mediante la ecuación (5) el numero de Reynolds

$$Re = \frac{0,865 \cdot 9,3 \cdot 0,520}{22,9 \times 10^{-6}} \rightarrow Re = 182749,983$$

Calculo de Nusselt para flujo a través de un ducto (core)

Se calculó este valor para un flujo que atraviesa el ducto (core), para ello es necesario calcular primeramente el factor de fricción.

$$F = (0,790 \cdot \ln(Re) - 1,64)^{-2}$$

$$F = (0,790 \cdot \ln(182749,983) - 1,64)^{-2}$$

$$F = 1,272 \times 10^{-2} \rightarrow \text{pag 281}$$

Hallado el factor de fricción se procede a determinar el nusselt

$$Nu_D = \frac{(F/8) \cdot (Re - 1000) \cdot Pr}{1 + 12,7 \cdot (F/8)^{1/2} \cdot (Pr^{2/3} - 1)}$$

$$Nu_D = \frac{(1,272 \times 10^{-2}/8) \cdot (182749,983 - 1000) \cdot 0,69}{1 + 12,7 \cdot (1,272 \times 10^{-2}/8)^{1/2} \cdot (0,69^{2/3} - 1)}$$

$$Nu_D = 224,249$$

Coefficiente de convección

Una vez determinado el número de Nusselt se determina el coeficiente convectivo local para el área estudiada mediante la ecuación (8)

$$h = \frac{Nu \cdot K_{aire}}{D} \rightarrow h = \frac{224,249 \cdot 0,034}{0,520}$$

$$h = 14,524 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

Calculo de coeficiente convectivo para flujo alrededor de un cilindro

Utilizando la velocidad determinada para esta sección de la bobina y definiendo la longitud característica como el diámetro del cilindro se obtiene el mediante la ecuación (5) el numero de Reynolds

$$Re = \frac{0,865 \cdot 9,3 \cdot 1,7}{22,9 \times 10^{-6}} \rightarrow Re = 597451,869$$

Calculo de Nusselt

Se calculó este valor para un flujo transversal a un cilindro (suponiendo que este es macizo), dado el numero de Reynolds utiliza la ecuación para la condición de $4 \times 10^5 < Re < 5 \times 10^6$

$$Nu_D = 0,3 + \frac{0,62 \cdot Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3}}{[1 + (0,4/Pr)^{2/3}]^{1/4}} \cdot \left[1 + \left(\frac{Re}{282000} \right)^{5/8} \right]^{4/5}$$

$$Nu_D = 0,3 + \frac{0,62 \cdot 597451,869^{1/2} \cdot 0,69^{1/3}}{[1 + (0,4/0,69)^{2/3}]^{1/4}} \cdot \left[1 + \left(\frac{597451,869}{282000} \right)^{5/8} \right]^{4/5}$$

$$Nu_D = 797,066$$

Coefficiente de convección

Una vez determinado el número de Nusselt se determina el coeficiente convectivo local para el área estudiada mediante la ecuación (8)

$$h = \frac{Nu \cdot K_{aire}}{D} \rightarrow h = \frac{797,066 \cdot 0,034}{1,7}$$

$$h = 15,79 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Finalmente una vez definidos cada uno de los coeficientes convectivos actuantes sobre la bobina se procede a promediarlos, posteriormente se realiza el cálculo del número de BIOT a fin de determinar el régimen en el que se encuentra la bobina.

$$N^{\circ} BIOT = \frac{L_c \cdot h_{promedio}}{k}$$

Sustituyendo cada parámetro

$$N^{\circ} BIOT = \frac{0,203874 \cdot 14,926}{210} = 0,0145$$

Dado que BIOT resulto menor que 0,1 se puede asumir que el cuerpo se encuentra a temperatura uniforme. Como método para evaluar la veracidad de los cálculos realizados, se determina el tiempo de enfriamiento teórico de la bobina para este sistema, dado que el procedimiento es semejante al llevado a cabo para determinar el tiempo de enfriamiento en el sistema actual. Se obtiene:

$$\Psi = \frac{13,3205 \cdot 14,926}{(2710 \cdot 2,7157) \cdot 900} = 3 \times 10^{-5}$$

Sustituyendo cada termino en la ecuación (25)

$$t = \frac{\text{Ln} \left(\frac{660,56 - 305,08}{352,75 - 305,08} \right)}{3 \times 10^{-5}} = 66934,30 \text{ s} = 18,593 \text{ horas}$$

APENDICE VII

DISEÑO Y CÁLCULOS DE LAS ESTIBAS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PROPUESTO

Como se muestra en la figura anexa el sistema propuesto constará de 4 estibas o soportes, cada una de estas deberá ser capaz de aguantar el peso de 5 o 6 bobinas según lo establecido por el diseño. Por lo tanto para efectos de los cálculos se tomará como muestra la estiba que se sustente el mayor número de bobinas ya que es sobre esta donde se aplicara la mayor carga.

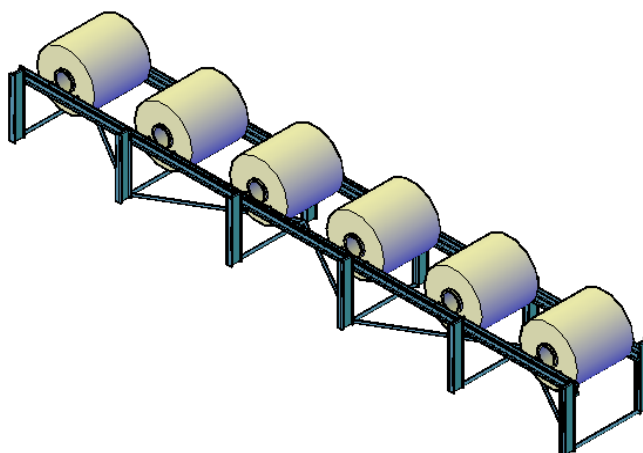


Figura AVIII.1.- Arreglo de del conjunto de bobinas del sistema propuesto

El máximo peso que debe soportar la estiba será de 24 toneladas aproximadamente, producto de las 6 bobinas que reposan sobre ella, la carga total ejercida será distribuida uniformemente entre las 12 columnas que sostienen las dos vigas principales del sistema.

A continuación se procederá al diseño por flexión y corte directo para solo una de las vigas principales dado que cada una recibe el mismo peso, para el caso de las columnas de

soporte, se realizará el diseño por compresión y pandeo en aquella que reciba la mayor carga.

Como consideración para el diseño se establecerá un factor de seguridad igual a 3 debido a que se observó durante la etapa de estudio, que el personal de operarios que manejan y desplazan las bobinas de un sitio a otro con el puente grúa no tienen cuidado al momento de situar las mismas en la zona de enfriamiento ocurriendo con frecuencia impactos moderados de éstas con el suelo por lo que se presume que el sistema de estibas también estará sometido a esta situación.

Análisis de fuerzas aplicadas

A fin de identificar correctamente todas las fuerzas potenciales y momentos en el sistema mostrado, es necesario dibujar lo mas preciso posible el diagrama de cuerpo libre de cada uno de los miembros del sistema. A continuación se muestra el arreglo de las bobinas sobre la viga principal del sistema de estibas, así como también las dimensiones de esta y la posición tanto de las cargas aplicadas por parte de las bobinas y las reacciones resultantes.

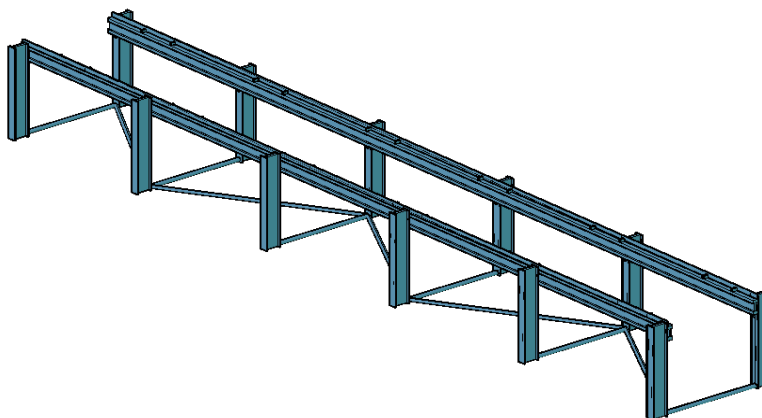


Figura AVIII.2.- Arreglo de las bobinas sobre la estiba de soporte

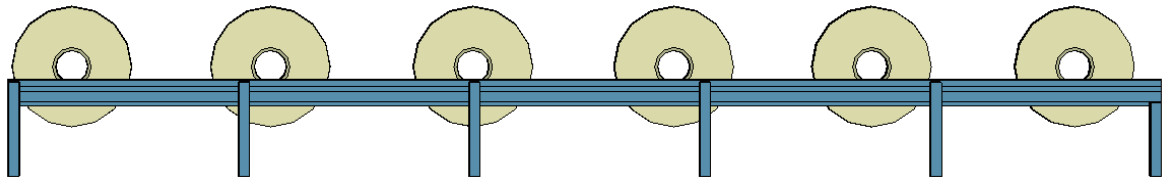


Figura AVIII.3.- Vista lateral del arreglo de bobinas sobre la estiba de soporte

Diagrama de Cuerpo Libre

En cada una de las columnas se produce una reaccion originada por el peso que ejercen las bobinas, para determinar el modulo de cada una de estas reacciones es necesario elaborar el diagrama de cuerpo libre de la viga de apoyo de la estiba.

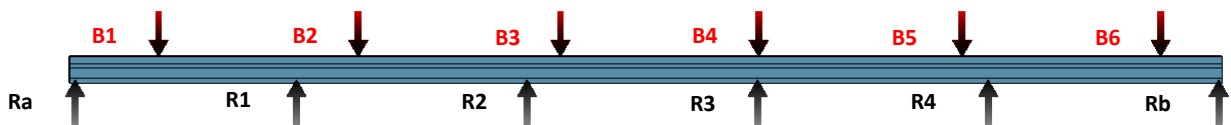


Figura AVIII.4.- Diagrama de cuerpo libre de la viga principal del sistema de estibas

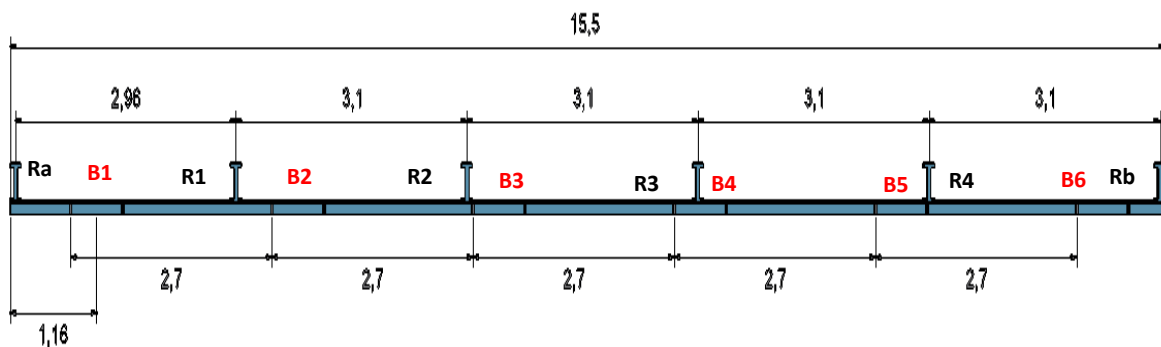


Figura AVIII.5.- Dimensiones de la viga principal y posiciones de las cargas y reacciones provenientes de las bobinas (vista de planta)

Realizando el análisis de las fuerzas aplicadas perpendicularmente al eje de la viga, la sumatoria de momentos que producen dichas fuerzas y el uso de un software ^[18] para el estudio de estructuras de este tipo, se obtiene el valor de las reacciones, cuyos resultados se muestran a continuación:

- $R_a = 1820,560 \text{ Kg}$
- $R_b = 2717,909 \text{ Kg}$
- $R_1 = 5267,875 \text{ Kg}$
- $R_2 = 4464,871 \text{ Kg}$
- $R_3 = 4461,938 \text{ Kg}$
- $R_4 = 5266,845 \text{ Kg}$

Diagrama de corte y diagrama de momento aplicado a la viga.

Debido a los efectos de las fuerzas aplicadas, el estudio de la flexión presenta variaciones de una sección a otra. Los efectos presentes son la fuerza cortante y el momento flexionante, a continuación se muestran los diagramas de esfuerzos para la longitud de la viga principal de la estiba.

Grafico AVIII.1.- Diagrama de fuerza cortante sobre viga principal de las estibas

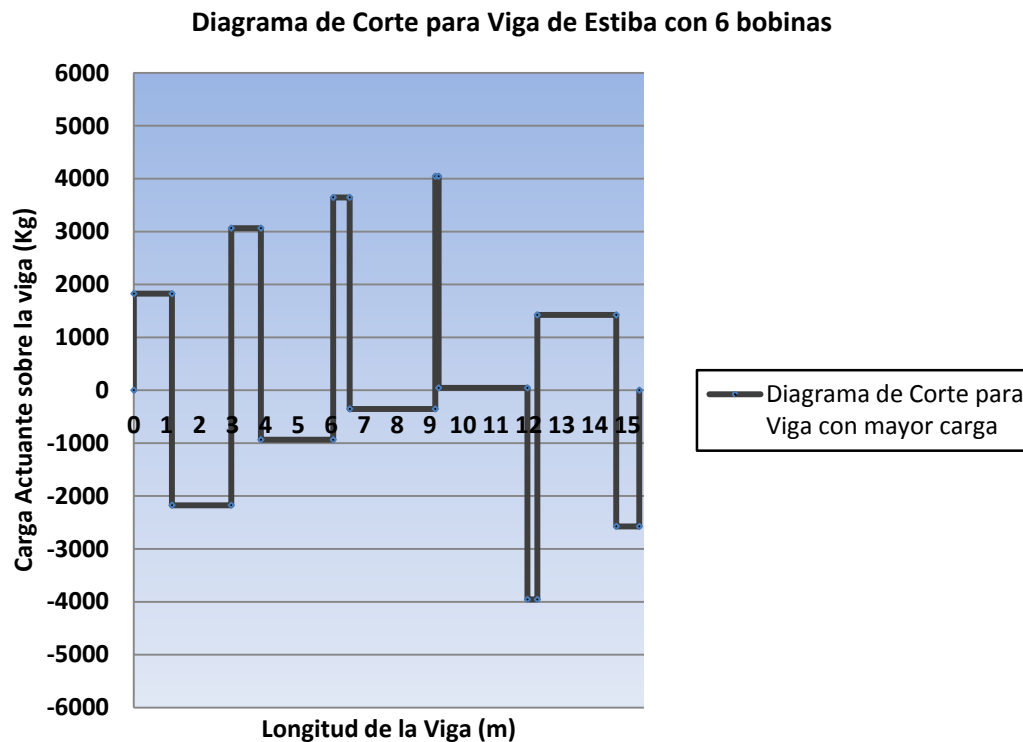
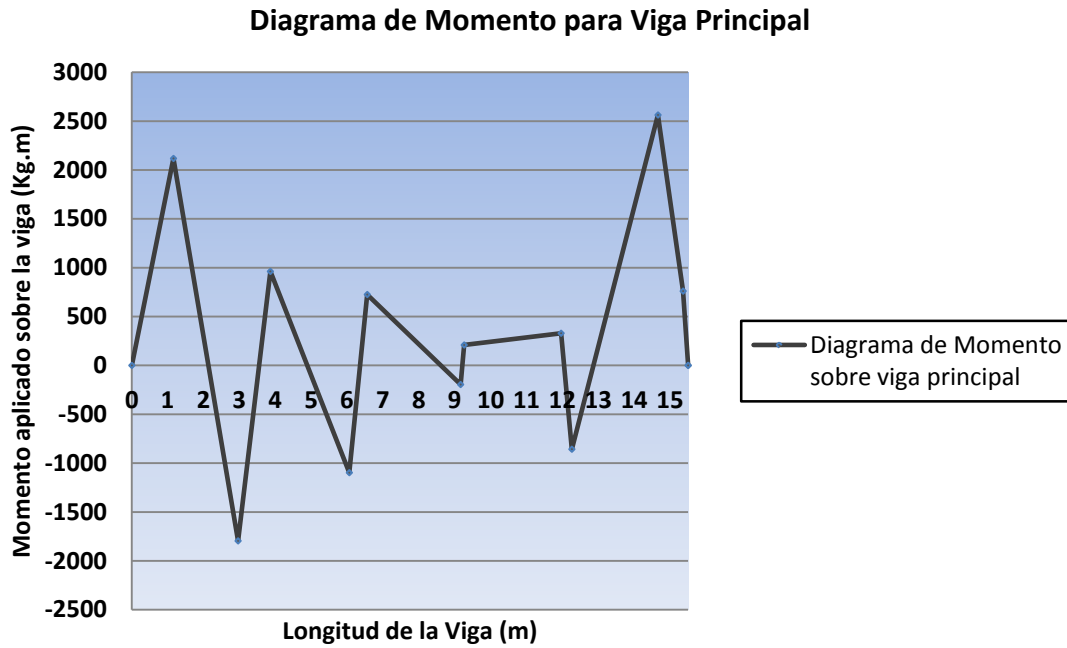


Grafico AVIII.2.- Diagrama de Momento sobre viga principal de las estibas



Selección de perfil de viga

Establecido el factor de seguridad, y conocido el modulo del esfuerzo de fluencia proporcionado por la empresa productora de perfiles Properca, definimos el esfuerzo de trabajo admisible por el sistema.

$$F_s = \frac{\sigma_{fluencia}}{\sigma_{trabajo}} \rightarrow \sigma_{trabajo} = \frac{25,30}{3}$$

$$\sigma_{trabajo} = 8,433 \frac{kg}{mm^2} = 8,433E6 \frac{kg}{m^2}$$

Observando el diagrama de momento sobre la viga principal, se obtiene como momento flector máximo un valor de 2111,8496 Kg.m, por lo tanto sustituyendo cada parámetro en la desigualdad de diseño tenemos que

$$S_x \geq \frac{2111,8496}{8,433E6} \rightarrow S_x \geq 2,50427E - 4 m^3 = 250,42cm^3$$

Comparando este valor con aquellos que están descritos en el catálogo para perfiles de vigas serie estándar properca, se obtiene que el perfil que cumple con el criterio de diseño es el modelo Vp 250 x 29,4, teniendo un modulo de $351 cm^3$. Las características y dimensiones del elemento se presentan a continuación

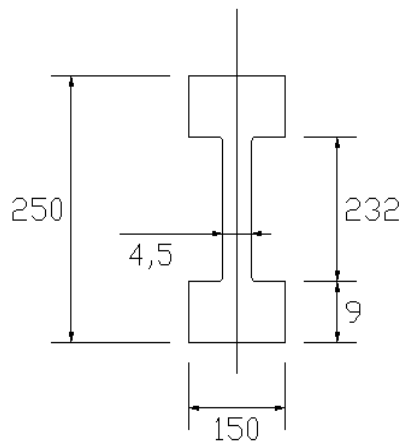


Figura AVIII.6.- Dimensiones del Perfil de Viga

Diseño por corte directo

Para determinar si el perfil seleccionado como viga es capaz de soportar la carga que le está siendo aplicada, debemos saber si el esfuerzo de trabajo actuante es menor o igual al esfuerzo último que puede resistir el elemento. Esta condición puede expresarse por la desigualdad

$$\sigma_{trabajo} < \sigma_{ultimo}$$

El modulo del esfuerzo último es proporcionado por la empresa productora de perfiles Properca el mismo es igual a $4080 \frac{kg}{cm^2}$, mientras que el esfuerzo de trabajo se determina bajo la ecuación 18:

$$\sigma_{trabajo} = \frac{4000}{37,4} \rightarrow \sigma = 106,951 \frac{kg}{cm^2}$$

Comparando ambos esfuerzos se concluye que la viga es capaz de soportar los esfuerzos de flexión y los esfuerzos de corte directo.

Deformación en la viga

Una vez definida la viga principal de apoyo del sistema de estibas es necesario determinar la deformación que sufrirá la misma al ser sometida a las cargas para las cuales fue diseñada. Para ello se utilizara el cálculo de flechas sobre vigas ^[14], donde se busca establecer la ecuación característica de la viga. La misma quedara definida como:

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = M = RaX - B1(X - 1,16) + R1(X - 2,96) - B2(X - 3,86) + R2(X - 6,06) - B3(X - 6,56) \\ + R3(X - 9,16) - B4(X - 9,26) - B5(X - 11,96) + R4(X - 12,26) - B6(X - 14,66)$$

Derivando la ecuación

$$EI \frac{dy}{dx} = \frac{Ra}{2} X^2 - \frac{B1}{2} (X - 1,16)^2 + \frac{R1}{2} (X - 2,96)^2 - \frac{B2}{2} (X - 3,86)^2 + \frac{R2}{2} (X - 6,06)^2 - \frac{B3}{2} (X - 6,56)^2 \\ + \frac{R3}{2} (X - 9,16)^2 - \frac{B4}{2} (X - 9,26)^2 - \frac{B5}{2} (X - 11,96)^2 + \frac{R4}{2} (X - 12,26)^2 - \frac{B6}{2} (X - 14,66)^2 + c1$$

Derivando nuevamente la ecuación

$$EIy = \frac{Ra}{3} X^3 - \frac{B1}{3} (X - 1,16)^3 + \frac{R1}{3} (X - 2,96)^3 - \frac{B2}{3} (X - 3,86)^3 + \frac{R2}{3} (X - 6,06)^3 - \frac{B3}{3} (X - 6,56)^3 \\ + \frac{R3}{3} (X - 9,16)^3 - \frac{B4}{3} (X - 9,26)^3 - \frac{B5}{3} (X - 11,96)^3 + \frac{R4}{3} (X - 12,26)^3 - \frac{B6}{3} (X - 14,66)^3 + C1X + C2$$

Condiciones de borde o frontera

En A, para $X = 0$, la ordenada $y = 0$. Sustituyendo estos valores en la ecuación (c) se obtiene $C2 = 0$. Recordemos que $(X - a)^3$ no existe para valores menores que “a” que harían negativo el paréntesis

En el otro apoyo, para $X = 15,5$ la ordenada también es nula. Conocido $C2 = 0$ y sustituyendo en la expresión (c), se obtiene $C1 = -11080,6621$, siendo (E) el módulo de elasticidad del acero igual a $2\,100\,000 \text{ kgf/cm}^2$ y la inercia de la viga será de 4390 cm^4 obtenida a partir de las especificaciones de la viga

$$\begin{aligned}
 0 = & \frac{1934,001}{3} 15,5^3 - \frac{4000}{3} (15,5 - 1,16)^3 + \frac{5255,794}{3} (15,5 - 2,96)^3 - \frac{4000}{3} (15,5 - 3,86)^3 \\
 & + \frac{4465,666}{3} (15,5 - 6,06)^3 - \frac{4000}{3} (15,5 - 6,56)^3 + \frac{4387,412}{3} (15,5 - 9,16)^3 \\
 & - \frac{4000}{3} (15,5 - 9,26)^3 - \frac{4000}{3} (15,5 - 11,96)^3 + \frac{5523,292}{3} (15,5 - 12,26)^3 \\
 & - \frac{4000}{3} (15,5 - 14,66)^3 + C1 \cdot 15,5 + C2
 \end{aligned}$$

Sustituyendo los valores de $C1$ y $C2$ en la ecuación (C) se obtiene un valor de deflexión en la viga de $Y = -1,18E-3 \text{ m}$, valor que asegura la rigidez del sistema de estibas.

Diseño de la columna a compresión y pandeo

Un elemento largo es más flexible que uno corto, por lo tanto las deflexiones que recibirá serán proporcionales a su longitud. Con un valor relativamente pequeño de carga puede producirse un esfuerzo de deflexión grande acompañado de un esfuerzo de compresión despreciable, por esta razón es necesario establecer si las columnas de soporte de la viga principal pertenecen a la categoría de columnas largas o columnas cortas, para

posteriormente según sea el caso estudiar el efecto de pandeo que pudiera producirse en la misma.

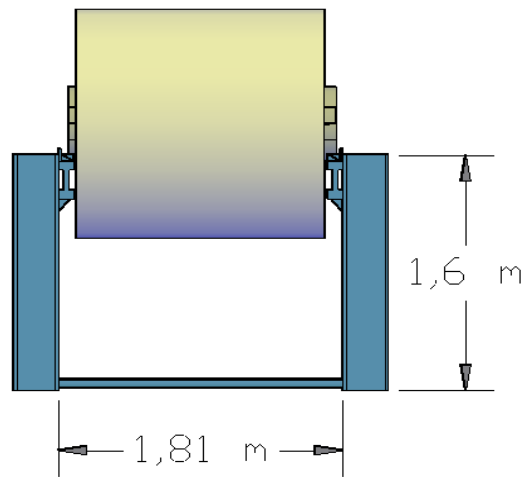


Figura AVIII.7.- Dimensiones de Columnas de Apoyo

Para el diseño de las columnas se tomara como base para el cálculo aquella que reciba la mayor carga por parte de las bobinas o dicho en otras palabras aquella que genere mayor reacción sobre la viga. Se tomara un factor de seguridad igual a tres (3) por las razones antes mencionadas durante el diseño de la viga a flexión.

$$\sigma_{trabajo} = \frac{F}{A_{viga}}$$

Donde $\sigma_{trabajo}$ se obtendrá a partir del esfuerzo máximo admisible por la columna información proporcionada por la empresa productora de perfiles Properca, el mismo es igual a $4080 \frac{kg}{cm^2}$.

$$FS = \frac{\sigma_{ultimo}}{\sigma_{trabajo}} \rightarrow \sigma_{trabajo} = \frac{\sigma_{ultimo}}{FS}$$

$$\sigma_{trabajo} = \frac{4080}{3} \rightarrow \sigma_{trabajo} = 1360 \frac{kg}{cm^2}$$

El área mínima requerida de la sección transversal de la columna que se utilizara como soporte del sistema de estibas será

$$A_{viga} = \frac{F}{\sigma_{trabajo}} \rightarrow A_{viga} = \frac{5523,292}{1360}$$

$$A_{viga} = 4,061 \text{ cm}^2$$

Comparando este valor con aquellos que están descritos en el catálogo para perfiles de vigas serie estándar properca, se obtiene que el perfil que cumple con el criterio de diseño es el modelo Vp 120x 9,70 el mismo posee un área de 12,3 cm². Las características y dimensiones del elemento se presentan a continuación

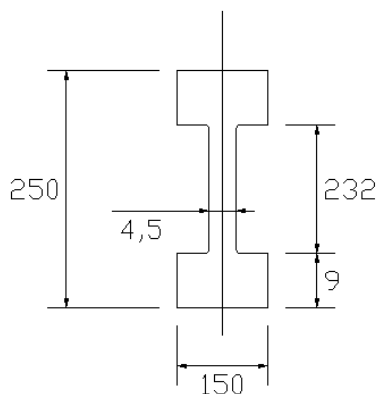


Figura AVIII.8.- Dimensiones del Perfil de las columnas

Calculo de falla por pandeo en viga seleccionada

Ante todo es necesario verificar si las dimensiones establecidas en las columnas del sistema de estibas hacen que las mismas sean consideradas como columnas cortas o largas. Para ello será empleada la relación de esbeltez (ecuación 42) la cual relaciona la longitud de la viga con la menor dimensión de la sección

$$k = \sqrt[2]{\frac{75}{12,3}} = 2,46$$

Criterio para clasificación de columnas

Relación de esbeltez para columna corta

$$Sr \leq 10$$

Relación de esbeltez para columna larga

$$Sr \geq 10$$

Sustituyendo tenemos

$$Sr = \frac{1,60E2}{\sqrt[2]{\frac{75}{12,3}}} \rightarrow Sr = 64,795$$

Dado el resultado la columna en la estiba es considerada como larga para efectos del cálculo por efecto del pandeo, el cual se determinara a través de la siguiente expresión.

$$\frac{P_{ctr}}{A} = \frac{S_y}{1 + \left(\frac{ec}{k^2}\right) \cdot \sec\left(\frac{L_{effec}}{k} \cdot \sqrt{\frac{P}{4 \cdot E \cdot A}}\right)}$$

En este caso, para la relación de esbeltez es necesario tomar en cuenta un factor de longitud efectiva según sea la terminación de la columna, siendo esta del tipo fija-libre,, se establece la longitud efectiva como

$$L_{effec} = 2.1 \cdot L$$

$$L_{effec} = 2.1 \cdot 1,6 \rightarrow L_{effec} = 3,36 \text{ m}; 336 \text{ cm}$$

Este valor es recomendado por la AISC en su manual of steel construction, por ende sustituyendo cada unos de los valores en la ecuación 44 se obtiene

$$\frac{P_{ctr}}{12,3} = \frac{2530}{1 + \left(\frac{1,25}{2,46^2}\right) \cdot sec\left(\frac{336}{2,46} \cdot \sqrt{\frac{P_{ctr}}{4 \cdot 2,1E6 \cdot 12,3}}\right)}$$

$$P_{ctr} = 20633,467 \text{ Kg}$$

Calculando el factor de seguridad existente en el sistema tenemos que

$$F_S = \frac{P_{ctr.adm}}{P_{actuante}} \rightarrow F_S = \frac{11606,163}{5523,292}$$

$$F_S = 2,101$$

Conocido el resultado el sistema deberá soportara la carga axial exigida, sin ningún inconveniente.

APENDICE VIII

CÁLCULO DE SOLDADURA

Para el diseño y cálculo de la soldadura que será requerida en la estructura metálica, se tomará en consideración aquella zona de la estiba que reciba el mayor esfuerzo por parte del conjunto de bobinas que se encuentran sobre la viga principal. Esta información se obtendrá a partir del diagrama de corte y momento de la viga publicado en la sección de diseño del sistema de estibas.

Diseño de la soldadura.

Los parámetros de diseño que en esta sección se presentan se tomaron a partir de criterios previamente establecidos, en el libro “Proyectos Estructurales de Aceros” presentado por Dra. Ing. Maria Graciela Fratelli.

Durante esta etapa se busca establecer las dimensiones mínimas que debe tener el cordón de soldadura para que sea capaz de soportar las cargas a las cuales estará sometido, para ello se debe calcular el esfuerzo de trabajo actuante para posteriormente calcular la longitud de la garganta.

La distribución de la carga quedara definida por el número cordones de soldadura que se coloquen, para este caso como se establecieron 4 cordones (separados en 2 pares) cada par recibirá la mitad de la carga total aplicada sobre la estiba, por lo tanto mostrando analíticamente la expresión tenemos

$$P_{sold} = \frac{P_{act}}{2}$$

$$P_{sold} = \frac{4015,244}{2} = 2007,622 \text{ Kg}$$

Analizando el esfuerzo resultante sobre el cordón de soldadura se obtiene que el mismo recibirá esfuerzos del tipo Corte directo y esfuerzos por Momento Flector. Por lo tanto el esfuerzo resultante será la combinación de ambos.

Donde para cada eje el esfuerzo total será

$$\bar{\sigma}_r = \bar{F}_v + \bar{F}_M$$

Siendo F_v el esfuerzo por corte directo, mientras que F_M será esfuerzo flector sobre la soldadura. Desarrollando cada uno de estos valores tenemos

Análisis de esfuerzos sobre la soldadura

El esfuerzo por corte directo quedará definido como

$$F_v = \frac{P_{act}}{A_w}$$

Siendo

$$A_w = 100 + 100 = 200 \text{ mm} \rightarrow 20 \text{ cm}$$

Sustituyendo tenemos que

$$F_v = \frac{2007,622}{20} \rightarrow F_v = 100,3811 \frac{Kg}{cm}$$

El esfuerzo flector sobre la soldadura será definido como

$$F_M = \frac{M \cdot c}{I}$$

Por lo tanto analizando el momento flector aplicado en el punto de mayor carga en la soldadura tendremos

$$M = 2111,8496 \text{ Kg} \cdot \text{m}$$

Los valores de (C) e (I) se obtendrán a partir de la geometría de la soldadura la figura a continuación muestra las dimensiones de la misma:

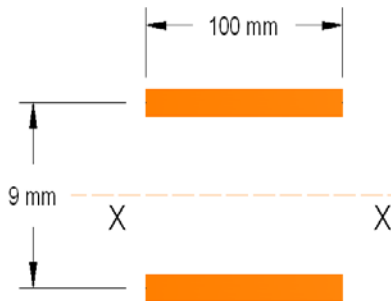


Figura AIX.9.- Geometría de la soldadura a realizar

En la figura anterior se presenta que (C) es la distancia existente entre los cordones de soldadura respecto al centro de gravedad de la misma. Mientras que (I) es el momento de inercia en relación al eje centroidal de la soldadura

Finalmente sustituyendo cada termino tenemos que

$$F_M = \frac{2111,8496 \text{ E}3 \cdot \left(\frac{9}{2}\right)}{\frac{(9)^2 \cdot 100}{2}} = 2346,5 \frac{\text{Kg}}{\text{m m}} = 234,65 \frac{\text{Kg}}{\text{c m}}$$

El esfuerzo combinado entre ambos ejes queda definido mediante la siguiente expresión como

$$\sigma_r = \sqrt{F_M^2 + F_v^2}$$

Reemplazando cada esfuerzo de la ecuación anterior tenemos

$$\sigma_r = \sqrt{(100,3811)^2 + (234,65)^2} = 255,22 \frac{Kg}{cm}$$

Calculando el espesor efectivo de la garganta será:

$$Ts = \frac{\sigma_r}{Sv}$$

Conocido el material base se establece al electrodo del tipo E7018 como material de aporte, el mismo presenta las siguientes especificaciones:

$$Su = 70 \text{ Ksi}; 4921.487 \frac{kg}{cm^2}$$

Para determinar el esfuerzo máximo por corte directo que es capaz de soportar el electrodo se utilizara la siguiente relación

$$Sv_{\text{máx sold}} = 0,3 \cdot Su$$

$$Sv_{\text{máx sold}} = 0,3 \cdot 4921.487 = 1476,4461 \frac{kg}{cm^2}$$

Asumiendo un factor de seguridad igual a tres (3), debido a los mismos motivos explicados durante la selección del factor de seguridad en la viga de soporte, se procederá al cálculo del esfuerzo admisible en la soldadura.

$$n = \frac{Sv_{\text{máx sold}}}{Sv_{\text{adm sold}}} \rightarrow Sv_{\text{adm sold}} = \frac{Sv_{\text{máx sold}}}{n}$$

$$Sv_{\text{adm sold}} = \frac{1476,4461}{3} = 492,1487 \frac{kg}{cm^2}$$

Por lo tanto el ancho de la garganta se determinara mediante la ecuación (21)

$$Ts = \frac{255,22}{492,1487} = 0,52 \text{ cm}$$

Conocido el ancho de la garganta, se obtiene el espesor nominal de la soldadura

$$D_e = \frac{2}{\sqrt{2}} \cdot T_s$$

$$D_e = \frac{2}{\sqrt{2}} \cdot 0,52 \rightarrow D = 0,733 \text{ cm} \approx 8 \text{ mm}$$

ANEXO N°1

Bobinas procesadas en los meses de Julio y Agosto de 2007

Mes de Julio 2007

Fecha	Turno	Numero bobinas	Peso total	Hora salida
03/07/2007	1	3	19786	13:15
03/07/2007	1	6	42101	19:30
03/07/2007	2	3	21014	01:15
03/07/2007	2	8	25360	17:30
03/07/2007	3	6	39307	09:40
04/07/2007	1	3	20511	10:45
04/07/2007	2	3	20267	21:15
04/07/2007	2	6	43481	03:30
04/07/2007	3	3	13883	06:45
04/07/2007	3	8	25875	00:30
05/07/2007	1	6	41063	16:30
05/07/2007	2	3	21030	16:15
05/07/2007	3	3	20357	07:15
05/07/2007	3	6	41888	07:30
06/07/2007	1	6	32665	16:30
06/07/2007	3	2	14040	04:15
07/07/2007	1	6	41527	12:30
07/07/2007	2	2	10724	23:15
07/07/2007	2	4	26918	04:30
07/07/2007	3	6	41477	03:30
08/07/2007	1	2	6988	10:40
08/07/2007	1	4	10335	12:50
08/07/2007	2	2	13778	23:15
08/07/2007	3	4	28122	12:20
09/07/2007	1	2	13851	10:40
09/07/2007	2	2	14558	22:45
09/07/2007	2	4	25684	05:30
09/07/2007	3	2	14031	12:10
09/07/2007	3	6	32978	08:30
10/07/2007	1	4	25799	21:30
10/07/2007	2	2	13936	23:15
10/07/2007	2	6	36204	22:00
10/07/2007	3	3	21067	11:00
11/07/2007	1	2	14561	10:45
11/07/2007	2	3	22043	03:15
11/07/2007	2	6	40432	03:30
12/07/2007	1	2	14628	16:10

Fecha	Turno	Numero bobinas	Peso total	Hora salida
12/07/2007	1	6	43256	16:30
13/07/2007	3	7	26995	04:00
15/07/2007	3	2	13754	09:15
15/07/2007	3	6	41485	14:00
16/07/2007	1	9	27700	10:30
16/07/2007	3	3	20613	07:45
16/07/2007	3	6	39676	11:30
17/07/2007	2	3	20915	22:15
17/07/2007	2	6	38996	05:40
17/07/2007	3	8	29430	01:30
19/07/2007	1	3	20281	18:45
19/07/2007	1	6	41464	22:00
19/07/2007	3	3	20624	11:15
19/07/2007	3	6	39519	20:30
20/07/2007	2	8	25320	05:30
20/07/2007	3	3	20748	07:45
20/07/2007	3	6	42105	12:00
22/07/2007	2	6	42037	23:00
22/07/2007	3	4	17838	05:45
23/07/2007	1	8	23660	11:30
23/07/2007	1	6	41070	18:00
23/07/2007	3	3	21150	04:15
23/07/2007	3	6	39446	14:00
24/07/2007	3	3	20741	03:45
24/07/2007	3	6	20125	05:30
24/07/2007	3	6	34782	17:00
25/07/2007	1	3	20924	17:45
25/07/2007	3	3	18058	05:15
25/07/2007	3	6	41775	09:00
26/07/2007	1	3	20700	16:45
26/07/2007	2	6	41967	04:30
26/07/2007	3	3	21176	04:15
26/07/2007	3	8	28150	04:40
27/07/2007	1	3	21141	15:45
27/07/2007	1	6	41477	20:30
27/07/2007	3	3	20971	04:45
27/07/2007	3	6	39233	09:15
28/07/2007	2	6	36621	15:30
28/07/2007	3	3	20541	06:15
29/07/2007	1	3	21070	17:45
29/07/2007	1	6	42037	15:40
29/07/2007	3	4	21785	01:00
29/07/2007	3	6	41635	10:30
30/07/2007	1	3	18230	17:45

Fecha	Turno	Numero bobinas	Peso total	Hora salida
30/07/2007	3	6	37208	10:30
31/07/2007	1	3	20410	19:15
31/07/2007	1	6	37366	22:30
31/07/2007	2	6	22578	02:30
31/07/2007	3	3	20789	07:45
31/07/2007	3	6	26690	23:30
31/07/2007	3	6	41359	03:30
TOTAL BOBINAS		405 BOBINAS		
PROMEDIO POR DIA		16 BOBINAS		

Fuente: Departamento de Procesos y Control de la producción CVG Alucasa

Mes de Agosto 2007

Fecha	Turno	Numero bobinas	Peso total	Hora de salida
02/08/2007	3	3	20939	08:15
03/08/2007	1	6	37542	21:30
03/08/2007	2	3	20718	02:15
04/08/2007	2	3	20892	21:15
05/08/2007	1	3	20494	13:45
05/08/2007	2	6	38070	23:40
06/08/2007	1	3	21069	20:00
06/08/2007	3	4	27611	13:00
07/08/2007	3	6	36814	09:00
08/08/2007	3	3	19575	07:15
08/08/2007	3	6	35267	07:00
09/08/2007	2	6	33899	04:30
10/08/2007	1	6	32810	21:00
10/08/2007	2	3	20971	18:45
10/08/2007	3	3	16273	07:45
11/08/2007	1	6	38716	20:00
11/08/2007	3	3	20159	03:45
11/08/2007	3	6	40020	00:30
12/08/2007	1	3	15283	19:15
12/08/2007	2	6	38433	05:30
12/08/2007	3	3	20979	06:45
13/08/2007	1	6	41594	21:30
13/08/2007	2	3	20807	23:15
14/08/2007	1	3	21038	14:15
14/08/2007	1	6	38197	17:30
14/08/2007	3	3	20850	02:45
14/08/2007	3	6	41815	13:30

Fecha	Turno	Numero bobinas	Peso total	Hora de salida
15/08/2007	1	2	13803	17:45
15/08/2007	1	4	27656	13:00
15/08/2007	2	5	34922	05:30
15/08/2007	3	3	20944	06:15
16/08/2007	1	3	20877	17:45
16/08/2007	1	6	42057	18:00
16/08/2007	3	6	37911	11:30
17/08/2007	2	3	15797	01:15
17/08/2007	3	6	36041	09:30
18/08/2007	2	3	16320	21:45
18/08/2007	2	6	30564	06:30
18/08/2007	3	3	20811	09:15
19/08/2007	1	6	38001	22:30
19/08/2007	2	3	16830	23:15
19/08/2007	3	6	38030	14:30
20/08/2007	1	2	13980	11:45
20/08/2007	2	3	19026	22:45
20/08/2007	3	6	32986	08:30
21/08/2007	1	3	16328	16:15
21/08/2007	2	6	37654	05:30
21/08/2007	3	3	18084	03:45
22/08/2007	1	3	20783	15:45
22/08/2007	1	6	42152	22:45
22/08/2007	3	5	16998	15:30
23/08/2007	1	2	12492	17:15
23/08/2007	1	6	42159	16:30
23/08/2007	3	2	15750	11:15
24/08/2007	1	6	41593	17:30
24/08/2007	2	3	15992	05:15
25/08/2007	1	2	16012	19:45
25/08/2007	3	3	20990	08:15
25/08/2007	3	6	41910	14:30
26/08/2007	3	3	20862	02:45
26/08/2007	3	6	41835	12:30
27/08/2007	3	3	12400	04:45
27/08/2007	3	6	40237	10:30
28/08/2007	2	6	41809	02:30
28/08/2007	3	3	20391	07:15
28/08/2007	3	7	33841	12:30
29/08/2007	1	6	42335	19:30
29/08/2007	2	3	20408	19:15
29/08/2007	2	4	27755	01:30
29/08/2007	3	4	20411	00:30

Fecha	Turno	Numero bobinas	Peso total	Hora de salida
30/08/2007	1	3	17031	16:15
30/08/2007	1	6	28931	22:30
31/08/2007	2	3	13620	19:15
31/08/2007	3	3	17280	03:45
31/08/2007	3	4	28148	13:20
01/09/2007	3	3	16680	03:45
TOTAL BOBINAS		323		
PROMEDIO POR DIA		12		

Fuente: Departamento de Procesos y Control de la producción CVG Alucasa

ANEXO N°2


Tiempos de enfriamiento registrados en el mes de Octubre de 2007 para bobinas que cumplen con las especificaciones del diseño.

Código de rollo	Hora de salida horno	Fecha de salida horno	Hora de entrada Lam Primario	Fecha de entrada Lam Primario	Peso	Diámetro	Ancho	Tiempo de enfriamiento
2432710071001	16:00	27/10/2007	18:25	28/10/2007	7200	1,682	1,32	26 h 25 m
2432610072001	20:30	26/10/2007	13:12	28/10/2007	6965	1,657	1,32	40 h 45 m
2432510073006	04:30	26/10/2007	08:30	27/10/2007	6998	1,661	1,32	28 h 0 m
2432310073003	09:30	23/10/2007	11:30	26/10/2007	6961	1,657	1,32	50 h 0 m
2432310071004	14:00	23/10/2007	01:56	25/10/2007	6949	1,655	1,32	36 h 0 m
2432210072005	21:30	22/10/2007	11:30	25/10/2007	7008	1,662	1,32	60 h 0 m
2432110072002	01:30	22/10/2007	10:50	23/10/2007	7028	1,664	1,32	33 h 20 m
2432010073004	07:30	21/10/2007	01:34	23/10/2007	7085	1,670	1,32	42 h 4 m
2432010071004	14:30	20/10/2007	11:10	22/10/2007	7059	1,667	1,32	43 h 40 m
2431910072006	22:00	19/10/2007	17:12	21/10/2007	6815	1,641	1,32	43 h 12 m
2431810072001	17:00	18/10/2007	04:30	20/10/2007	7220	1,684	1,32	35 h 30 m
2431710071002	17:30	17/10/2007	02:54	19/10/2007	6990	1,660	1,32	33 h 24 m
2431610071003	17:30	16/10/2007	05:32	18/10/2007	7099	1,671	1,32	36 h 2 m
2431510072005	01:30	16/10/2007	16:42	17/10/2007	7003	1,661	1,32	36 h 12 m
2431410073002	07:30	15/10/2007	21:22	16/10/2007	6900	1,650	1,32	37 h 8 m
2431410072001	14:30	14/10/2007	06:30	16/10/2007	6988	1,660	1,32	40 h 0 m
2431310072001	14:30	13/10/2007	08:28	15/10/2007	6261	1,580	1,32	42 h 58 m
2431210071001	18:00	12/10/2007	09:58	14/10/2007	6880	1,648	1,32	39 h 58 m
2431110072005	02:00	12/10/2007	19:30	13/10/2007	7040	1,665	1,32	41 h 30 m
2431010072006	07:00	10/10/2007	12:44	12/10/2007	6941	1,654	1,32	53 h 44m
2430910073003	10:00	10/10/2007	20:48	11/10/2007	6962	1,657	1,32	34 h 44 m
2430810072003	21:30	08/10/2007	20:18	10/10/2007	7066	1,668	1,32	47 h 48 m
2437110073006	05:30	08/10/2007	23:36	10/10/2007	7019	1,663	1,32	66 h 6 m
2430610071005	15:30	06/10/2007	17:30	07/10/2007	6736	1,632	1,32	26 h 0 m
2430110073003	09:30	02/10/2007	14:48	04/10/2007	6924	1,653	1,32	53 h 18 m

Código de rollo	Hora de salida horno	Fecha de salida horno	Hora de entrada Lam Primario	Fecha de entrada Lam Primario	Peso	Diámetro	Ancho	Tiempo de enfriamiento
2410210072002	03:30	03/10/2007	14:00	04/10/2007	6888	1,649	1,32	34h30m
2410310072001	02:00	04/10/2007	17:20	05/10/2007	6388	1,594	1,32	39h20m
2410410073001	05:00	05/10/2007	07:56	06/10/2007	6917	1,652	1,32	26h56m
2410510073001	15:30	06/10/2007	16:06	08/10/2007	7336	1,696	1,32	48h36m
2410710071003	16:00	07/10/2007	08:18	09/10/2007	6906	1,651	1,32	40h18m
2410810071003	06:00	09/10/2007	21:26	10/10/2007	7015	1,662	1,32	39h26m
2411110073002	03:00	12/10/2007	16:52	13/10/2007	7070	1,668	1,32	37h52m
2411310071001	12:00	13/10/2007	22:08	14/10/2007	6542	1,611	1,32	34h08m
2411410071002	12:00	14/10/2007	06:46	16/10/2007	7033	1,664	1,32	30h46m
2411510071001	06:30	16/10/2007	17:06	17/10/2007	7062	1,667	1,32	34h36m
2411710071002	10:30	17/10/2007	01:14	19/10/2007	7115	1,673	1,32	38h44m
2411810071002	12:30	18/10/2007	02:54	20/10/2007	6896	1,650	1,32	62h24m
2411910072003	17:00	19/10/2007	03:30	21/10/2007	7014	1,662	1,32	58h30m
2411910073003	04:30	20/10/2007	17:42	21/10/2007	6907	1,651	1,32	37h12m
2412010073003	02:30	21/10/2007	04:50	22/10/2007	7025	1,663	1,32	26h20m
2412110072002	17:00	21/10/2007	11:12	23/10/2007	6880	1,648	1,32	42h12m
2412110073001	06:30	22/10/2007	11:48	23/10/2007	7120	1,674	1,32	29h18m
2412210073003	01:30	23/10/2007	15:48	24/10/2007	7072	1,669	1,32	38h18m
2412310071003	13:00	23/10/2007	09:04	25/10/2007	6912	1,651	1,32	44h04m
2412310073001	02:00	24/10/2007	00:28	26/10/2007	7100	1,671	1,32	46h28m
2412510071003	17:00	25/10/2007	03:24	27/10/2007	7105	1,672	1,32	34h24m
2412510073003	10:00	26/10/2007	12:54	27/10/2007	6985	1,659	1,32	26h54m
2412610072001	23:30	26/10/2007	13:50	28/10/2007	7042	1,665	1,32	38h20m
2412810072002	22:00	28/10/2007	01:30	30/10/2007	7112	1,673	1,32	27h30m
2412910071001	09:30	29/10/2007	20:22	30/10/2007	6828	1,642	1,32	25h22m
2412910073003	04:00	30/10/2007	20:20	31/10/2007	6960	1,657	1,32	40h20m

Fuente: Departamento de Procesos y Control de la Producción CVG Alucasa

ANEXO N°3

	SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD		Copia:
	Tipo de Documento:	Especificaciones Técnicas de Producto	
	Título:	Especificaciones de Propiedades Mecánicas del Producto	
	Area:	Ingeniería de Procesos	
			Código: ET0002

Especificación Producto	Espesor (mm)		Temple	Esfuerzo (Kg./mm ²)		Fluencia	Elongación % mín.
	Min.	Máx.		Min.	Máx.		
Fin Stock	0,080	0,500	H-24	11,0	16,0	5,2 min	8
	0,030	0,250	H-18	17,0	N/A	N/A	1
	0,045	0,200	O	9,00	12,00	3,5 min	15
Re-Roll	6,0	6,30	O	7,0	10,70	3,0 min	3
			H-12	9,7	13,30	7,0 min	8
			F	10	14	7,0 min	12
Foil Stock	0,220	0,335	O	9,0	11,80	3,4	14
	0,336	1,00					22
	1,01	4,00					25
	0,220	0,335	H-14	12,00	15,50	10,3	1
	0,336	1,00					2
	1,01	4,00					5
	0,15	0,32	H-16	15,50	17,00	12,0	1
	0,33	0,63					2
	0,64	1,20					3
	1,21	4,00					4

Fecha de Emisión: Mayo 2003	N° Revisión 6	Fecha de Ult. Revisión: Octubre 2005	Página: 2/3	Elaborado por: Cesar Llanos Cargo y Firma Ing. Procesos	Aprobado por: Cesar Llanos Cargo y Firma Suptle Ing. De Procesos(E)
--------------------------------	------------------	---	----------------	--	---

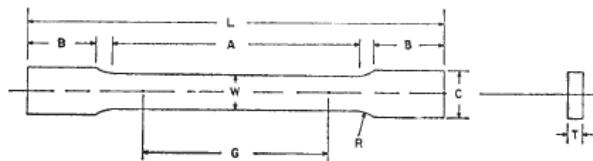
PR001

FC0001-00

02/2003

ANEXO N° 4

 E 8M - 04



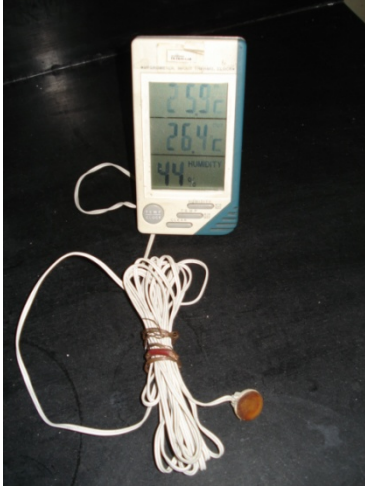
Dimensions, mm			
Nominal Width	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type 40 mm	Sheet-Type 12.5 mm	
G — Gage length (Note 1 and Note 2)	200.0 ± 0.2	50.0 ± 0.1	25.0 ± 0.1
W — Width (Note 3 and Note 4)	40.0 ± 2.0	12.5 ± 0.2	6.0 ± 0.1
T — Thickness (Note 5)		thickness of material	
R — Radius of fillet, min (Note 8)	25	12.5	6
L — Overall length, (Note 2, Note 7 and Note 8)	450	200	100
A — Length of reduced section, min	225	57	32
B — Length of grip section, (Note 8)	75	50	30
C — Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	50	20	10

Fuente: Norma ASTM E 8M – 04 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Metric]

ANEXO N°5
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN

ANEXO N°6

Higrómetro digital



Rango de temperatura: -50 °C a 80°C

Apreciación: 0.1

Fuente: Datos y foto tomados en el Laboratorio de metrología CVG Alucasa.

ANEXO N°7

Testo 825-T4 Contact thermometer

825-T4 Contact infrared thermometer. Laser sighting

You can measure the temperature on rotating, inaccessible or live objects conveniently and safely using the infrared side of this multi-function measuring instrument.

The contact side is equipped with the super-quick, Testo sprung thermocouple.

Reliable and accurate measurements are possible in uneven surfaces.

The supplied TopSafe case protects the instrument from dust, impact and water



Applications:

- Checks surface temperatures, e.g. on transformer windings.
- Checks heat sink temperatures.
- Measures temperatures of car radiators.
- Checks bearing temperatures of bearings and gears.
- Measurements on live electrical parts.

Technical Specifications

Measuring Range	-50 To +400°C
Resolution	0.5°C
Accuracy	±2°C or ±2% of measured value (the larger value applies).
Measuring Ratio	Distance: Diameter = 3:1
Emissivity Factor	0.20 to 1.00 (user programmable)
Response Time	<2s
Wavelength	8 to 14µm
Ambient Temp	0 To +50°C
Storage Temp	-40 To +70°C
Battery Type	Testo 825-T4 - 2 x AAA
Battery Lifetime	Testo 825-T4 - approx. 20h
Warranty	1 Year
Contact side with surface probe.	
Measuring Range	-50 to +250°C (short term measurements to +500°C)
Resolution	0.1°C
Accuracy	±1°C, ±1% of Measured Value
Response time	Approx 5 s

Fuente: <http://www.hotektech.com/Tes825t3t4.htm>

ANEXO N° 8

LED Vane Anemometer

■ Four switchable measuring scales

This compact anemometer reads air velocity in four measuring scales. Front-panel button lets you switch from feet/minute to meters/second, miles/hour, or knots.



This weather- and shock-resistant meter features sapphire-jewel turbine bearings and an infrared rotation sensor to reduce friction to a minimum. Includes wrist strap and protective case. Operates on three 1.5 V AAA batteries (not included; order separately below).

P-05951-75 LED anemometer.

Shpg wt 0.5 lb (0.3 kg)\$194.00

P-09376-00 Batteries, 1.5 V AAA.

Pack of 12\$14.75/pk

■ Specifications ■ ■ ■

Range	Resolution	Accuracy
90-8790 ft/min	10	±3% of rdg, or ±10 ft/min
0.5-44.8 m/s	0.1	±3% of rdg, or ±0.1 m/s
1-99.9 mph	0.1	±3% of rdg, or ±0.1 mph
0.9-87.9 knots	0.1	+4%, -2% of rdg, or ±0.1 knot

Display: 3-digit LED

Operating ambient: 32 to 122°F (0 to 50°C)

Power: three 1.5 V AAA batteries (sold separately)

Battery life: 7 hours intermittent use

Dimensions: 2⁵/₈"W x 4⁵/₈"H x 1³/₁₆"D

ANEXO N° 9

868 APÉNDICE A

Tabla A.7 Gases^a: propiedades térmicas

Gas	T K	k W/m K	ρ kg/m ³	c_p J/kg K	$\mu \times 10^6$ ^b kg/m s	$\nu \times 10^6$ ^b m ² /s	Pr
Aire (PE 82 K)	150	0.0158	2.355	1017	10.64	4.52	0.69
	200	0.0197	1.767	1009	13.59	7.69	0.69
	250	0.0235	1.413	1009	16.14	11.42	0.69
	260	0.0242	1.360	1009	16.63	12.23	0.69
	270	0.0249	1.311	1009	17.12	13.06	0.69
	280	0.0255	1.265	1008	17.60	13.91	0.69
	290	0.0261	1.220	1007	18.02	14.77	0.69
	300	0.0267	1.177	1005	18.43	15.66	0.69
	310	0.0274	1.141	1005	18.87	16.54	0.69
	320	0.0281	1.106	1006	19.29	17.44	0.69
	330	0.0287	1.073	1006	19.71	18.37	0.69
	340	0.0294	1.042	1007	20.13	19.32	0.69
	350	0.0300	1.012	1007	20.54	20.30	0.69
	360	0.0306	0.983	1007	20.94	21.30	0.69
	370	0.0313	0.956	1008	21.34	22.32	0.69
	380	0.0319	0.931	1008	21.75	23.36	0.69
390	0.0325	0.906	1009	22.12	24.42	0.69	
400	0.0331	0.883	1009	22.52	25.50	0.69	
500	0.0389	0.706	1017	26.33	37.30	0.69	
600	0.0447	0.589	1038	29.74	50.50	0.69	
700	0.0503	0.507	1065	33.03	65.15	0.70	
800	0.0559	0.442	1089	35.89	81.20	0.70	
900	0.0616	0.392	1111	38.65	98.60	0.70	
1000	0.0672	0.354	1130	41.52	117.3	0.70	
1500	0.0926	0.235	1202	53.82	229.0	0.70	
2000	0.1149	0.176	1244	64.77	368.0	0.70	
Amoníaco (PE 239.7 K)	250	0.0198	0.842	2200	8.20	9.70	0.91
	300	0.0246	0.703	2200	10.1	14.30	0.90
	400	0.0364	0.520	2270	13.8	26.60	0.86
	500	0.0511	0.413	2420	17.6	42.50	0.83
Argón (PE 77.4 K)	150	0.0096	3.28	527	12.5	3.80	0.68
	200	0.0125	2.45	525	16.3	6.65	0.68
	250	0.0151	1.95	523	19.7	10.11	0.68
	300	0.0176	1.622	521	22.9	14.1	0.68
	400	0.0223	1.217	520	28.6	23.5	0.67
	500	0.0265	0.973	520	33.7	34.6	0.66
	600	0.0302	0.811	520	38.4	47.3	0.66
	800	0.0369	0.608	520	46.6	76.6	0.66
	1000	0.0427	0.487	520	54.2	111.2	0.66
1500	0.0551	0.324	520	70.6	218.0	0.67	

(Continúa)

Fuente: Transferencia de Calor. A.F. Mills (1994)

ANEXO N° 10

TABLA 7. VELOCIDADES MÁXIMAS RECOMENDADAS PARA SISTEMAS DE BAJA VELOCIDAD (m/s)

APLICACIÓN	FACTOR DE CONTROL DEL NIVEL DE RUIDO (conductos principales)	FACTOR DE CONTROL - ROZAMIENTO EN CONDUCTO			
		Conductos principales		Conductos derivados	
		Suministro	Retorno	Suministro	Retorno
Residencias	3	5	4	3	3
Apartamentos Dormitorios de hotel Dormitorios de hospital	5	7,5	6,5	6	5
Oficinas particulares Despachos de directores Bibliotecas	6	10	7,5	8	6
Salas de cine y teatro Auditorios	4	6,5	5,5	5	4
Oficinas públicas Restaurantes de primera categoría Comercios de primera categoría -- Bancos	7,5	10	7,5	8	6
Comercios de categoría media Cafeterías	9	10	7,5	8	6
Locales industriales	12,5	15	9	11	7,5

Fuente: Manual de Aire Acondicionado Carrier

ANEXO N° 11

Dimensiones de conductos rectangulares

CAPÍTULO 2. PROYECTO DE CONDUCTOS DE AIRE

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

MEDIDAS DEL CONDUCTO (mm)	150		200		250		300		350		400		450		500		550	
	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)
250	0,036	213	0,048	249	0,06	287												
300	0,042	231	0,057	272	0,071	302	0,087	333										
350	0,048	249	0,067	292	0,084	328	0,103	361	0,119	389								
400	0,055	264	0,075	308	0,094	348	0,118	384	0,134	414	0,154	445						
450	0,061	280	0,084	328	0,106	368	0,129	407	0,151	439	0,173	470	0,196	501				
500	0,067	292	0,092	343	0,117	384	0,142	427	0,168	460	0,192	496	0,216	526	0,242	556		
550	0,072	305	0,10	358	0,128	404	0,156	447	0,184	485	0,21	518	0,238	551	0,264	582	0,292	612
600	0,078	315	0,107	371	0,139	422	0,169	465	0,198	503	0,229	541	0,257	574	0,288	607	0,318	638
650	0,082	326	0,116	384	0,149	435	0,182	483	0,214	524	0,246	561	0,278	597	0,31	630	0,341	664
700	0,088	335	0,123	396	0,158	450	0,193	498	0,228	541	0,265	582	0,301	620	0,333	655	0,366	689
750	0,093	346	0,13	409	0,168	465	0,205	514	0,244	559	0,283	602	0,32	640	0,36	677	0,392	711
800	0,099	356	0,137	419	0,175	478	0,218	529	0,26	576	0,301	620	0,341	661	0,381	698	0,418	734
850	0,105	366	0,146	432	0,188	490	0,23	544	0,274	592	0,318	637	0,36	678	0,404	719	0,443	756
900	0,109	374	0,153	442	0,198	504	0,242	556	0,288	607	0,336	656	0,378	696	0,424	736	0,467	775
950	0,113	381	0,16	452	0,208	516	0,255	572	0,303	622	0,352	671	0,398	714	0,448	757	0,494	798
1.000	0,118	389	0,167	463	0,218	526	0,267	585	0,318	637	0,368	686	0,418	732	0,469	775	0,517	816
1.050	0,123	396	0,172	470	0,225	536	0,276	595	0,33	650	0,384	701	0,436	747	0,492	793	0,54	834
1.100	0,128	404	0,18	480	0,233	546	0,288	607	0,343	662	0,401	716	0,453	762	0,513	810	0,563	852
1.150	0,132	412	0,186	488	0,242	556	0,296	618	0,359	678	0,416	729	0,472	777	0,534	825	0,586	869
1.200	0,137	419	0,193	498	0,25	567	0,31	630	0,373	691	0,43	742	0,491	793	0,553	841	0,611	887
1.250			0,196	506	0,26	577	0,32	641	0,384	701	0,448	757	0,51	808	0,573	856	0,633	903
1.300			0,205	514	0,27	587	0,33	651	0,398	714	0,463	770	0,53	824	0,594	871	0,656	915
1.350			0,212	521	0,276	595	0,343	664	0,41	724	0,478	782	0,546	836	0,614	896	0,679	935
1.400			0,218	531	0,286	605	0,354	674	0,422	734	0,492	793	0,563	849	0,636	902	0,702	951
1.450			0,225	536	0,296	615	0,365	684	0,434	744	0,507	806	0,58	862	0,654	915	0,724	965
1.500			0,237	544	0,303	622	0,376	694	0,448	756	0,523	819	0,602	876	0,673	927	0,747	983
1.600			0,244	559	0,32	640	0,392	709	0,472	778	0,548	841	0,636	902	0,714	956	0,79	1.008
1.700					0,336	656	0,415	729	0,497	798	0,58	862	0,665	923	0,752	981	0,831	1.034
1.800					0,355	674	0,436	746	0,527	820	0,61	885	0,697	946	0,786	1.004	0,876	1.063
1.900					0,38	695	0,464	762	0,543	834	0,632	900	0,735	971	0,824	1.029	0,923	1.088
2.000					0,384	701	0,478	782	0,57	854	0,67	925	0,786	991	0,853	1.052	0,961	1.113
2.100							0,502	800	0,594	876	0,698	946	0,792	1.008	0,9	1.075	0,998	1.133
2.200							0,517	813	0,615	887	0,73	966	0,827	1.030	0,934	1.095	1,036	1.162
2.300							0,535	828	0,64	905	0,753	982	0,868	1.055	0,962	1.113	1,081	1.177
2.400							0,546	839	0,65	920	0,778	996	0,898	1.070	0,999	1.130	1,118	1.200
2.500									0,685	937	0,787	1.020	0,907	1.080	1,045	1.155	1,138	1.210
2.600									0,704	951	0,824	1.030	0,94	1.105	1,072	1.172	1,202	1.240
2.700									0,731	966	0,852	1.045	0,952	1.119	1,11	1.194	1,238	1.261
2.800									0,75	981	0,88	1.063	1,005	1.135	1,138	1.205	1,275	1.278
2.900											0,908	1.078	1,040	1.158	1,165	1.222	1,32	1.303
3.000											0,925	1.090	1,065	1.168	1,21	1.248	1,33	1.308
3.100											0,94	1.105	1,1	1.185	1,238	1.260	1,387	1.331
3.200											0,953	1.120	1,12	1.197	1,277	1.279	1,432	1.353
3.300													1,166	1.216	1,302	1.292	1,46	1.368
3.400													1,185	1.231	1,334	1.310	1,498	1.380
3.500													1,22	1.241	1,352	1.321	1,526	1.397
3.600													1,23	1.252	1,387	1.344	1,551	1.414

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

Fuente: Manual de aire acondicionado Carrier

SEGUNDA PARTE. DISTRIBUCIÓN DE AIRE

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

MEDIDAS DEL CONDUCTO (mm)	800		850		700		750		800		850		900		950		1.000	
	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)
250																		
300																		
350																		
400																		
450																		
500																		
550																		
600	0,346	666																
650	0,373	692	0,407	722														
700	0,401	716	0,437	749	0,472	777												
750	0,433	745	0,468	775	0,502	803	0,543	834										
800	0,457	765	0,497	798	0,536	829	0,576	859	0,618	889								
850	0,485	798	0,527	823	0,568	854	0,61	884	0,654	914	0,697	944						
900	0,517	813	0,549	838	0,603	875	0,646	909	0,692	940	0,738	971	0,783	1.002				
950	0,542	834	0,591	869	0,636	903	0,679	934	0,728	966	0,775	996	0,822	1.028	0,873	1.057		
1.000	0,569	853	0,622	893	0,668	925	0,714	955	0,767	992	0,816	1.020	0,864	1.052	0,914	1.083	0,972	1.114
1.050	0,597	874	0,65	914	0,702	948	0,752	981	0,803	1.015	0,853	1.044	0,907	1.078	0,963	1.108	1,018	1.139
1.100	0,624	894	0,579	934	0,733	969	0,786	1.004	0,840	1.038	0,89	1.068	0,952	1.103	1,0	1.133	1,054	1.165
1.150	0,652	914	0,706	951	0,764	990	0,818	1.025	0,877	1.057	0,934	1.093	0,99	1.127	1,045	1.159	1,1	1.190
1.200	0,675	930	0,736	971	0,794	1.009	0,856	1.046	0,915	1.082	0,972	1.116	1,027	1.148	1,092	1.180	1,148	1.215
1.250	0,702	949	0,764	990	0,823	1.028	0,89	1.068	0,953	1.105	1,008	1.139	1,072	1.171	1,128	1.204	1,2	1.240
1.300	0,728	966	0,792	1.006	0,856	1.046	0,924	1.089	0,99	1.126	1,054	1.161	1,118	1.198	1,175	1.226	1,248	1.263
1.350	0,755	984	0,818	1.025	0,89	1.066	0,963	1.108	1,018	1.143	1,092	1.181	1,165	1.219	1,22	1.248	1,295	1.286
1.400	0,779	999	0,848	1.042	0,92	1.084	0,99	1.126	1,055	1.163	1,128	1.201	1,2	1.241	1,268	1.272	1,34	1.308
1.450	0,798	1.011	0,877	1.059	0,952	1.102	1,018	1.143	1,082	1.184	1,165	1.223	1,238	1.260	1,312	1.296	1,388	1.331
1.500	0,822	1.027	0,902	1.074	0,97	1.118	1,056	1.165	1,128	1.202	1,2	1.242	1,276	1.280	1,35	1.318	1,435	1.355
1.600	0,872	1.057	0,952	1.105	1,035	1.154	1,118	1.199	1,192	1.238	1,275	1.280	1,358	1.321	1,432	1.356	1,525	1.398
1.700	0,923	1.088	1,008	1.135	1,091	1.185	1,183	1.229	1,267	1.275	1,35	1.316	1,441	1.359	1,525	1.396	1,616	1.438
1.800	0,961	1.115	1,063	1.165	1,147	1.215	1,248	1.262	1,331	1.308	1,423	1.351	1,515	1.395	1,608	1.435	1,692	1.475
1.900	0,998	1.141	1,108	1.194	1,21	1.245	1,302	1.292	1,396	1.340	1,498	1.388	1,599	1.430	1,692	1.470	1,785	1.511
2.000	1,063	1.168	1,165	1.219	1,267	1.272	1,359	1.321	1,46	1.369	1,572	1.418	1,673	1.462	1,775	1.505	1,875	1.599
2.100	1,108	1.192	1,22	1.248	1,312	1.299	1,423	1.350	1,525	1.397	1,636	1.448	1,748	1.496	1,858	1.542	1,96	1.584
2.200	1,155	1.217	1,266	1.272	1,368	1.325	1,488	1.380	1,598	1.429	1,71	1.478	1,821	1.528	1,932	1.575	2,042	1.618
2.300	1,192	1.237	1,312	1.299	1,433	1.355	1,543	1.405	1,665	1.457	1,775	1.507	1,895	1.557	2,015	1.604	2,128	1.650
2.400	1,228	1.258	1,368	1.325	1,469	1.371	1,59	1.426	1,72	1.486	1,821	1.530	1,95	1.580	2,095	1.639	2,22	1.682
2.500	1,285	1.285	1,386	1.344	1,545	1.402	1,655	1.455	1,775	1.508	1,905	1.562	1,990	1.600	2,165	1.664	2,293	1.715
2.600	1,35	1.315	1,46	1.368	1,58	1.422	1,72	1.485	1,84	1.538	1,98	1.592	2,095	1.639	2,228	1.690	2,365	1.740
2.700	1,368	1.325	1,498	1.388	1,627	1.443	1,775	1.508	1,895	1.559	2,035	1.612	2,17	1.669	2,293	1.715	2,45	1.770
2.800	1,396	1.348	1,552	1.410	1,892	1.473	1,82	1.528	1,95	1.582	2,08	1.632	2,265	1.702	2,375	1.745	2,505	1.790
2.900	1,46	1.370	1,6	1.432	1,747	1.496	1,878	1.552	2,035	1.615	2,17	1.670	2,295	1.715	2,425	1.762	2,605	1.825
3.000	1,497	1.387	1,645	1.451	1,793	1.515	1,932	1.575	2,095	1.639	2,235	1.695	2,41	1.768	2,515	1.794	2,683	1.855
3.100	1,535	1.402	1,7	1.475	1,83	1.532	1,985	1.600	2,145	1.660	2,33	1.728	2,45	1.775	2,605	1.825	2,735	1.881
3.200	1,58	1.425	1,738	1.492	1,878	1.552	2,06	1.628	2,19	1.678	2,37	1.744	2,525	1.800	2,655	1.848	2,79	1.894
3.300	1,608	1.436	1,785	1.512	1,922	1.570	2,09	1.635	2,265	1.703	2,43	1.765	2,61	1.830	2,765	1.880	2,855	1.948
3.400	1,655	1.456	1,822	1.528	1,978	1.593	2,125	1.650	2,32	1.723	2,485	1.785	2,65	1.845	2,82	1.900	3,015	1.964
3.500	1,71	1.478	1,877	1.550	2,06	1.627	2,23	1.689	2,395	1.752	2,545	1.805	2,715	1.868	2,915	1.932	3,095	1.988
3.600	1,738	1.490	1,905	1.562	2,095	1.638	2,29	1.715	2,43	1.765	2,61	1.829	2,765	1.885	2,955	1.948	3,14	2.010

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

Fuente: Manual de aire acondicionado Carrier

CAPÍTULO 2. PROYECTO DE CONDUCTOS DE AIRE

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

MEDIDAS DEL CONDUCTO (mm)	1.050		1.100		1.150		1.200		1.250		1.300		1.350		1.400		1.450	
	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m²)	Diám. equiv. (mm)
1.050	1,065	1.165																
1.100	1,109	1.190	1,165	1.222														
1.150	1,155	1.215	1,21	1.248	1,276	1.278												
1.200	1,2	1.240	1,265	1.275	1,32	1.302	1,395	1.336										
1.250	1,248	1.265	1,322	1.300	1,378	1.327	1,452	1.361	1,505	1.389								
1.300	1,302	1.290	1,368	1.325	1,432	1.352	1,497	1.308	1,57	1.418	1,598	1.444						
1.350	1,349	1.316	1,42	1.350	1,488	1.378	1,55	1.413	1,625	1.443	1,68	1.469	1,773	1.508				
1.400	1,395	1.339	1,468	1.375	1,542	1.403	1,605	1.435	1,68	1.468	1,745	1.495	1,81	1.523	1,894	1.555		
1.450	1,45	1.363	1,525	1.398	1,588	1.426	1,66	1.460	1,735	1.495	1,81	1.523	1,886	1.555	1,948	1.582	2,03	1.612
1.500	1,495	1.388	1,57	1.419	1,645	1.451	1,718	1.495	1,8	1.519	1,875	1.550	1,948	1.579	2,014	1.608	2,075	1.634
1.600	1,597	1.432	1,67	1.467	1,755	1.489	1,828	1.531	1,912	1.565	1,995	1.595	2,07	1.630	2,145	1.658	2,028	1.698
1.700	1,69	1.473	1,782	1.511	1,855	1.545	1,95	1.578	2,025	1.609	2,115	1.646	2,195	1.679	2,28	1.709	2,355	1.735
1.800	1,792	1.515	1,875	1.552	1,975	1.591	2,05	1.621	2,135	1.655	2,235	1.692	2,315	1.723	2,41	1.756	2,505	1.790
1.900	1,885	1.555	1,975	1.592	2,07	1.629	2,16	1.668	2,265	1.702	2,355	1.738	2,44	1.769	2,54	1.802	2,67	1.850
2.000	1,975	1.592	2,07	1.630	2,17	1.668	2,27	1.708	2,374	1.745	2,475	1.782	2,595	1.825	2,66	1.848	2,78	1.885
2.100	2,07	1.629	2,17	1.670	2,28	1.708	2,385	1.748	2,485	1.785	2,595	1.825	2,69	1.858	2,79	1.892	2,91	1.932
2.200	2,15	1.660	2,26	1.702	2,375	1.745	2,485	1.785	2,595	1.825	2,715	1.863	2,825	1.900	2,93	1.938	3,02	1.970
2.300	2,245	1.698	2,365	1.740	2,475	1.702	2,595	1.825	2,705	1.862	2,815	1.900	2,95	1.944	3,055	1.978	3,155	2.010
2.400	2,33	1.727	2,47	1.778	2,55	1.805	2,715	1.865	2,79	1.892	2,935	1.940	3,065	1.980	3,13	2.002	3,295	2.050
2.500	2,405	1.755	2,505	1.790	2,675	1.850	2,79	1.891	2,915	1.935	3,02	1.968	3,12	1.998	3,28	2.050	3,38	2.085
2.600	2,505	1.790	2,625	1.832	2,715	1.878	2,873	1.916	3,02	1.968	3,145	2.008	3,305	2.055	3,425	2.095	3,555	2.135
2.700	2,59	1.821	2,725	1.870	2,83	1.900	2,985	1.955	3,075	1.982	3,26	2.045	3,38	2.085	3,555	2.132	3,675	2.172
2.800	2,695	1.859	2,79	1.892	2,95	1.942	3,06	1.982	3,225	2.030	3,48	2.085	3,51	2.120	3,675	2.170	3,775	2.195
2.900	2,775	1.885	2,955	1.945	3,02	1.968	3,145	2.008	3,315	2.060	3,505	2.120	3,68	2.170	3,79	2.200	3,92	2.240
3.000	2,835	1.905	3,02	1.968	3,105	1.992	3,31	2.055	3,455	2.105	3,635	2.155	3,775	2.200	3,87	2.225	4,025	2.270
3.100	2,91	1.930	3,105	1.993	3,175	2.027	3,37	2.075	3,555	2.135	3,755	2.188	3,835	2.215	4,0	2.265	4,12	2.295
3.200	2,97	1.952	3,14	2.005	3,345	2.070	3,465	2.110	3,62	2.144	3,825	2.210	3,965	2.250	4,12	2.295	4,33	2.350
3.300	3,065	1.980	3,22	2.030	3,405	2.090	3,58	2.140	3,755	2.190	3,935	2.248	4,075	2.285	4,24	2.332	4,43	2.385
3.400	3,14	2.008	3,285	2.050	3,51	2.120	3,665	2.165	3,85	2.220	4,05	2.275	4,14	2.305	4,375	2.370	4,58	2.425
3.500	3,26	2.045	3,415	2.090	3,58	2.145	3,74	2.190	3,915	2.235	4,14	2.305	4,29	2.345	4,49	2.395	4,64	2.443
3.600	3,305	2.060	3,49	2.115	3,695	2.175	3,82	2.210	4,07	2.285	4,22	2.325	4,42	2.375	4,58	2.425	4,76	2.470

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

Fuente: Manual de aire acondicionado Carrier

ANEXO N° 12

Gráfica de pérdidas en conductos

12-32 Industrial Ventilation

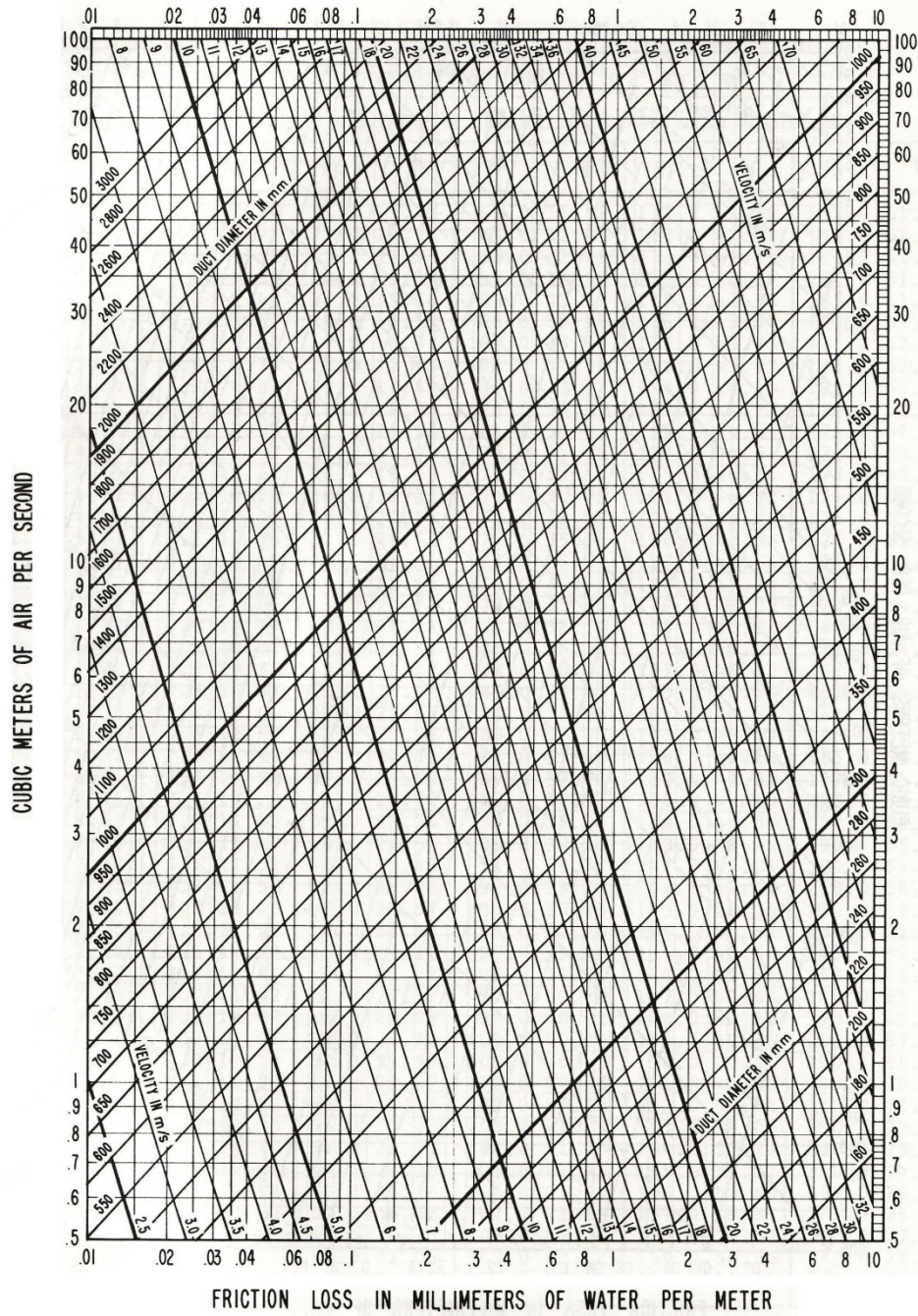


FIGURE MS-2

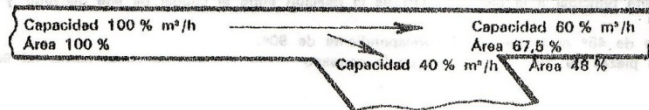
Fuente: Industrial Ventilation 21st. Edition

ANEXO N° 13

**PORCENTAJE DE ÁREA DE SECCIÓN RECTA PARA CONSERVAR
CONSTANTE EL ROZAMIENTO**

TABLA 13. PORCENTAJE DE ÁREA DE SECCIÓN RECTA EN RAMAS PARA CONSERVAR CONSTANTE
EL ROZAMIENTO

% CAUDAL m³/h	% ÁREA CONDUCTO	% CAUDAL m³/h	% ÁREA CONDUCTO	% CAUDAL m³/h	% ÁREA CONDUCTO	% CAUDAL m³/h	% ÁREA CONDUCTO
1	2,0	26	33,5	61	69,0	76	81,0
2	3,5	27	34,5	62	69,0	77	82,0
3	5,5	28	35,5	63	69,0	78	83,0
4	7,0	29	36,5	64	69,0	79	84,0
5	9,0	30	37,5	65	69,0	80	84,5
6	10,5	31	39,0	66	69,0	81	85,5
7	11,5	32	40,0	67	69,0	82	86,0
8	13,0	33	41,0	68	69,0	83	87,0
9	14,5	34	42,0	69	69,0	84	87,5
10	16,5	35	43,0	70	69,0	85	88,5
11	17,5	36	44,0	71	69,0	86	89,5
12	18,5	37	45,0	72	69,0	87	90,0
13	19,5	38	46,0	73	69,0	88	90,5
14	20,5	39	47,0	74	69,0	89	91,5
15	21,5	40	48,0	75	69,0	90	92,0
16	23,0	41	49,0	76	69,0	91	93,0
17	24,0	42	50,0	77	69,0	92	94,0
18	25,0	43	51,0	78	69,0	93	94,5
19	26,0	44	52,0	79	69,0	94	95,0
20	27,0	45	53,0	80	69,0	95	96,0
21	28,0	46	54,0	81	69,0	96	96,5
22	29,5	47	55,0	82	69,0	97	97,5
23	30,5	48	56,0	83	69,0	98	98,0
24	31,5	49	57,0	84	69,0	99	99,0
25	32,5	50	58,0	85	69,0	100	100,0



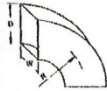
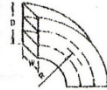
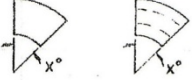

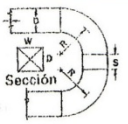
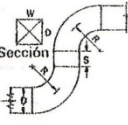
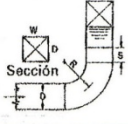
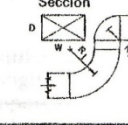
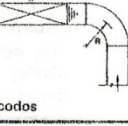
Fuente: Manual de aire acondicionado Carrier

ANEXO N° 14

Rozamiento en los elementos de un sistema de conductos rectangulares

SEGUNDA PARTE. DISTRIBUCIÓN DE AIRE

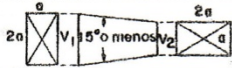
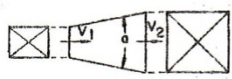

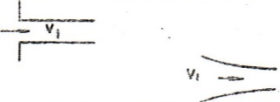



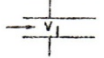
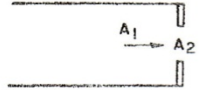
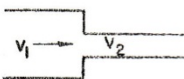


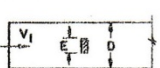
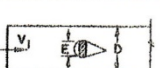
TABLA 10. ROZAMIENTO EN LOS ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE CONDUCTOS RECTANGULARES

ELEMENTO	CONDICIONES	RELACIÓN L/D **																																			
<p>Codo de radio de sección rectangular</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">W/D</th> <th colspan="5">R/D</th> </tr> <tr> <th>0,5</th> <th>0,75</th> <th>1,00</th> <th>1,25 *</th> <th>1,50</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,5</td> <td>33</td> <td>14</td> <td>9</td> <td>5</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>45</td> <td>18</td> <td>11</td> <td>7</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>80</td> <td>30</td> <td>14</td> <td>8</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>125</td> <td>40</td> <td>18</td> <td>12</td> <td>7</td> </tr> </tbody> </table>	W/D	R/D					0,5	0,75	1,00	1,25 *	1,50	0,5	33	14	9	5	4	1	45	18	11	7	4	3	80	30	14	8	5	6	125	40	18	12	7	
W/D	R/D																																				
	0,5	0,75	1,00	1,25 *	1,50																																
0,5	33	14	9	5	4																																
1	45	18	11	7	4																																
3	80	30	14	8	5																																
6	125	40	18	12	7																																
<p>Codo de radio de sección rectangular con guías</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Número de guías</th> <th colspan="4">R/D</th> </tr> <tr> <th>0,50</th> <th>0,75</th> <th>1,00</th> <th>1,50</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>18</td> <td>10</td> <td>8</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>12</td> <td>8</td> <td>7</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>10</td> <td>7</td> <td>7</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table>	Número de guías	R/D				0,50	0,75	1,00	1,50	1	18	10	8	7	2	12	8	7	7	3	10	7	7	6												
Número de guías	R/D																																				
	0,50	0,75	1,00	1,50																																	
1	18	10	8	7																																	
2	12	8	7	7																																	
3	10	7	7	6																																	
<p>Codo de X°</p> 	<p>Codo de radio con o sin guías</p>	<p>X/90 multiplicado por el valor correspondiente a codo análogo de 90°</p>																																			
<p>Codo recto rectangular</p> 	<p>Sin guías</p> <p>Guías de cambio de dirección de simple espesor</p> <p>Guías de cambio de dirección de doble espesor</p>	<p>60</p> <p>15</p> <p>10</p>																																			
<p>Doble codo</p>  <p>W/D = 1, R/D = 1,25 *</p>	<p>S = O</p>	<p>15</p>																																			
<p>Doble codo</p>  <p>W/D = 1, R/D = 1,25 *</p>	<p>S = b</p>	<p>10</p>																																			
<p>Doble codo</p>  <p>W/D = 1, R/D = 1,25 * para ambos</p>	<p>S = O</p>	<p>20</p>																																			
<p>Doble codo</p>  <p>W/D = 2, R₁/D = 1,25 *, R₂/D = 0,5</p>	<p>S = D</p>	<p>15</p>																																			
<p>Doble codo</p>  <p>W/D = 4, R/D = 1,25 * para ambos codos</p>	<p>Dirección de la flecha</p> <p>Dirección inversa</p> <p>Dirección de la flecha</p> <p>Dirección inversa</p>	<p>45</p> <p>40</p> <p>17</p> <p>18</p>																																			

Fuente: Manual de Aire Acondicionado Carrier

CAPÍTULO 2. PROYECTO DE CONDUCTOS DE AIRE

TABLA 10. ROZAMIENTO EN LOS ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE CONDUCTOS RECTANGULARES (Cont)

ELEMENTO	CONDICIONES	VALOR DE n ***																												
Transformación 	$V_2 = V_1$ Pérdida p. e. = nhv_1	0,04																												
Expansión 	V_2/V_1	« n » Ángulo « a » <table border="1"> <tr> <td></td> <td>5°</td> <td>10°</td> <td>15°</td> <td>20°</td> <td>30°</td> <td>40°</td> </tr> <tr> <td>0,20</td> <td>0,25</td> <td>0,22</td> <td>0,20</td> <td>0,18</td> <td>0,15</td> <td>0,13</td> </tr> <tr> <td>0,40</td> <td>0,27</td> <td>0,25</td> <td>0,23</td> <td>0,22</td> <td>0,20</td> <td>0,19</td> </tr> <tr> <td>0,60</td> <td>0,28</td> <td>0,26</td> <td>0,25</td> <td>0,24</td> <td>0,24</td> <td>0,23</td> </tr> </table>		5°	10°	15°	20°	30°	40°	0,20	0,25	0,22	0,20	0,18	0,15	0,13	0,40	0,27	0,25	0,23	0,22	0,20	0,19	0,60	0,28	0,26	0,25	0,24	0,24	0,23
	5°	10°	15°	20°	30°	40°																								
0,20	0,25	0,22	0,20	0,18	0,15	0,13																								
0,40	0,27	0,25	0,23	0,22	0,20	0,19																								
0,60	0,28	0,26	0,25	0,24	0,24	0,23																								
Contracción 	a 30° 45° 60° n 0,311 **** Pérdida p. e. = $n(hv_1 - hv_2)$ **** Pendiente 25 %	0,317 0,326																												
Entrada abrupta 	Pérdida p. e. = nhv_1	0,10																												
Entrada suave 		0,009																												
Salida abrupta 																														
Salida suave 	Pérdida p. e. o ganancia consideradas nulas																													
Entrada reentrante 	Pérdida p. e. = nhv_1	0,25																												
Orificio redondo de borde agudo 	A_2/A_1 0 0,25 0,50 0,75 1,00 n 0,76 0,70 0,57 0,33 0 Pérdida p. e. = nhv_2																													
Contracción abrupta 	V_1/V_2 0 0,25 0,50 0,75 n 0,40 0,37 0,29 0,15 Pérdida p. e. = nhv_2																													
Expansión abrupta 	V_2/V_1 0,20 0,40 0,60 0,80 n 0,09 0,14 0,14 0,09 Ganancia p. e. = nhv_1																													
Tubería que atraviesa el conducto 	E/D 0,10 0,25 0,50 n 0,06 0,16 0,60 Pérdida p. e. = nhv_1																													
Barra que atraviesa el conducto 	E/D 0,10 0,25 0,50 n 0,21 0,42 1,21 Pérdida p. e. = nhv_1																													
Alivio sobre la obstrucción 	E/D 0,10 0,25 0,50 n 0,02 0,07 0,27 Pérdida p. e. = nhv_1																													

Véanse las notas en la página siguiente.

Fuente: Manual de Aire Acondicionado Carrier

ANEXO N° 15

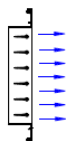
SELECCIÓN DE LAS REJILLAS



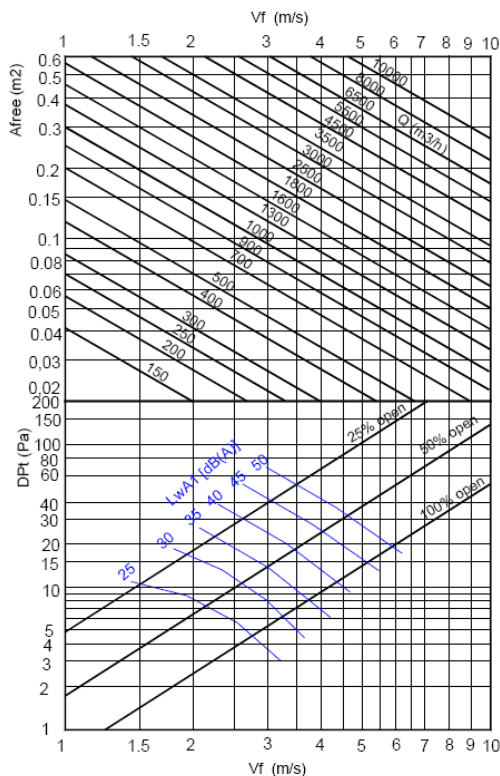
AMT SERIES

SECCIÓN LIBRE DE SALIDA DEL AIRE m².

H \ L	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	700	800	900	1000
100	0,006	0,009	0,013	0,017	0,020	0,024	0,027	0,031	0,034	0,038	0,041	0,049	0,056	0,063	0,070
150	0,009	0,015	0,021	0,026	0,032	0,037	0,043	0,049	0,054	0,060	0,066	0,077	0,088	0,099	0,110
200	0,012	0,020	0,027	0,035	0,042	0,050	0,057	0,064	0,072	0,079	0,087	0,102	0,116	0,131	0,146
250	0,016	0,025	0,035	0,044	0,054	0,063	0,073	0,082	0,092	0,101	0,111	0,130	0,149	0,168	0,187
300	0,019	0,030	0,042	0,053	0,064	0,076	0,087	0,098	0,109	0,121	0,132	0,155	0,178	0,200	0,223
350	0,023	0,036	0,049	0,063	0,076	0,089	0,103	0,116	0,129	0,143	0,156	0,183	0,210	0,236	0,263
400	0,026	0,041	0,056	0,071	0,086	0,101	0,117	0,132	0,147	0,162	0,178	0,208	0,238	0,269	0,299
450	0,029	0,046	0,064	0,081	0,098	0,115	0,132	0,150	0,167	0,184	0,202	0,236	0,271	0,305	0,340



VELOCIDAD LIBRE, PERDIDA DE CARGA Y POTENCIA SONORA.



Determinación del caudal de aire.
Midiendo Vf en diferentes puntos de la rejilla hallamos Vfmed.

$$Q \text{ (l/s)} = V_{fmed} \text{ (m/s)} \cdot A_{free} \text{ (m}^2) \cdot 1000$$

$$Q \text{ (m}^3/\text{h)} = V_{fmed} \text{ (m/s)} \cdot A_{free} \text{ (m}^2) \cdot 3600$$

VALORES DE CORRECCIÓN PARA Lwa1.

Afree m ²	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,4
Lwa1(kf)	-9	-6	-3	-	+4	+7

Valores del diagrama referidos a Afree = 0,1 m².

$$Lwa = Lwa1 + Kf$$

FACTOR DE CORRECCIÓN PARA DIFERENTES POSICIONES DE LAS LAMAS.

	0°	22°	45°
Kp	1	1,28	1,5

$$DPT' = Dpt \cdot Kp$$

ANEXO N° 16

Corrección por altitud y temperatura

FACTORES DE CORRECCION PARA ALTITUD Y TEMPERATURA

Temp °C	ALTITUD (msnm)									
	0	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250
0	0.93	0.96	0.99	1.02	1.05	1.08	1.11	1.15	1.18	1.22
10	0.96	0.99	1.02	1.05	1.08	1.12	1.15	1.19	1.23	1.27
20	1.00	1.03	1.06	1.09	1.12	1.16	1.19	1.23	1.27	1.31
30	1.03	1.06	1.09	1.13	1.16	1.20	1.23	1.27	1.31	1.36
40	1.06	1.10	1.13	1.16	1.20	1.24	1.28	1.32	1.36	1.40
50	1.09	1.13	1.17	1.20	1.24	1.28	1.32	1.36	1.40	1.43

EJEMPLO

6000 CFM @ 1/2"

Condiciones del aire: 30° C y 500 msnm

- Por no corresponder a condiciones de aire estandar, de la tabla anterior, el factor de corrección es: $f_c = 1.09$.
- Presión Estática: $PE = 1/2"$.
- Presión Estática corregida: $PEC = PE \times f_c = 1/2" \times 1.09$, $PEC = 0.55"$.
- Entrar a las Tablas de Capacidad según 6000 CFM @ 0.55", seleccionando un Ventilador SERIE 100, tamaño 22 S.E., operando a 460 RPM con un consumo de 1.72 BHP a condiciones estandar.
- Corregir BHP:

$$\text{BHPC} = \frac{\text{BHP @ estandar}}{f_c} = \frac{1.72}{1.09} = 1.58 \text{ BHP}$$

La selección será, Ventilador SERIE 100, tamaño 22 S.E., operando a 460 RPM con un consumo de 1.58 BHP a condiciones de trabajo.

FORMA PARA ESPECIFICACION DEL EQUIPO

Ventilador Centrifugo SERIE 100, Tamaño _____, S.E. ó D.E. Rotación _____, Descarga _____, Arreglo 3, Posición del motor _____, Punto de operación: _____ CFM @ _____" columna de agua. Condiciones del aire, Temperatura _____ °C, Altitud _____ msnm, operando a _____ RPM y una velocidad de salida _____ PPM.

Las Tablas de Capacidad están basadas en las condiciones del aire estandar 70° F (21.1° C) y a nivel del mar.

Para un punto de operación determinado con caudal y presión estática dadas, las tablas de capacidad serán usadas para obtener RPM ventilador, velocidad de salida y BHP. Para condiciones diferentes a las estandar o densidad del aire estandar (0.075 lbs/ft³), deben aplicarse el factor de corrección a la presión estática y al BHP. Refiérase a la tabla de "factores de corrección para altitud y temperatura" y al ejemplo incluido para las correcciones necesarias.

Los valores de BHP mostrados en las tablas de capacidad no incluyen las pérdidas por transmisión. Por consiguiente el motor seleccionado debe ser dimensionado tomando esta previsión.

Dimensionar el motor por la potencia inmediatamente superior al BHP.

Para considerar las pérdidas por transmisión, es práctica recomendada incrementar un 10% del BHP para potencias mayores a 3.0 HP y 15% para menores a 3.0 HP.

Fuente: Catálogo de Ventiladores Aerometal

ANEXO N°17

SELECCIÓN DEL VENTILADOR



CLASE: **I** **II** **III** **IV** **V** **VI**

RPM MAX.: 959 1213 1521 1739 1953 2164

RUEDA: ■ Diámetro: 44 3/4 Pulg. ■ Círculo: 11.70 Pies

SALIDA: ■ Dimens.: 48 5/8" x 35 7/8" ■ Area: 11.40 Pies²

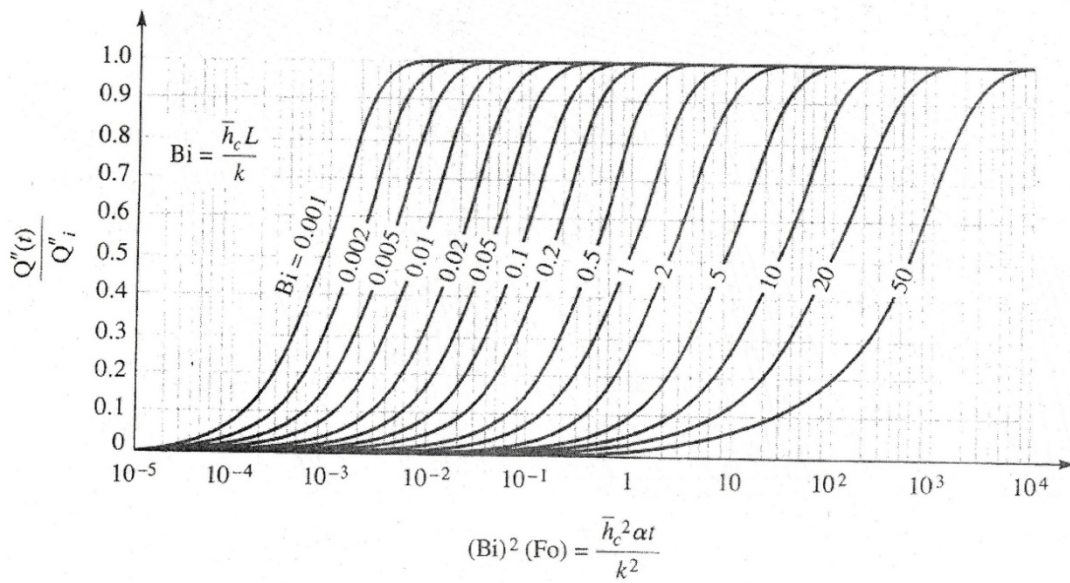
ENTRADA: ■ Diámetro: 50 1/2 Pulg. ■ Area: 13.70 Pies²

SFP-44
SIMPLE ENTRADA

PCM	VS	1/4" PE		1/2" PE		3/4" PE		1" PE		1-1/4" PE		1-1/2" PE		2" PE		2-1/2" PE		3" PE		3-1/2" PE	
		rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp
10260	900	285	.71	325	1.14	361	1.56	393	1.97	426	2.45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11400	1.000	309	.86	344	1.32	379	1.77	410	2.26	439	2.71	469	3.24	—	—	—	—	—	—	—	—
12540	1.100	331	1.02	364	1.40	397	2.05	428	2.55	455	3.05	482	3.56	536	4.77	—	—	—	—	—	—
13680	1.200	351	1.20	385	1.72	417	2.28	446	2.85	473	3.42	498	3.99	546	5.14	—	—	—	—	—	—
14820	1.300	375	1.42	408	1.99	436	2.57	465	3.19	491	3.80	516	4.42	562	5.64	605	6.93	—	—	—	—
15960	1.400	398	1.66	431	2.31	456	2.86	484	3.52	510	4.20	534	4.86	578	6.20	620	7.49	660	8.99	—	—
17100	1.500	423	1.94	454	2.62	478	3.24	503	3.91	526	4.63	552	5.34	595	6.80	635	8.17	671	9.57	710	11.70
18240	1.600	446	2.26	476	2.94	501	3.65	524	4.32	545	5.07	571	5.85	614	7.37	650	8.97	687	10.80	723	12.40
19380	1.700	471	2.60	498	3.32	525	4.11	545	4.79	565	5.55	590	6.37	632	8.00	668	9.62	703	11.70	739	13.20
20520	1.800	496	3.01	522	3.74	548	4.58	569	5.31	583	6.09	605	6.92	645	8.64	682	10.80	717	12.60	749	14.20
21660	1.900	521	3.45	545	4.21	570	5.09	590	5.90	604	6.68	624	7.52	663	9.33	700	11.60	734	13.50	766	15.30
22800	2.000	546	3.92	569	4.72	592	5.59	614	6.54	627	7.31	645	8.17	682	10.50	719	12.40	752	14.40	783	16.20
25080	2.200	596	5.02	617	5.88	633	6.80	654	7.80	673	8.82	688	9.67	722	12.00	756	14.20	790	16.20	820	18.30
27360	2.400	647	6.32	665	7.24	679	8.24	698	9.28	719	10.90	736	11.90	763	13.90	796	16.60	827	18.30	856	20.60
29640	2.600	698	7.85	710	8.87	727	9.89	744	11.40	762	12.70	780	13.80	809	16.00	836	18.20	865	20.60	895	23.10
31920	2.800	743	9.64	759	11.20	774	12.20	792	13.40	808	14.60	824	15.90	856	18.50	880	20.70	906	23.10	933	25.70
34200	3.000	795	12.10	809	12.30	823	14.40	838	15.60	854	16.90	869	18.20	901	21.00	926	23.60	948	25.90	974	28.60
36480	3.200	846	14.50	859	15.60	872	16.90	887	18.10	901	19.50	915	20.80	944	23.70	974	26.70	995	29.20	1016	31.90
38760	3.400	897	17.10	909	18.30	923	19.70	934	20.90	948	22.30	961	23.70	989	26.70	1017	29.90	1041	33.00	1061	35.60
41040	3.600	948	20.10	960	21.30	973	22.80	987	24.10	997	25.50	1009	27.00	1035	30.00	1061	33.40	1088	36.70	1108	39.80
43320	3.800	1000	23.40	1011	24.70	1023	26.10	1034	27.60	1044	28.90	1057	31.70	1081	33.80	1106	37.10	1130	40.70	1155	44.40
PCM	VS	4" PE		4-1/2" PE		5" PE		5-1/2" PE		6" PE		7" PE		8" PE		9" PE		10" PE		11" PE	
		rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp
20520	1.800	780	15.80	813	17.80	846	19.70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21660	1.900	796	16.80	827	18.90	857	20.80	889	22.70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22800	2.000	813	18.10	843	19.90	871	21.80	900	23.70	929	25.90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25080	2.200	848	20.40	876	22.50	904	24.60	930	26.60	956	28.70	1008	33.00	1063	38.20	—	—	—	—	—	—
27360	2.400	884	22.90	912	23.20	938	27.50	963	29.70	989	31.90	1035	36.40	1084	41.10	1133	46.40	—	—	—	—
29640	2.600	921	25.50	949	28.00	975	30.60	1003	33.00	1023	35.50	1058	40.20	1113	45.10	1157	50.00	1202	55.60	1248	61.60
31920	2.800	959	28.40	986	31.10	1011	33.40	1035	36.30	1059	39.00	1102	43.40	1147	49.50	1180	54.70	1229	60.00	1269	66.00
34200	3.000	997	31.30	1024	34.20	1048	37.10	1071	40.00	1095	42.70	1139	48.50	1181	54.30	1220	59.80	1260	65.40	1298	70.90
36480	3.200	1038	34.70	1063	37.70	1087	40.70	1108	43.80	1132	46.80	1176	52.90	1216	59.00	1256	65.20	1293	71.10	1331	77.00
38760	3.400	1080	38.40	1103	41.40	1126	44.50	1149	47.70	1170	51.10	1213	57.50	1253	64.00	1291	70.50	1329	77.00	1364	83.40
41040	3.600	1125	42.60	1146	45.60	1158	48.80	1188	52.10	1208	55.40	1251	62.40	1290	69.30	1328	76.10	1364	82.90	1399	89.70
43320	3.800	1171	47.30	1190	50.20	1209	53.40	1229	56.80	1249	60.20	1288	67.40	1328	74.80	1365	82.00	1400	89.20	1425	96.40
45600	4.000	1219	52.40	1237	55.50	1254	58.70	1271	62.00	1289	65.50	1328	72.80	1366	80.50	1402	88.20	1438	95.70	1472	106.00
47880	4.200	1263	57.50	1284	61.20	1300	64.40	1316	67.70	1333	71.20	1368	78.60	1405	86.40	1440	94.80	1475	104.00	1509	112.00
50160	4.400	1306	62.50	1330	66.90	1348	70.70	1362	74.10	1377	77.50	1410	85.00	1444	92.90	1478	103.00	1513	111.00	1546	120.00
52440	4.600	1356	68.10	1373	72.60	1393	77.00	1410	81.00	1424	84.60	1453	91.60	1485	100.00	1519	110.00	1551	118.00	1585	127.00
54720	4.800	1395	74.20	1417	78.60	1437	83.30	1456	87.90	1471	92.00	1500	99.30	1528	109.00	1559	117.00	1591	126.00	1622	135.00
57000	5.000	1441	80.80	1461	85.30	1480	89.90	1500	94.80	1518	99.70	1546	109.00	1572	117.00	1601	126.00	1631	135.00	1661	144.00
PCM	VS	12" PE		13" PE		14" PE		15" PE		16" PE		17" PE		18" PE		19" PE		20" PE		22" PE	
		rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp	rpm	bhp
31920	2.800	1311	71.90	1355	78.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
34200	3.000	1336	76.80	1374	82.90	1415	90.00	1455	97.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
36480	3.200	1366	82.90	1401	88.90	1438	95.10	1484	103.00	1512	111.00	1549	118.00	—	—	—	—	—	—	—	—
38760	3.400	1399	89.70	1434	96.00	1467	104.00	1501	110.00	1534	117.00	1568	124.00	1604	132.00	—	—	—	—	—	—
41040	3.600	1433	96.90	1466	105.00	1500	111.00	1532	118.00	1563	125.00	1595	132.00	1626	139.00	1658	147.00	1692	155.00	—	—
43320	3.800	1469	105.00	1502	113.00	1533	119.00	1564	126.00	1595	132.00	1625	141.00	1655	148.00	1685	155.00	1715	162.00	1762	179.00
45600	4.000	1505	112.00	1537	120.00	1568	128.00	1598	135.00	1628	143.00	1657	150.00	1687	157.00	1751	165.00	1743	172.00	1801	188.00
47880	4.200	1541	120.00	1572	128.00	1604	136.00	1633	144.00	1662	152.00	1691	160.00	1719	167.00	1747	175.00	1776	183.00	1829	199.00
50160	4.400	1578	128.00	1610	136.00	1640	145.00	1670	153.00	1698	161.00	1726	170.00	1753	178.00	1781	186.00	1808	194.00	1862	211.00
52440	4.600	1616	136.00	1647	145.00	1677	154.00	1706	162.00	1734	171.00	1763	180.00	1789	189.00	1816	192.00	1843	206.00	1894	223.00
54720	4.800	1653	145.00	1684	154.00	1714	163.00	1743	172.00	1771	181.00	1798	190.00	1825	199.00	1852	208.00	1878	218.00	1927	236.00
57000	5.000	1692	153.00	1722	163.00	1751	173.00	1789	182.00	1808	192.00	1835	201.00	1862	210.00	1888	220.00	1913	230.00	1963	249.00
59280	5.200	1731	162.00	1761	172.00	1789	184.00	1817	192.00	1846	202.00	1872	211.00	1898	222.00	1924	232.00	1950	242.00	1999	262.00
61560	5.400	1772	172.00	1799	182.00	1827	193.00	1857	203.00	1883	214.00	1909	224.00	1936	234.00	1962	244.00	1986	255.00	2032	275.00
63840	5.600	1812	183.00	1839																	

ANEXO N° 18

GRAFICA DE HEYSLER PARA FLUJO DE CALOR EN PARED

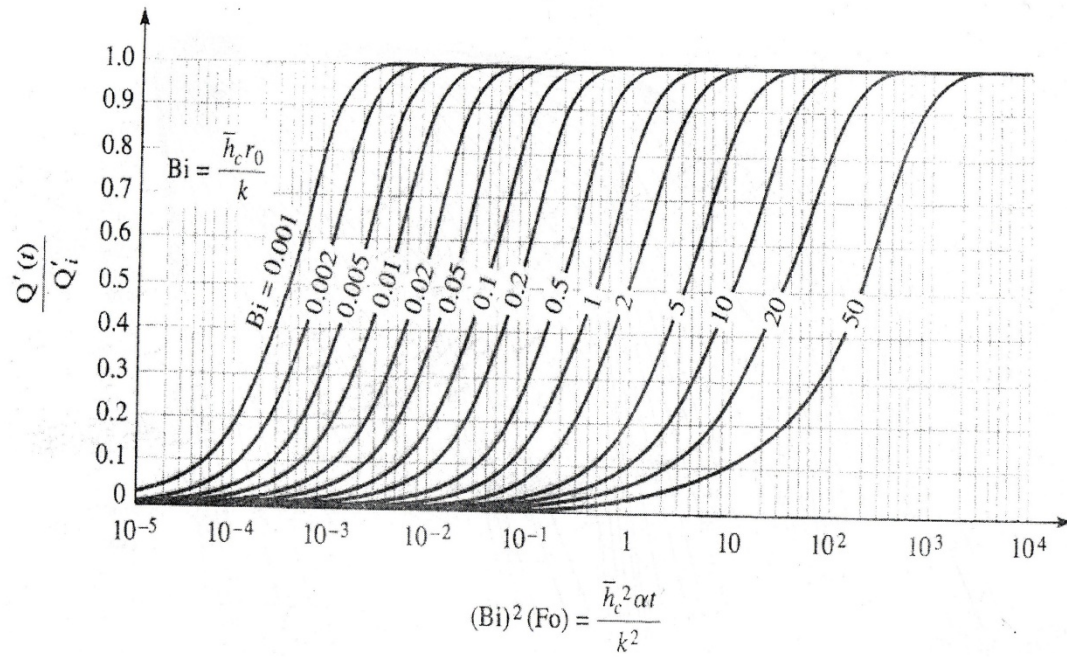


(c)

FIGURA 2.37 (Continuación)

ANEXO N° 19

GRAFICA DE HEYSLER PARA FLUJO DE CALOR EN CILINDRO LARGO



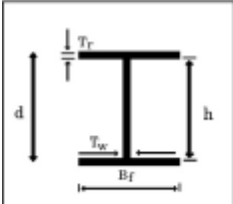
(c)

FIG. 2.38 (Continuación)

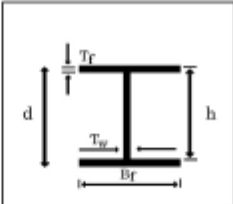
ANEXO N° 20

Catálogo de vigas Properca


VP



CP



$F_y = 2530 \text{ kgf/cm}^2$ $F_u = 4080 \text{ kgf/cm}^2$



Serie Estándar - Propiedades para el Diseño

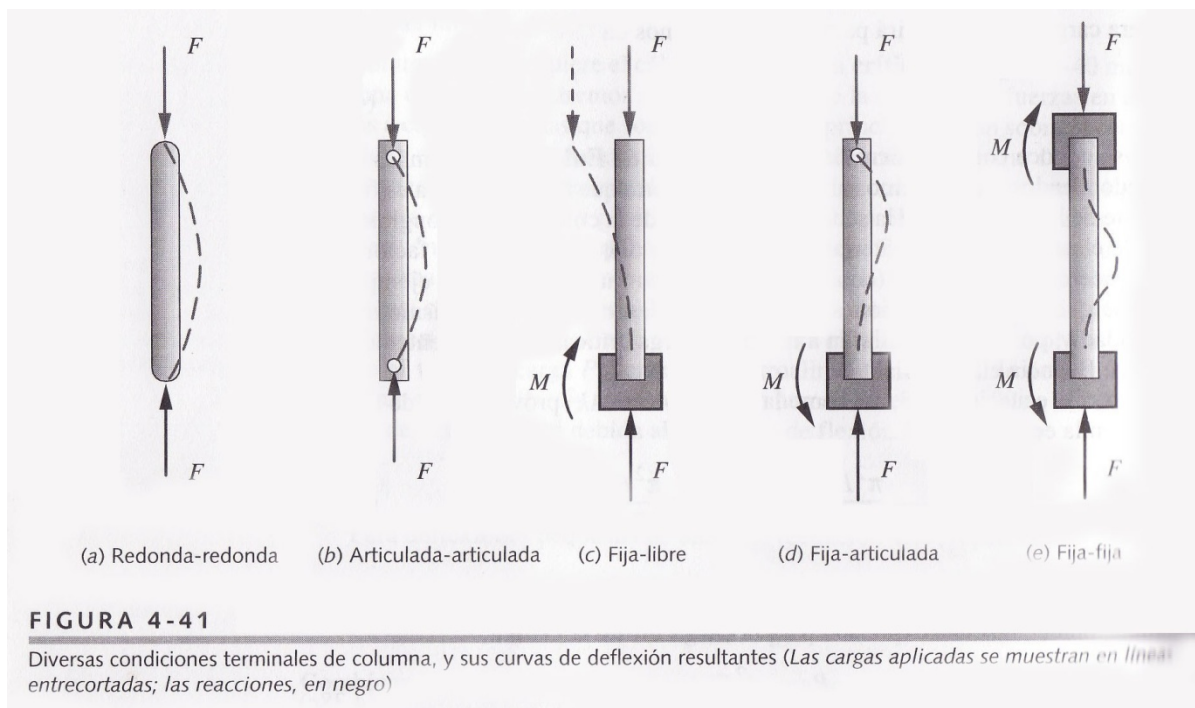
DESIGNACIÓN	DIMENSIONES			SECCIÓN TOTAL								TORSIÓN		ESBELTECES		DISEÑO AISC-ASD			DISEÑO AISC-LRFD				
	Alma	Alas		Área A cm ²	Eje X-X				Eje Y-Y				J cm ⁴	C _w cm ⁶	Alma	Alas	Flexión		Compresión		Flexión		Compresión
Serie d x Peso mm x kgf / m	t _w mm	t _f mm	t _f mm		I _x cm ⁴	S _x cm ³	r _x cm	Z _x cm ³	I _y cm ⁴	S _y cm ³	r _y cm	Z _y cm ³			h/t _w	b _f /2t _f	r _t cm	d/A _f cm ⁻¹	φ _{as}	C _I	C _{2x10⁹}	K _c	φ _{as}
VP 120 x 9.70	3.0	100	4.5	12.3	335	55.7	5.21	61.2	75	15.0	2.47	22.7	0.70	2500	37.0	11.1	2.72	2.67	1.000	152000	1300	0.658	1.000
140 x 12.4	3.0	100	6.0	15.8	592	84.5	6.11	92.7	100	20.0	2.51	30.3	1.52	4490	42.7	8.33	2.74	2.33	0.998	168000	853	0.612	1.000
160 x 16.4	6.0	100	6.0	20.9	874	109	6.47	125	100	20.0	2.19	31.3	2.52	5930	24.7	8.33	2.59	2.67	1.000	192000	682	0.763	1.000
180 x 17.7	4.5	125	6.0	22.6	1310	146	7.43	162	195	31.3	2.94	47.7	2.29	14800	37.3	10.4	3.34	2.40	1.000	143000	1880	0.655	1.000
200 x 24.1	4.5	125	9.0	30.7	2280	228	8.62	252	293	46.9	3.09	71.2	6.44	26700	40.4	6.94	3.41	1.78	1.000	178000	700	0.629	1.000
250 x 29.4	4.5	150	9.0	37.4	4390	351	10.8	386	506	67.5	3.68	102	7.80	73500	51.6	8.33	4.08	1.85	0.961	141000	1800	0.557	0.978
300 x 41.3	6.0	150	12.0	52.6	8520	568	12.7	633	676	90.1	3.58	138	18.7	140000	46.0	6.25	4.03	1.67	0.981	159000	1180	0.590	0.998
350 x 48.3	6.0	175	12.0	61.6	13700	785	14.9	869	1070	123	4.17	187	21.9	306000	54.3	7.29	4.70	1.67	0.945	135000	2250	0.543	0.965
400 x 55.4	6.0	200	12.0	70.6	20700	1040	17.1	1140	1600	160	4.76	243	25.1	602000	62.7	8.33	5.37	1.67	0.916	118000	3920	0.505	0.938
420 x 65.7	9.0	200	12.0	83.6	24600	1170	17.2	1330	1600	160	4.38	248	32.4	666000	44.0	8.33	5.17	1.75	0.987	128000	3350	0.603	1.000
CP 140 x 25.5	6.0	140	9.0	32.5	1170	168	6.00	187	412	58.8	3.56	89.3	7.55	17700	20.3	7.78	3.86	1.11	1.00	270000	130	0.763	1.00
160 x 29.3	6.0	160	9.0	37.3	1790	223	6.92	248	615	76.8	4.06	117	8.67	35000	23.7	8.89	4.41	1.11	1.00	233000	232	0.763	1.00
180 x 33.1	6.0	180	9.0	42.1	2580	287	7.83	316	875	97.2	4.56	147	9.78	64000	27.0	10.0	4.95	1.11	1.00	205000	386	0.763	1.00
200 x 50.1	9.0	200	12.0	63.8	4660	466	8.54	521	1600	160	5.01	244	27.0	141000	19.6	8.33	5.48	0.83	1.00	258000	161	0.763	1.00
220 x 55.3	9.0	220	12.0	70.4	6280	571	9.44	636	2130	194	5.50	294	29.8	230000	21.8	9.17	6.02	0.83	1.00	232000	243	0.763	1.00
240 x 60.4	9.0	240	12.0	77.0	8250	687	10.4	762	2770	231	6.00	350	32.6	359000	24.0	10.0	6.57	0.83	1.00	211000	354	0.763	1.00
260 x 65.7	9.0	260	12.0	83.6	10600	815	11.3	900	3520	271	6.48	410	35.4	540000	26.2	10.8	7.11	0.83	1.00	193000	500	0.763	1.00

ANEXO N° 21

Factor de longitud efectiva según sea la terminación de la columna

TABLA 4-7 Factores de longitud efectiva, según la condición terminal de la columna

Condiciones terminales	Valor teórico	Recomendado por AISC*	Valor conservador
Redonda-redonda	$l_{eff} = l$	$l_{eff} = l$	$l_{eff} = l$
Articulada-articulada	$l_{eff} = l$	$l_{eff} = l$	$l_{eff} = l$
Fija-libre	$l_{eff} = 2l$	$l_{eff} = 2.1l$	$l_{eff} = 2.4l$
Fija-articulada	$l_{eff} = 0.707l$	$l_{eff} = 0.80l$	$l_{eff} = l$
Fija-fija	$l_{eff} = 0.5l$	$l_{eff} = 0.65l$	$l_{eff} = l$



Fuente: Diseño de elementos de máquinas. Robert Norton.

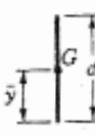
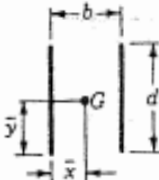
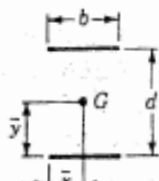
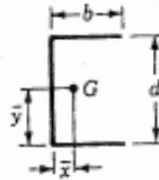
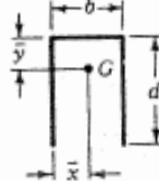
ANEXO N° 22

PROPIEDADES A FLEXIÓN DE SOLDADURAS DE FILETE

JUNTAS SOLDADAS Y PEGADAS

453

Tabla 9-2 PROPIEDADES A LA FLEXIÓN DE SOLDADURAS DE FILETE*

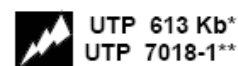
Soldadura	Área de garganta	Localización de G	Momento de inercia unitario
	$A = 0.707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{12}$
	$A = 1.414bd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{6}$
	$A = 1.414hb$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{bd^2}{2}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{12}(6b + d)$
	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$

Fuente: Elementos de Máquina. Shigley

ANEXO N° 23

ELECTRODO PARA SOLDADURA

Norma :AWS A 5.1
E-7018
E 7018-1 H8



DIN 1913 E 51 55 B 10

Electrodo con bajo contenido de hidrógeno para soldar uniones de alta resistencia mecánica.

Campo de aplicación

UTP 613 Kb, UTP 613 Kb-A y UTP 7018-1 se recomiendan para trabajos de soldadura en aceros estructurales, de construcción, aceros para calderas y tuberías, aceros de grano fino, así como para aceros con un contenido de carbono hasta 0.30.

Se recomiendan principalmente para los siguientes materiales base:

Aceros estructurales	DIN St 34 - St 60
Aceros de grano fino	St-W-TT St E 26-36
Aceros para calderas	HI-HIV; 17 Mn4
Aceros para tubos	St 35-St 55; St 34.7 - St 53.7; St 35.8 - St 45.8
Aceros para la construcción naval	Calidad A-E
Aceros fundidos	GS 38 - GS 52

Características de la soldadura

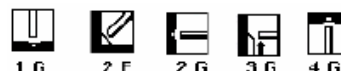
UTP 613 Kb, UTP 613 Kb-A y UTP 7018-1 pueden soldarse bien en todas las posiciones. Tienen un arco estable. El depósito es a prueba de grietas, resistente al envejecimiento y no se ve afectado por las impurezas de los aceros. Puede utilizarse corriente alterna, siempre y cuando la tensión en vacío de la fuente de poder sea lo suficientemente alta. Rendimiento 120%.

Propiedades mecánicas del depósito

Electrodo	Resistencia a la tracción MPa	Límite de Elasticidad MPa	Alargamiento (l = 5d) %	Tenacidad Charpy V Joule	Dureza Brinell
613 Kb *	610	470	25	80J - 20°C	170
7018-1 **	610	430	25	80J - 40°C	170

Instrucciones para soldar

Utilizar sólo electrodos secos; si éstos estuvieran húmedos, deberán secarse de 2-3 horas a temperaturas de 250-300°C.



Posición de soldaduras

Tipo de corriente:

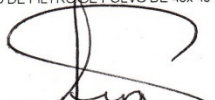
CC PD(-)

Electrodos	Ø x L(mm)	2.4 x 350	3.2 x 350	4.0 x 460	5.0 x 450	6.0 x 460
Amperaje	A	80-100	110-150	140-200	200-260	210-350

Fuente: Manual de soldadura Bohler Thyssen

ANEXO N° 24

Presupuesto sistema de enfriamiento

PRESUPUESTO				
OPROCA, C.A. AV. 190 DE TARAPIO LOCAL 100-105A VALENCIA RIF : J - 30667882 - 4 NIT. 0118415620 Celulares: 0412 - 500.40.83 Fax: 0241 - 868.71.11	CLIENTE : Nombre : JUAN CHACON RIF : 17032271 Dirección : AV. FUERZA AEREA, MARACAY Teléfonos : 0414-415 83 44 Validez de la oferta : 5 DIAS	NÚMERO : 628 EMISIÓN : 26/3/2008 TIEMPO DE ENTREGA : 1 SEMANAS CONDICIONES DE PAGO: 50% INICIAL Y SALDO POR VALUACION		
CANT	DESCRIPCIÓN	UNID	P. UNITARIO	TOTAL
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE BOBINAS DE ALUCASA				
2	S/T/I/ DE VENTILADOR CENTRIFUGO AERODINAMICO, SIMPLE ENTRADA MODELO SPF-44, MARCA FREDIVEN, ARREGLO 3, PARA UNA CAPACIDAD DE 34.200 PCM, CONTRA UNA CAIDA DE PRESION DE 2 PULGADA DE AGUA, A 901 R.P.M. ACOPLADO POR TRANSMISION DE POLEA Y CORREA, A UN MOTOR DE 30 H.P (1750 R.P.M. VOLTAJE 220/440/3/60. INCLUYE TRANSPORTE, GRUA Y PUESTA EN SITIO)	UNID	52,600.00	105,200.00
3200	S/T/I/ DE DUCTERIA RECTANGULAR CONSTRUIDA EN LAMINA GALVANIZADA CALIBRE SEGÚN NORMAS ASHRAE	KG	17.50	56,000.00
14	S/T/I/ DE SOPORTES CONSTRUIDOS EN ANGULO 2 1/2" X 2 1/2" X 6 MM TIPO TRAPECIO DE 1,60 DE ALTURA. INCLUYE ACABADO EN FONDO Y PINTURA INDUSTRIAL	PZA	720.00	10,080.00
11	S/T/I/ DE REJILLA DE ALUMINIO ANODIZADO CON CONTROL DE VOLUMEN , DOBLE DEFLEXION MODELO RS/DD/CC 36" X 6"	PZA	229.00	2,519.00
11	S/T/I/ DE REJILLA DE ALUMINIO ANODIZADO CON CONTROL DE VOLUMEN , DOBLE DEFLEXION MODELO RS/DD/CC 32" X 10"	PZA	261.00	2,871.00
2	S/T/I/ DE JUNTA FLEXIBLE DE 8 ONZA	PZA	360.00	720.00
2	S/T/I/ DE BANCO DE FILTRO DE POLVO DE 48x 48" X 2" DE 60% EFICIENCIA	PZA	2,500.00	5,000.00
 OPROCA, C.A. R.I.F J-30667882-4				
COMENTARIOS:			SUB - TOTAL Bs.	182,390.00
ESTOS TRABAJOS TIENEN UNA GARANTIA DE 90 DIAS			IVA 9 % Bs	16,415.10
Por OPROCA, C.A.		Recibi Conforme Cliente:		TOTAL Bs.
SELLO Y FIRMA				198,805.10

ANEXO N° 25

FACTORES DE INTERÉS AL 13% CORRESPONDIENTES A PERIODOS
COMPUESTOS DISCRETOS

$i = 13\%$

Factores de interés al 13% correspondientes a periodos compuestos discretos

n	PAGO SIMPLE		SERIE UNIFORME				Factor de serie aritmética (FVg _n)	n
	Factor de capitalización	Factor de actualización	Factor de recuperación de capital	Factor de actualización	Factor del fondo de amortización	Factor de capitalización		
	(S/P) _n	(P/S) _n	(R/P) _n	(P/R) _n	(R/S) _n	(S/R) _n		
1	1,1300	,88496	1,1300	,8850	1,0000	1,0000	,0000	1
2	1,2769	,78315	,59949	1,6680	,46949	2,1299	,4694	2
3	1,4428	,69305	,42352	2,3611	,29353	3,4068	,9187	3
4	1,6304	,61332	,33620	2,9744	,20620	4,8497	1,3478	4
5	1,8424	,54276	,28432	3,5172	,15432	6,4802	1,7570	5
6	2,0819	,48032	,25015	3,9975	,12015	8,3226	2,1467	6
7	2,3525	,42506	,22611	4,4225	,09611	10,404	2,5170	7
8	2,6584	,37616	,20839	4,7987	,07839	12,757	2,8684	8
9	3,0040	,33289	,19487	5,1316	,06487	15,415	3,2013	9
10	3,3945	,29459	,18429	5,4262	,05429	18,419	3,5161	10
11	3,8358	,26070	,17584	5,6869	,04584	21,813	3,8193	11
12	4,3344	,23071	,16899	5,9176	,03899	25,649	4,0936	12
13	4,8979	,20417	,16335	6,1217	,03335	29,984	4,3572	13
14	5,5346	,18068	,15867	6,3024	,02867	34,882	4,6049	14
15	6,2541	,15989	,15474	6,4623	,02474	40,416	4,8374	15
16	7,0672	,14150	,15143	6,6038	,02143	46,670	5,0551	16
17	7,9859	,12522	,14861	6,7290	,01861	53,737	5,2588	17
18	9,0240	,11081	,14620	6,8399	,01620	61,723	5,4490	18
19	10,197	,09807	,14413	6,9379	,01413	70,747	5,6264	19
20	11,522	,08678	,14235	7,0247	,01235	80,944	5,7916	20
21	13,020	,07680	,14081	7,1015	,01081	92,467	5,9453	21
22	14,713	,06796	,13948	7,1695	,00948	105,48	6,0880	22
23	16,626	,06015	,13832	7,2296	,00832	120,20	6,2204	23
24	18,787	,05323	,13731	7,2828	,00731	136,82	6,3430	24
25	21,229	,04710	,13643	7,3299	,00643	155,61	6,4565	25
26	23,989	,04168	,13565	7,3716	,00565	176,84	6,5613	26
27	27,108	,03689	,13498	7,4085	,00498	200,83	6,6581	27
28	30,632	,03265	,13439	7,4412	,00439	227,94	6,7474	28
29	34,614	,02889	,13387	7,4700	,00387	258,57	6,8295	29
30	39,114	,02557	,13341	7,4956	,00341	293,18	6,9052	30
31	44,199	,02262	,13301	7,5182	,00301	332,30	6,9747	31
32	49,945	,02002	,13266	7,5383	,00266	376,50	7,0385	32
33	56,438	,01772	,13234	7,5560	,00234	426,44	7,0970	33
34	63,775	,01568	,13207	7,5717	,00207	482,88	7,1505	34
35	72,065	,01388	,13183	7,5855	,00183	546,65	7,1998	35
40	132,77	,00753	,13099	7,6343	,00099	1013,6	7,3887	40
45	244,62	,00409	,13053	7,6608	,00053	1874,0	7,5076	45
50	450,71	,00222	,13029	7,6752	,00029	3459,3	7,5811	50

Fuente: Evaluación de proyectos de inversión.