

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA: “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE LIMPIEZA Y
PINTURA DE TRANSFORMADORES”**

AUTORES:

GONZÁLEZ LEIVA LUIS EDUARDO

GUERRERO GARCÍA DIEGO RAFAEL

DIRECTOR: ING. CARLOS MALDONADO

QUITO, Octubre del 2012

DECLARACIÓN

Nosotros, González Leiva Luis Eduardo y Guerrero García Diego Rafael declaramos bajo juramento que el trabajo aquí mostrado es de nuestra autoría, que el mismo no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

GONZÁLEZ L. LUIS

GUERRERO G. DIEGO

CERTIFICADO

Yo Ing. Carlos Maldonado certifico que el presente trabajo ha sido realizado por los Señores **González Leiva Luis Eduardo y Guerrero García Diego Rafael** como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Carlos Maldonado

Director de Tesis

01 de Octubre del 2012

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a DIOS infinitamente por la oportunidad de vivir cada día y luchar por lo que quiero, a mi familia que me ha brindado su apoyo incondicional y en especial a mi madre, porque nadie ha hecho tanto por mí como ella.

LUIS EDUARDO GONZÁLEZ LEIVA

Agradezco a Dios sobremanera por el espíritu de lucha y fortaleza que me transmitió en los momentos difíciles de mi vida, por haberme bendecido con una hermosa familia en especial a mi Madre que nunca dejó de apoyarme y de creer en mí, a mi hija Jade Romina que es la alegría y mi mayor felicidad en el mundo, a ellas les dedico este trabajo.

DIEGO RAFAEL GUERRERO GARCÍA

ÍNDICE

DECLARACIÓN.....	i
CERTIFICADO.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
TEMA.....	iv
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	iv
JUSTIFICACIÓN.....	v
ALCANCE.....	vi
OBJETIVO GENERAL.....	vii
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	vii
HIPÓTESIS.....	viii
MARCO METODOLÓGICO.....	ix
GLOSARIO.....	x

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1	RESISTENCIA DE MATERIALES.....	1
1.1.1	VIGAS.....	1
1.1.1.1	ESFUERZOS EN VIGAS.....	1
1.1.1.2	FLEXIÓN PURA Y FLEXIÓN NO UNIFORME.....	2
1.1.1.3	CURVATURA DE UNA VIGA.....	3
1.1.2	COLUMNAS.....	4
1.1.2.1	LONGITUDES EFECTIVAS EN COLUMNAS.....	4
1.1.2.2	PANDEO.....	5
1.1.2.3	PERFILES ÓPTIMOS DE COLUMNAS.....	6

1.2	DISEÑO MECÁNICO.....	6
1.2.1	DISEÑO EN LA INGENIERÍA.....	6
1.2.2	UNIONES APERNADAS.....	7
1.2.2.1	TENSIÓN EN JUNTAS APERNADAS.....	8
1.2.3	UNIONES SOLDADAS.....	9
1.3	MECANICA DE FLUIDOS.....	10
1.3.1	INTRODUCCIÓN.....	10
1.3.2	MÁQUINAS HIDRÁULICAS.....	11
1.3.3	CLASIFICACIÓN.....	12
1.3.4	PUNTO DE OPERACIÓN.....	13
1.3.5	PÉRDIDAS EN CONDUCTOS.....	14
1.3.5.1	EL DIAGRAMA DE MOODY.....	15
1.3.5.2	LA ECUACIÓN DE DARCY WEISBACH.....	15
1.3.5.3	EL RADIO HIDRÁULICO.....	16
1.3.6	PRESIÓN EN CONDUCTOS.....	17
1.4	TERMODINÁMICA.....	18
1.4.1	SISTEMAS DE FLUJO ESTABLE.....	18
1.4.2	FLUJO EN TUBERÍAS Y DUCTOS.....	19
1.5	TRANSFERENCIA DE CALOR.....	20
1.5.1	TRANSFERENCIA DE CALOR EN LA INGENIERÍA.....	20
1.5.2	BALANCE DE ENERGÍA EN UNA SUPERFICIE.....	21
1.5.3	CONDUCCIÓN.....	22
1.5.3.1	PARED PLANA.....	22
1.5.4	CONVECCIÓN.....	24
1.5.5	FLUJO ALREDEDOR DE CILINDROS.....	24

INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DEL PUENTE GRÚA Y EL HORNO DE PINTURA

PROCESO DE LIMPIEZA	28
FLUJOGRAMA.....	30
ESQUEMA DEL PROCESO DE LIMPIEZA Y PINTURA.....	31

CAPÍTULO II

DISEÑO DEL PUENTE GRÚA

2.1	PUENTES GRÚA.....	32
2.2	ESPECIFICACIONES DEL PUENTE REQUERIDO.....	32
2.3	CÁLCULO DE LA VIGA TRANSVERSAL (TRANSPORTADORA).....	34
2.4	CÁLCULO DE LA VIGA LONGITUDINAL (RIEL).....	42
2.5	CÁLCULO DE COLUMNAS.....	46
2.6	CÁLCULO DE PERNOS Y PLACA BASE.....	50
2.6.1	CÁLCULO DE PERNOS PARA ANCLAJE DE COLUMNA Y TESTEROS	56
2.7	CONEXIONES SOLDADAS.....	60
2.7.1	SOLDADURA DEL ALMA.....	63
2.7.2	SOLDADURA DE ÁNGULO DE SUJECCIÓN DE LA VIGA CARRILERA	66

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL HORNO DE PINTURA

3.1	HORNOS DE PINTURA.....	69
3.2	NORMAS GENERALES.....	69
3.3	DISEÑO NEUMÁTICO.....	70
3.3.1	DIMENSIONAMIENTO DEL HORNO.....	70
3.3.2	CÁLCULO DEL CAUDAL.....	72
3.3.3	DIMENSIONAMIENTO DE LOS DUCTOS.....	73
3.3.4	CÁLCULO DE PÉRDIDAS.....	74
3.3.4.1	CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LOS DUCTOS.....	74
3.3.4.2	CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LOS ACCESORIOS.....	77
3.3.5	CÁLCULO DE LA PRESIÓN TOTAL.....	77
3.3.6	SELECCIÓN DEL VENTILADOR.....	79
3.4	DISEÑO TÉRMICO.....	82
3.4.1	CÁLCULO DEL REQUERIMIENTO DE CALOR.....	82
3.4.2	CÁLCULO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR LAS	
RESITENCIAS.....		84
3.5	DISEÑO ESTRUCTURAL DEL HORNO.....	87
3.5.1	ELEMENTOS HORIZONTALES.....	88
3.5.2	ELEMENTOS VERTICALES.....	90

CAPÍTULO IV

SIMULACIÓN DEL SISTEMA

4.1 SIMULACIÓN DEL PUENTE GRÚA.....	94
4.1.1 INTRODUCCIÓN.....	94
4.1.2 PROCEDIMIENTO DE LA SIMULACIÓN EN SAP 2000.....	95
4.1.3 PROCEDIMIENTO DE LA SIMULACIÓN EN INVENTOR.....	105
4.2 SIMULACIÓN DEL HORNO DE PINTURA.....	109
4.2.1 INTRODUCCIÓN.....	109
4.2.2 DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN.....	110
4.3 SIMULACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL HORNO DE PINTURA.....	124

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE COSTOS

5.1 INTRODUCCIÓN.....	130
5.2 COSTOS.....	131
5.2.1 COSTOS DIRECTOS.....	131
5.2.2 COSTOS INDIRECTOS.....	132
5.2.2.1 COSTOS DE INSUMOS.....	132
5.2.2.2 COSTO DE MANO DE OBRA.....	133
5.2.3 RESUMEN DE COSTOS.....	134
CONCLUSIONES.....	135
RECOMENDACIONES.....	136
BIBLIOGRAFÍA.....	137

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Constantes para ecuación de coeficiente de convección.....	27
Tabla 3.1: Valores de caudal y presión del sistema y ventilador.....	79
Tabla 3.2: Características del ventilador seleccionado.....	81
Tabla 5.1: Materiales para el puente grúa.....	131
Tabla 5.2: Materiales para la cabina de pintura.....	131
Tabla 5.3: Costo de accesorios.....	132
Tabla 5.4: Costo de insumos.....	132
Tabla 5.5: Resumen de costos.....	134

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. 1: Relación entre curvatura y distancia.	3
Ecuación 1. 2: Carga máxima que resiste una columna.....	6
Ecuación 1. 3: Relación para determinar la densidad de un fluido.....	13
Ecuación 1. 4: Cálculo de presión utilizando relación de caudales.	14
Ecuación 1. 5: Cálculo de pérdida de carga primaria.....	16

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

Figura 1. 1: Flexión de una viga en voladizo, a) Viga con carga; b) curva de deflexión. .2	2
Figura 1. 2: Vigas en flexión pura.....2	2
Figura 1. 3: Curvatura de una viga flexionada.....3	3
Figura 1. 4: Tipos de junta en los extremos de una columna.....4	4
Figura 1. 5: Valores de K de acuerdo a la conexión.5	5
Figura 1. 6: Formas pandeadas de columnas.5	5
Figura 1. 7: Unión de placas con un perno.8	8
Figura 1. 8: Soldadura de conexión entre ángulo y viga.....9	9
Figura 1. 9: Denominaciones de soldadura.9	9
Figura 1. 10: Relación presión - caudal entre ventiladores.....12	12
Figura 1. 11: Punto de Operación de un ventilador.14	14
Figura 1. 12: Presión al interior de un ducto.....18	18
Figura 1. 13: Contenidos de masa y energía permanecen constantes en condiciones de flujo estable.....19	19
Figura 1. 14: Pérdida de calor hacia los alrededores.....20	20
Figura 1. 15: Transferencia de calor unidimensional a través de una pared compuesta y su analogía eléctrica.23	23
Figura 1. 16: Flujo transversal a un cilindro.25	25
Figura 1. 17: Distribución de velocidades indicando el desprendimiento de la corriente en el flujo transversal a un cilindro.....25	25
Figura 1. 18: Coeficiente de resistencia para cilindros circulares en función del número de Reynolds.....26	26
Figura 1. 19: Interferograma que muestra las isotermas alrededor de cilindros horizontales calientes situados en una corriente de aire transversal.....27	27

CAPITULO II

Figura 2. 1: Esquema general del puente grúa.....33	33
Figura 2. 2: Diagrama general de la viga transversal.....35	35
Figura 2. 3: Valores de carga y reacciones de la viga transversal.....36	36

Figura 2. 4: Diagrama de momento.	36
Figura 2. 5: Diagrama de momentos por carga.	37
Figura 2. 6: Diagrama de momentos por peso de la viga.....	37
Figura 2. 7: Diagrama de corte.....	40
Figura 2. 8: Diagramas de carga y reacciones de testeros (rieles).	42
Figura 2. 9: Diagrama de corte de testeros (rieles).	44
Figura 2. 10: Diagrama de columnas (carga axial).	47
Figura 2. 11: Valores de carga y momento de columnas (carga axial).....	48
Figura 2. 12: Geometría de la placa base.	50
Figura 2. 13: Esquema de la junta.....	51
Figura 2. 14: Esquema de soldadura del patín.	60
Figura 2. 15: Esquema de dimensión de la soldadura.....	61
Figura 2. 16: Esquema de soldadura del alma.....	64
Figura 2. 17: Especificación de electrodo.	64
Figura 2. 18: Diagramas de anclaje superior.....	66

CAPÍTULO III

Figura 3. 1: Esquema del horno de pintura (Vista tridimensional).	71
Figura 3. 2: Curva del sistema combinada con la curva del ventilador.	80
Figura 3. 3: Diagrama de ventilador CVTT 12-12.....	81
Figura 3. 4: Diseño estructural del horno de pintura (Vista tridimensional).	87
Figura 3. 5: Diagrama de cargas en la estructura.	88
Figura 3. 6: Horno de pintura (Vista frontal cerrada).	93
Figura 3. 7: Horno de pintura (Vista tridimensional).....	93

CAPITULO IV

Figura 4. 1: Estructura del puente grúa con apoyo lateral.....	95
Figura 4. 2: Determinación de material según la norma.	96
Figura 4. 3: Selección de los perfiles.	96
Figura 4. 4: Lista de perfiles seleccionados.	97
Figura 4. 5: definición de patrón de carga.....	97
Figura 4. 6: Esquema con perfiles asignados.	98

Figura 4. 7: Cuadro de selección de restricciones.....	98
Figura 4. 8: Valor de carga.....	99
Figura 4. 9: Esquema con valor de carga.	99
Figura 4. 10: Cuadro de selección de casos a ejecutar.....	100
Figura 4. 11: Selección de norma ASD.....	100
Figura 4. 12: Figura de la estructura deformada.	101
Figura 4. 13: Valores de relación de carga de cada elemento.....	102
Figura 4. 14: Carga en el centro del puente grúa.	103
Figura 4. 15: Valores de relación de carga de cada elemento.....	103
Figura 4. 16: Carga sobre la columna (carga axial).	104
Figura 4. 17: Valores de relación de carga.....	104
Figura 4. 18: Selección del tipo de análisis.....	105
Figura 4. 19: Configuración de análisis estático.	106
Figura 4. 20: Selección del material.....	106
Figura 4. 21: Asignación de cargas.	107
Figura 4. 22: Corrida del programa.....	107
Figura 4. 23: Resultado de reacciones y fuerza cortante.....	108
Figura 4. 24: Revisión de diagrama de momentos.....	108
Figura 4. 25: Verificación del volumen del fluido.....	110
Figura 4. 26: Selección del fluido.	110
Figura 4. 27: Ingreso de valor de flujo másico y temperatura.	111
Figura 4. 28: Ingreso de valor de presión de salida.....	111
Figura 4. 29: Solución del modelo.	112
Figura 4. 30: Solución del modelo.	112
Figura 4. 31: Presentación de velocidades del flujo interior.....	113
Figura 4. 32: Presentación de velocidades del flujo interior (vista frontal).	113
Figura 4. 33: Presentación de velocidades del flujo interior (vista trimétrica).	114
Figura 4. 34: Ingreso del título del diseño.....	115
Figura 4. 35: Designación del sistema de unidades.	115
Figura 4. 36: Selección del tipo de análisis.....	116
Figura 4. 37: Selección del fluido.	116
Figura 4. 38: Elección del material.	117
Figura 4. 39: Condiciones de la pared.....	117

Figura 4. 40: Parámetros iniciales de presión y temperatura.	118
Figura 4. 41: Ingreso del espesor de pared.....	118
Figura 4. 42: Presentación del modelo con valores a analizar.	119
Figura 4. 43: Detalles de elementos de análisis.	119
Figura 4. 44: Presentación de velocidades del flujo interior (vista frontal).	120
Figura 4. 45: Resultados de temperatura en escala ampliada.	121
Figura 4. 46: Reducción de la escala para verificación de temperatura.....	122
Figura 4. 47: Vista frontal escala de presión.....	122
Figura 4. 48: Vista trimétrica líneas de presión.	123
Figura 4. 49: Diseño estructural del horno.....	124
Figura 4. 50: Selección de los perfiles.	125
Figura 4. 51: Determinación de material según la norma.	125
Figura 4. 52: Esquema con elementos asignados.....	126
Figura 4. 53: Ingreso de valor de carga distribuida.....	126
Figura 4. 54: Ingreso de valor de carga puntual.....	127
Figura 4. 55: Esquema con cargas asignadas.	127
Figura 4. 56: Selección de la especificación ASD.	128
Figura 4. 57: Estructura deformada.....	128
Figura 4. 58: Valores de carga de los elementos de la estructura.	129

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: PLANOS

ANEXO 2: DIMENSIONES NOMINALES DE AGUJEROS

ANEXO 3: DISTANCIAS MÍNIMAS A BORDES

ANEXO 4: ESFUERZOS PERMISIBLES PARA PERNOS

ANEXO 5: ESFUERZOS PERMISIBLES EN SOLDADURA.

ANEXO 6: TAMAÑOS MÍNIMOS DE SOLDADURA DE FILETE

ANEXO 7: ESFUERZO CORTANTE ADMISIBLE

ANEXO 8: TABLAS DE VELOCIDADES SEGÚN SU FINALIDAD

ANEXO 9: TABLA DE SECCIONES DE DUCTOS

ANEXO 10: DIÁMETROS EQUIVALENTES

ANEXO 11: DIAGRAMA DE MOODY

ANEXO 12: FACTOR DE PÉRDIDAS EN LOS CODOS

ANEXO 13: VALORES DE CONDUCTIVIDAD, VISCOSIDAD Y CALOR
ESPECÍFICO DEL AIRE

ANEXO 14: VALORES DE C Y M

ANEXO 15: FACTOR DE CORRECCIÓN

ANEXO 16: RESISTENCIAS ELÉCTRICAS EN EL MERCADO

ANEXO 17: MANUAL DE MANTENIMIENTO

ANEXO 18: FOTOGRAFÍAS DE LOS TRANSFORMADORES

TEMA:

Diseño y simulación de un sistema de limpieza y pintura de transformadores.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

“RVR TRANSFORMADORES” es una empresa que se dedica a la fabricación de transformadores para bombas de petróleo, atendiendo al requerimiento de sus clientes.

La principal dificultad es el desperdicio de tiempo provocado por los procesos manuales que actualmente funcionan en la empresa.

Los tanques de los transformadores que se arman en la compañía “RVR Transformadores” al ser construidos con chapa de acero requieren de un buen acabado luego de un proceso de pintura; por lo que se vuelve necesario un procedimiento previo de limpieza que sea eficaz en la eliminación de partículas.

El proceso actual consiste en la limpieza del material por medio de herramientas manuales y lavado químico, las cuales no son completamente eficientes y requieren de un mayor tiempo dedicado por parte de los operarios solamente a la limpieza. En cuanto a la pintura, ésta se realiza también por procedimiento manual, que en muchas ocasiones presenta fallas las cuales son perceptibles cuando se termina el proceso.

Actualmente el proceso completo para la terminación del producto toma mucho tiempo lo que determina un menor número de unidades construidas en los lapsos de trabajo establecidos por la empresa.

JUSTIFICACIÓN

1. La consecución de un número adecuado de unidades terminadas por la empresa, tiene un resultado visible en la parte económica gracias a la entrega a tiempo de la cantidad convenida y de la calidad con la que el producto se presenta; lo que constituye un beneficio a la empresa. Con la futura implementación de este proyecto se podrá alcanzar las metas económicas planteadas por “RVR Transformadores”.
2. Este sistema otorgará a la empresa un mayor nivel de competencia tanto en el número de unidades producidas como en la calidad del mismo. Dado los cambios que está sufriendo la parte industrial en el país, así como un aumento de su diversidad y de los requisitos relativos a la calidad; se pretende adoptar medidas encaminadas al incremento de la productividad por la situación de competencia cada vez más exigente.
3. La empresa cuenta con el espacio adecuado y necesario para la implementación de estos equipos en un futuro mediano y un plan flexible en los ciclos de producción; además se planea capacitar a los obreros en el manejo de estos equipos y mejorar su estado actual de trabajo.

ALCANCE:

- Para la sección de limpieza se plantea diseñar un puente grúa con una capacidad máxima de carga de 2.5 toneladas que permita la movilización de los transformadores con ayuda de un motor con control on – off.
- Para el procedimiento de pintura y posterior curado se diseñará un horno de 5 por 4.5 y por 2.7 metros, con un sistema de traslado sobre rieles. Se determinará además la cantidad de energía requerida para el funcionamiento del mismo.
- Se elaborará planos con todos los detalles mecánicos, que en lo posterior acompañarán el proceso de construcción de esta instalación.
- Se presentará el procedimiento de simulación en software de diseño mecánico, para comparar resultados con la parte analítica.
- Para un adecuado funcionamiento del sistema se desarrollará un manual de mantenimiento.

OBJETIVO GENERAL:

- Diseñar y simular un puente grúa y un horno de pintura con los fenómenos mecánicos y térmicos que se producen en un proceso de traslado, pintado y secado de transformadores.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

1. Presentar un marco teórico que sirva de base y de ayuda para los cálculos que se efectuarán en el desarrollo de este tema; además de incluir la bibliografía adecuada.
2. Seleccionar los materiales adecuados para la parte mecánica y de automatización de los equipos que se encargarán de mover el transformador a través de cada procedimiento en el tiempo necesario.
3. Efectuar cálculos con los conocimientos adquiridos y que se complementan en el diseño del horno de pintura; para la consecución de resultados en el análisis de este proceso.
4. Simular el proceso por medio de software avanzado de diseño mecánico como Sap 2000, Inventor, Solidworks.
5. Determinar el costo que representa a la empresa “RVR Transformadores” la implementación de este sistema.
6. Realizar los planos y esquemas necesarios para la posterior construcción de los elementos.

HIPÓTESIS:

Con la futura implementación de un puente grúa se logrará mover los pesados transformadores desde un punto inicial a través de los distintos tanques que contienen los compuestos químicos que se encargarán de limpiar el metal; ello reducirá el riesgo de que operarios lo realicen manualmente y además ahorrará tiempo en el traslado de los mismos.

Con la consecución de los objetivos planteados se propone reducir el tiempo que se emplea actualmente en terminar cada unidad a la mitad, lo que otorga a la empresa un rédito económico dado el hecho de que el proceso ahorra recurso humano y reduce riesgos en cuanto a seguridad laboral.

MARCO METODOLÓGICO

Para la realización de este proyecto se propone utilizar el método deductivo e inductivo en el manejo de información pertinente a nuestro tema.

MÉTODO DEDUCTIVO

Para la realización de elementos del sistema que requieran nuevos dispositivos o adecuación de los ya existentes para lograr los mismos resultados.

Utilizaremos también el método para discernir y ocupar los sistemas más convenientes de la variedad que pueda haber.

MÉTODO INDUCTIVO

Partiendo de conocimientos generales hacia partes específicas que intervengan en la elaboración del documento y la construcción del sistema en sí.

El uso de este método nos lleva a un estudio de diferentes aspectos importantes en el avance del proyecto como lo es el tiempo y los recursos a utilizar.

MÉTODO CIENTÍFICO

Aplicando el conocimiento cierto por sus principios y causas. Permite demostrar una proposición con la explicación de fenómenos. Este método se basa en la ciencia y en hechos concretos para obtener conclusiones válidas. La observación y la experimentación son el fundamento de este método.

Un procedimiento general del método científico se plantea de esta forma:

- Planteamiento de un tema, fenómeno, acontecimiento o problema.
- Definición del problema y sus características.
- Hipótesis o teoría explicativa de la solución posible.
- Comprobación de la hipótesis, mediante datos, experimentos, etc.
- Análisis de los resultados, sometido a crítica, conclusiones.

GLOSARIO

- **Alma (web):** Parte delgada uniforme de una estructura que une otras partes de un objeto.
- **Arandela (annulus):** Componente circular plano con una perforación concéntrica.
- **ASTM:** Siglas en inglés para la Sociedad Estadounidense para la Prueba de Materiales. (American Society for Testing and Materials).
- **Ventilador (fan):** Mecanismo que transforma la energía eléctrica en mecánica.
- **Deflexión (deflection):** medida lineal de la cantidad de movimiento que produce una estructura sujeta a un momento de flexión, a una fuerza de corte o a un par.
- **Filtro (filter):** un dispositivo o sustancia porosa utilizada como colador para limpieza de fluidos, mediante la remoción de material en suspensión. Elemento restrictivo para un sistema de flujo o fluido; puede ser una malla a la entrada o salida de un ducto o tubería.
- **Módulo de elasticidad de volumen (bulk modulus of elasticity):** relación del esfuerzo a la compresión o a la tensión, igual en tres direcciones mutuamente perpendiculares, en relación con el cambio que produce en volumen.
- **Momento de inercia (moment of inertia):** La suma $\sum mr^2$, en la que **m** es la masa de una partícula del cuerpo y **r** es su distancia perpendicular al eje.
- **Riel (rail):** barra de acero con diferentes secciones transversales que se tienden para formar una vía para vehículos con ruedas bridadas.
- **Remache (rivet):** clavija metálica con un vástago circular y una cabeza con diversas formas.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 RESISTENCIA DE MATERIALES

1.1.1 VIGAS

Las vigas son elementos con forma prismática que pueden abarcar grandes longitudes y desempeñan un papel importante en la ingeniería estructural. Las cargas que éstas soportan, son normalmente perpendiculares a su eje, causando esfuerzos de flexión y corte. Si dichas cargas no están en ángulo recto con el eje de la viga se producirán también cargas axiales.

Las cargas que se encuentran sobre las vigas pueden constituirse en cargas concentradas que se expresan en newtons o libras (con sus múltiplos respectivos); o en cargas distribuidas expresadas en newtons por metro o en libras por pie (pudiendo utilizar también sus múltiplos).

Las vigas se clasifican de acuerdo con la manera en que se encuentran apoyadas. Varios tipos de vigas utilizadas con frecuencia pueden variar sus distancias entre apoyos. La distancia “L” mostrada en las distintas partes de la viga se denomina *el claro*. [...] Estas vigas al involucrar tan solo tres incógnitas pueden ser determinadas empleando métodos estáticos y tales vigas se conocen como *estáticamente determinadas*.¹

1.1.1.1 ESFUERZOS EN VIGAS

Las cargas que se encuentran actuando sobre una viga ocasionan que esta se flexione y forme una curva. En la figura 1.1 se puede apreciar el efecto que produce la aplicación de una carga puntual al extremo de una viga en voladizo.

¹BEER, Ferdinand, JOHNSTON, Russell, DeWOLF, John, Mecánica de materiales, 4ta. Edición, Editorial McGraw-Hill, EE.UU. 2007, p. 308-309.

Al colocar un sistema de ejes coordenados se diferencia el sentido de la fuerza y la curvatura de la viga; esto debido a que las cargas pueden variar en magnitud y sentido.

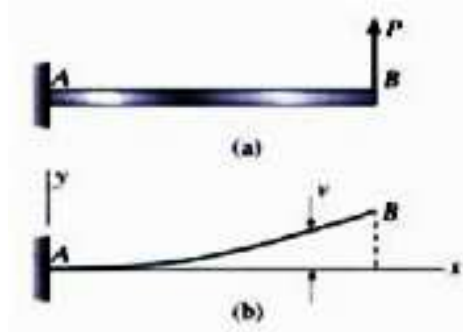


Figura 1. 1: Flexión de una viga en voladizo, a) Viga con carga; b) curva de deflexión.
Fuente: James M. Gere – Mecánica de materiales – 5ta. Edición.

1.1.1.2 FLEXIÓN PURA Y FLEXIÓN NO UNIFORME

Al realizar el análisis de una viga es necesario definir si se trata de flexión pura o flexión no uniforme.

Una viga en la cual actúa un momento flexionante constante está en flexión pura, por el contrario si las fuerzas que se encuentran sobre la viga se desplazan a lo largo de la misma se trata de flexión no uniforme.

La figura 1.2 presenta un ejemplo de vigas en flexión pura.

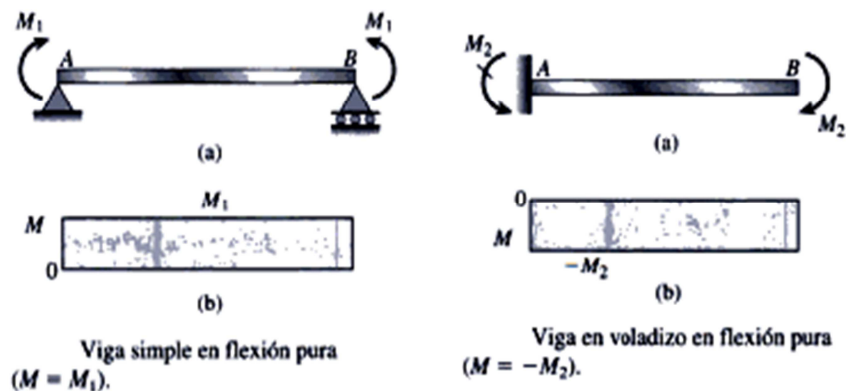


Figura 1. 2: Vigas en flexión pura.
Fuente: James M. Gere – Mecánica de materiales – 5ta. Edición.

1.1.1.3 CURVATURA DE UNA VIGA

Cuando se aplican cargas a una viga, su eje longitudinal adopta la forma de una curva, la cual, tiene un radio que es la medida desde la viga a un punto alejado que marca el centro de ésta curva, creada debido a la flexión.

Una viga permanecerá casi recta si la carga que soporta es pequeña, el radio de curvatura es muy grande y la curvatura es mínima. Del mismo modo si la viga soporta una carga grande, disminuye el radio de curvatura y la flexión por ende será mayor como lo muestra la figura 1.3.

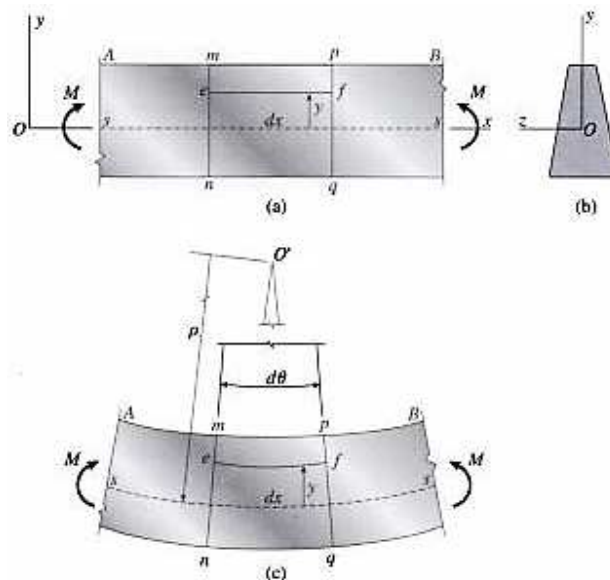


Figura 1. 3: Curvatura de una viga flexionada.

Fuente: James M. Gere – Mecánica de materiales – 5ta. Edición.

La ecuación que se obtiene de las características de una viga flexionada y su proveniencia es la siguiente:

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{d^2x}{dx^2} = -\frac{M}{E.I.}$$

Ecuación 1. 1: Relación entre curvatura y distancia.

En donde:

Θ es el ángulo de rotación del eje de la viga en cualquier punto.

X es la dirección del eje longitudinal de la viga.

M es el momento flexionante.

EI es la rigidez a flexión de la viga.

1.1.2 COLUMNAS

Una columna es un elemento vertical alargado que normalmente cumple con una función estructural.

La misión de las columnas es la de sujetar y soportar las vigas, cerchas u otros elementos que se apoyen sobre ellas, y este tipo de elementos se puede diseñar previendo fallas de modo que los esfuerzos máximos y los desplazamientos máximos permitidos permanezcan dentro de la tolerancia, en tal razón, la rigidez y el pandeo son factores importantes a la hora de proyectar el diseño de una columna.²

1.1.2.1 LONGITUDES EFECTIVAS EN COLUMNAS

Según la rigidez en los soportes de los extremos se determina una longitud efectiva para una columna, en la figura 1.4 se puede observar los tipos de conexiones que puede tener una columna.

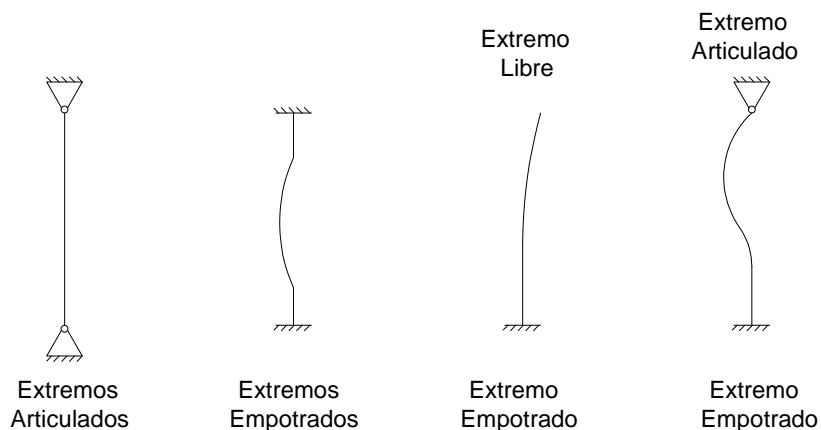


Figura 1. 4: Tipos de junta en los extremos de una columna.

Fuente: Autores.

²GERE, James, Mecánica de materiales, 5ta. Edición, Editorial Thomson Learning, 2002, p. 793.

Dependiendo de la conexión que tenga una columna, se tiene también un mayor o menor riesgo de pandeo, ya que define su capacidad de carga. En la figura 1.5 se muestra valores de “K” que son multiplicados por la longitud real de la columna para el análisis de carga.

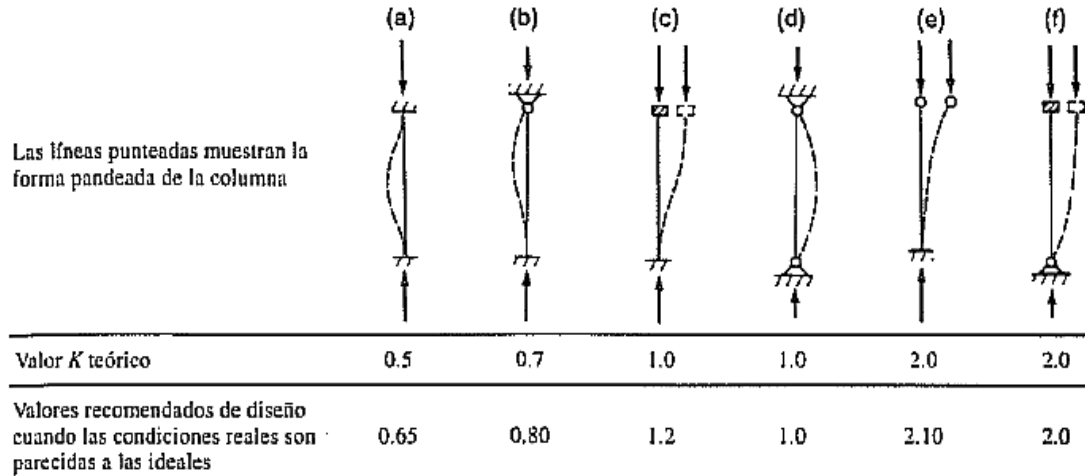


Figura 1. 5: Valores de K de acuerdo a la conexión.

Fuente: Jack C. McCormac - Diseño de estructuras metálicas – 4ta. Edición.

1.1.2.2 PANDEO

Se llama pandeo a la deformación lateral que presenta una columna que se encuentra cargada axialmente. El pandeo es una de las principales causas de falla de una estructura, por lo que un correcto análisis es necesario en el diseño de columnas. Cuando una columna soporta una carga mayor que la carga crítica, cualquier suceso que elimine su estabilidad producirá una flexión excesiva y la columna falla por pandeo. La figura 1.6 presenta formas de pandeo en columnas.

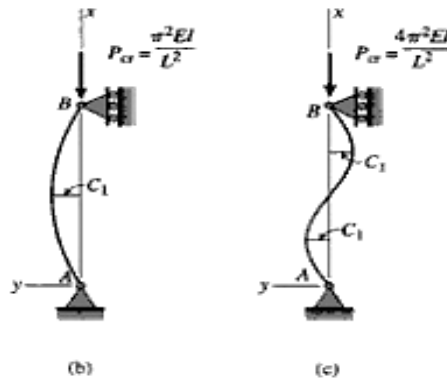


Figura 1. 6: Formas pandeadas de columnas.

Fuente: James M. Gere – Mecánica de materiales – 5ta. Edición.

La ecuación para determinar la carga crítica es:

$$P_{cr} = F_a \times A_g$$

Ecuación 1. 2: Carga máxima que resiste una columna.

En donde:

P_{cr} es la carga crítica (carga que puede hacer fallar a la columna).

F_a es el esfuerzo crítico.

A_g es el área de la sección del perfil.

En los cálculos de columnas se tiene un valor que relaciona la longitud con el radio de giro llamado “*relación de esbeltez*” y depende de las dimensiones de la columna. Los valores característicos de las relaciones de esbeltez para columnas reales están entre 30 y 150.

1.1.2.3 PERFILES ÓPTIMOS DE COLUMNAS

Generalmente los miembros en compresión tienen la misma sección transversal en toda su longitud, por lo que es más común el análisis de columnas prismáticas, sin embargo bajo ciertas consideraciones de diseño y peso se puede obtener otras formas al incrementar el área de la columna en las zonas en que los momentos flexionantes son mayores, ello para poder soportar la carga deseada.

1.2 DISEÑO MECÁNICO

1.2.1 DISEÑO EN LA INGENIERÍA

Las demandas actuales de producción alrededor del mundo hacen que el diseño sea el fundamento de todo lo que se construye o se prevé construir. El ingeniero mecánico está ligado con el estudio de fenómenos que se pueden presentar y para ello depende de un adecuado conocimiento acerca de temas que se complementan y que dan solución a estos eventos.

Los ingenieros mecánicos están relacionados con la producción y procesamiento de energía, las herramientas de transporte y técnicas de automatización. Las destrezas y conocimientos básicos son extensos. Entre las bases disciplinarias están la mecánica de sólidos y fluidos, masa y momento, procesos de manufactura y teoría e información de electricidad. El diseño en la ingeniería mecánica involucra todas las disciplinas de la ingeniería mecánica.³

1.2.2 UNIONES APERNADAS

Los métodos que se utilizan para la unión de piezas es un tema importante en el ámbito del diseño mecánico. Para un diseño de calidad se requiere de un conocimiento de la función que cumple un sujetador y las condiciones bajo las cuales estos trabajarán.

Actualmente han tomado fuerza los proyectos que se realizan con uniones apernadas dado que es mucho más fácil realizar estas conexiones, no necesita personal calificado como en el caso de la soldadura y se tiene una amplia gama de pernos de alta resistencia; han superado además a las conexiones con remaches puesto que un menor número de ellos resisten las mismas cargas.

En realidad es mucho más deseable utilizar apropiadamente uniones apernadas que soldadas, a menos que la estructura lo requiera. Para que estas uniones apernadas brinden un mejor servicio, se recomienda que las juntas delgadas sean preferiblemente tratadas como si estas fueran de rieles para puentes grúa y para ello se hace necesario que en los extremos de las vigas se realicen taladros para el armado posterior.

*“Después de la instalación, las juntas deberían ser reajustadas dentro de treinta días, y cada tres meses en lo posterior”.*⁴

³SHIGLEY, Diseño en Ingeniería Mecánica, 8^{va} Edición, Editorial McGraw-Hill, EE.UU. 2006, p. 11.

⁴Manual AISC (American Institute of Steel Construction), 9^{na} Edición, p. 1-114

1.2.2.1 TENSION EN JUNTAS APERNADAS

Cuando se requiere que una estructura sea lo suficientemente fuerte para soportar cargas externas de tensión y de cortante se puede colocar una junta sencilla, es decir, pernos y arandelas templadas. Para casos en los que la fuerza principal que actúa sobre la junta es de tipo cortante es preferible usar remaches ya que llenan totalmente el espacio del taladro a diferencia de los pernos los cuales dejan un espacio libre entre ellos y el agujero.

La figura 1.7 ilustra el alojamiento de un perno que sujeta dos placas y en ellas se representa las cargas que podría soportar esta junta. Se tiene una fuerza que provoca tensión a la junta y otra que provoca corte.

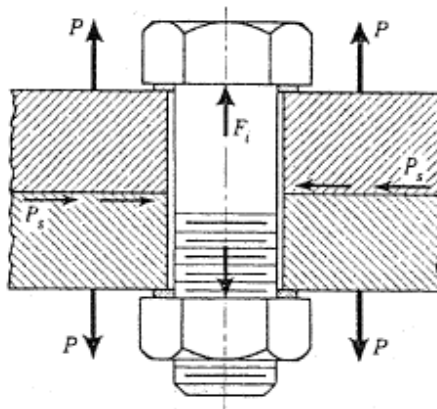


Figura 1. 7: Unión de placas con un perno.
Fuente: Shigley- Diseño en Ingeniería Mecánica.

En casos prácticos puede o no existir el efecto de una fuerza que haga que las placas trabajen en compresión, brindando una mayor resistencia a la carga de tensión.

1.2.3 UNIONES SOLDADAS

En una gran variedad de procesos en la actualidad se considera la unión de piezas por medio de soldadura, ya sea esta directa o con material de aporte. De acuerdo con el diseño preliminar de una estructura se prevé el uso de soldaduras para el montaje.

La denominación de una soldadura, como se muestra en las figura 1.8 y 1.9, se realiza dependiendo de los elementos que va a conectar. En el libro “Diseño de Estructuras Metálicas” de McCormac se explica que si se trata de la unión entre un ángulo y una viga se la designa con la letra A y si la unión es ente vigas o con una columna se la designa con la letra B.

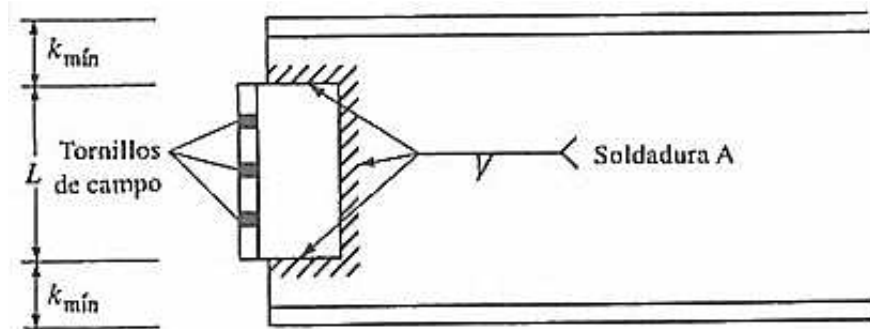


Figura 1. 8: Soldadura de conexión entre ángulo y viga.
Fuente: McCormac- Diseño en Ingeniería Mecánica.

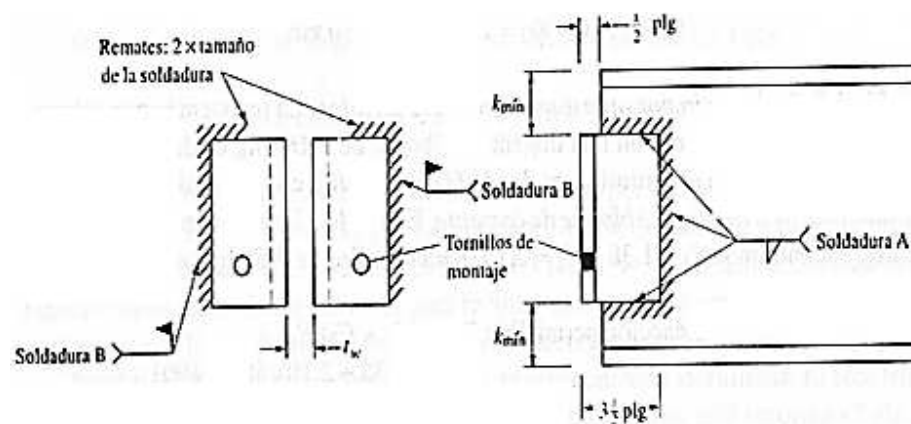


Figura 1. 9: Denominaciones de soldadura.
Fuente: McCormac- Diseño en Ingeniería Mecánica.

Para las conexiones con ángulos se utilizan por lo general ángulos de $4 \times 3\frac{1}{2}$ pulgadas, colocando el de menor medida en el alma de la viga, dejando el lado mayor para conectar con pernos los otros miembros.

Para el cálculo de las resistencias de soldadura el Manual de la AISC (sección 4 - tabla III) presenta una lista para la elección de una soldadura; que el proyectista determina en base al espacio que tiene un perfil de la viga o la columna para colocar un ángulo, y que luego utiliza para saber la cantidad de pernos que requiere el otro miembro, valiéndose de la tabla II en la misma sección.

Esto en el caso de tener una conexión mixta entre los miembros de la estructura.

1.3 MECÁNICA DE FLUIDOS

1.3.1 INTRODUCCIÓN

El estudio de los fluidos es una parte importante en la mecánica, que analiza los fenómenos que se producen con un fluido; ello aprovechando otras ciencias base de la ingeniería moderna como las matemáticas y la física. Los conocimientos adquiridos acerca del comportamiento de un fluido han incidido considerablemente en los avances tecnológicos, gracias a una mejor comprensión de los sucesos en que participa una sustancia líquida o gaseosa.

Los fluidos desempeñan un papel excepcional en la técnica y en primer lugar el agua y el aire, sin el estudio del primero no se puede dar estudio en ingeniería naval, aprovechamiento de la energía hidráulica, etc.; y sin el estudio del aire es imposible la aeronáutica, meteorología, refrigeración y aire acondicionado, control y transmisión neumática, aire comprimido, etc.⁵

Además del estudio de un fluido se integra el estudio de elementos como ventiladores o bombas y sus respectivas fórmulas de cálculo; ello con el afán de poder seleccionar adecuadamente un dispositivo que cumpla con los requerimientos de traslado de ese fluido.

⁵MATAIX, Claudio, Mecánica de Fluidos, 2^{da} Edición, Ediciones del Castillo, Madrid – España 1993, p. 1.

1.3.2 MÁQUINAS HIDRÁULICAS

Por principio una máquina es un dispositivo que transforma la energía. Una máquina por sí misma no puede generar energía, pero al recibirla de algún modo esta la puede transformar y restituir para cumplir con un propósito, ya sea que se trate de energía eléctrica, mecánica, solar, eólica, etc.

Las bombas y los ventiladores se clasifican como turbomáquinas generadoras, para líquidos y para gases respectivamente.

Las fórmulas de cálculo para bombas pueden ser consideradas y aplicadas para ventiladores, pero hay que hacer ciertas consideraciones con respecto a la densidad del gas que se está tratando, esto debido a la compresibilidad del fluido, ya que los líquidos son considerados incompresibles o poco compresibles y los gases muy compresibles.

Para que el análisis de un ventilador sea similar al de una bomba, se debe considerar que el gas es incompresible o que la diferencia de presión al entrar al ventilador y al salir de éste es mínima; en caso contrario no se podrá hacer uso de las fórmulas definidas para bombas.

Un “*ventilador*” es una turbomáquina que transmite energía a un gas en un proceso que aumenta la presión pero que puede considerarse como despreciable. Este dispositivo tiene por objeto empujar al fluido para enviarlo en una dirección deseada.

Para ventilación de salas de trabajo y reuniones, así como de minas, túneles y barcos; para exhalación de humos, aire con alto contenido de polvo; para el secado en procesos industriales; para la refrigeración y acondicionamiento de aire, etc., se necesitan grandes caudales de aire, pero con frecuencia las presiones son relativamente pequeñas. Por tanto las máquinas para este tipo de servicios se calculan como ventiladores, sin tener en cuenta la compresibilidad del gas y por tanto sin tener en cuenta la variación de la densidad y volumen específico.⁶

⁶MATAIX, Claudio, Op. Cit. p. 424.

1.3.3 CLASIFICACIÓN

Clasificación según la presión desarrollada

- Ventiladores de baja presión: presión desarrollada menor a 10 mbar.
- Ventiladores de media presión: presión desarrollada mayor a 10 mbar y menor a 30 mbar.
- Ventiladores de alta presión: presión desarrollada mayor a 30 mbar y menor a 100 mbar. (En éstos el efecto de la compresibilidad ya es apreciable).

Clasificación según la dirección de flujo

- Ventiladores Centrífugos: se adaptan a los tres tipos mencionados (baja, media y alta presión).
- Ventiladores Axiales: Su rendimiento es elevado; 80%, gracias a que los ocho álabes de que consta su rodete están diseñados como perfil de ala de avión.

En la figura 1.10 se aprecia la relación que existe entre la presión y el caudal que brindan los distintos ventiladores y es una buena referencia para escoger un ventilador de acuerdo al trabajo que realizará.

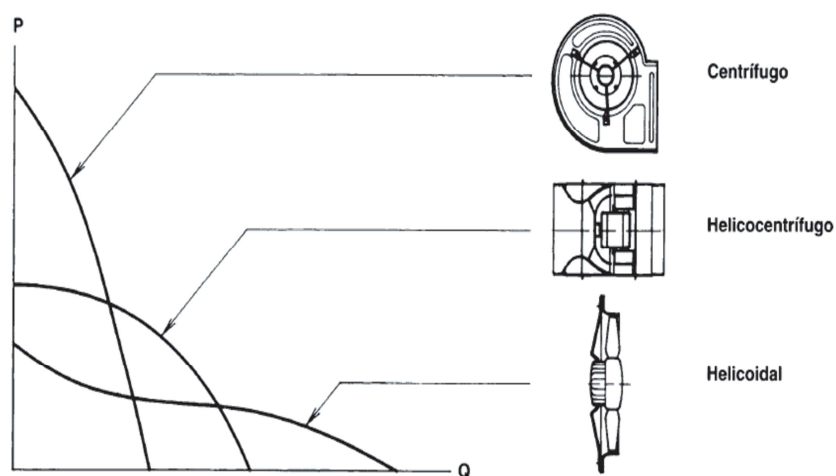


Figura 1. 10: Relación presión - caudal entre ventiladores.

Fuente: Manual Práctico de Ventilación – Salvador Escoda S.A. – 2da. Edición.

Es necesario destacar que las curvas presentadas son para un mismo diámetro de rodete.

Una ventaja de trabajar con ventiladores es que se descarta el riesgo de cavitación ya que este fenómeno es exclusivo de los líquidos.

Para incurrir ya en los cálculos con gases es necesario determinar su densidad, a partir de parámetros como la presión y la temperatura utilizada en la ecuación de los gases perfectos que es:

$$\rho = \frac{P}{Ra \cdot T}$$

Ecuación 1. 3: Relación para determinar la densidad de un fluido.

Dónde:

P es presión absoluta en $\frac{N}{m^2}$, SI.

Ra es la constante particular del gas dado en $\frac{J}{kg \cdot K}$, SI.

T es la temperatura absoluta en K, SI.

Particularmente los gases que son impulsados por ventiladores se acercan bastante a los casos reales en que se hace uso de esta ecuación.

1.3.4 PUNTO DE OPERACIÓN

La curva característica de un ventilador es independiente de la curva de un sistema y puede ajustarse a ella; además depende solamente del ventilador y la única forma de variarla es cuando la velocidad de rotación cambia.

Para un sistema cualquiera se realiza un análisis de las condiciones en que éste funcionará, es decir, la relación entre la pérdida de carga y el caudal requerido. Esta curva es de gran utilidad al momento de seleccionar un ventilador y al superponerla con la curva característica de un ventilador se ubica el punto de trabajo.

Inicialmente se hace un estudio para una sola condición del sistema en la que se conoce la presión y el caudal, pero para crear la curva se necesita de una serie de valores.

Se sabe que la pérdida de carga varía proporcionalmente con el cuadrado del caudal y el autor Salvador Escoda en su libro “Manual Práctico de Ventilación” presenta una ecuación para determinar los valores de P y Q y señala: “una vez encontrada la pérdida de carga inicial P_1 , a un determinado caudal Q_1 ; bastará superponer un segundo caudal y reemplazar en la fórmula”.⁷

$$P_2 = P_1 * \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^2$$

Ecuación 1. 4: Cálculo de presión utilizando relación de caudales.

Uniando todos los puntos se obtendrá la curva del sistema en intersección con la del ventilador, figura 1.11. La curva será similar a ésta:

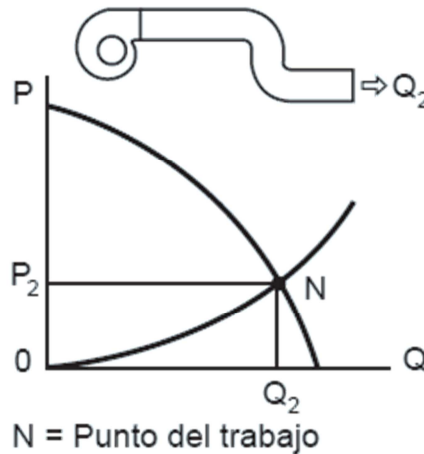


Figura 1. 11: Punto de Operación de un ventilador.

Fuente: Manual Práctico de Ventilación – Salvador Escoda S.A. – 2da. Edición.

1.3.5 PÉRDIDAS EN CONDUCTOS

Para el transporte de un fluido se hace necesario el uso de conductos ya sean abiertos como acueductos, canales de riego, etc., o cerrados como tuberías o ductos.

⁷ESCODA, Salvador, Manual Práctico de ventilación, 2^{da} Edición, Editorial S&P, Barcelona – España, p. 56.

La resistencia que presenta un conducto debido a: la fricción entre el fluido y la superficie en contacto con él, o entre las partículas del mismo fluido; hace que se tenga pérdidas de tipo primario, ya sea en flujo laminar o turbulento respectivamente.

Las pérdidas que se producen debido a los accesorios que componen el sistema, son de tipo secundario. En ocasiones en las que el conducto es largo las pérdidas secundarias podrían ser despreciadas o en su defecto se podría sumar hasta un 10 por ciento de las pérdidas primarias.

1.3.5.1 EL DIAGRAMA DE MOODY

Para cálculos de pérdidas es muy común el uso del diagrama de Moody, que muestra una serie de curvas que relacionan el número de Reynolds y la rugosidad relativa para la determinación de un factor de fricción.

El diagrama de Moody:

- Resuelve todos los problemas de pérdidas de carga primarias en tuberías con cualquier diámetro, cualquier material de tubería y cualquier caudal.
- Puede emplearse con tuberías de sección no circular sustituyendo el diámetro D por el radio hidráulico R_h .
- Se usa para determinar el coeficiente λ , el cual luego se lleva a la ecuación de Darcy-Weisbach⁸.

1.3.5.2 ECUACIÓN DE DARCY – WEISBACH

La ecuación de Darcy-Weisbach es una expresión que determina la pérdida de carga en un conducto, valiéndose de los valores de velocidad media en la tubería, su longitud y su diámetro. Para conductos que no son de tipo circular se considera un radio hidráulico y luego se lo incluye en la ecuación. La expresión es la siguiente:

⁸MATAIX, Claudio, Op. Cit. p. 207.

$$H_{rp} = \lambda * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 1. 5: Cálculo de pérdida de carga primaria.

Dónde:

H_{rp} → Pérdida de carga primaria.

λ → Coeficiente de pérdida de carga primaria.

L → Longitud de la tubería.

D → Diámetro de la tubería.

v → Velocidad media del fluido.

1.3.5.3 EL RADIO HIDRÁULICO

Cuando se trata de conductos de sección transversal no circular se introduce un parámetro llamado “*radio hidráulico*”. Para este caso, sea que se trate de conductos abiertos o cerrados, se trabaja con el perímetro mojado; que no es más que la línea transversal de contacto con el fluido.

Entonces el radio hidráulico es la relación entre el área transversal y el perímetro mojado en el conducto y su ecuación es:

$$R_h = \frac{\text{área transversal}}{\text{perímetro mojado}}$$

$$R_h = \frac{\pi D^2}{4\pi D} = \frac{D}{4}$$

$$D = 4R_h$$

El radio hidráulico de una sección rectangular es:

$$\frac{ab}{2(a+b)} \quad \text{Donde: a y b son sus respectivos lados.}$$

El procedimiento para calcular las pérdidas es el siguiente:

(Al tratarse de una tubería no circular sustitúyase D por $4R_h$)

1. Según el material de la tubería se toma el valor de k .
2. Se calcula la rugosidad relativa k/D .
3. Se calcula el número de Reynolds $= v \cdot D/\nu$.
4. Se lee λ en el diagrama de Moody.
5. Este valor de λ se lleva a la ecuación de Darcy-Weisbach.

1.3.6 PRESIÓN EN CONDUCTOS

Un ventilador por general es instalado para que cumpla con una función de descarga libre o para un conducto. En el primer caso se lo coloca únicamente en el local que requiere ventilación, pero si se trata de un conducto o sistema de conductos se necesita una fuerza que venza la resistencia de dicho ducto e impulse el aire a través de él.

Cuando se trabaja con ductos se tiene tres tipos de presión: estática, dinámica y total.

Presión estática (P_e): Es la presión que actúa perpendicular a cualquier parte del ducto, con la misma magnitud dentro del ducto medida en mm.c.a. ó plg.c.a.

Presión dinámica (P_d): Es la que acelera el aire desde cero hasta la velocidad de régimen dentro del ducto. Se manifiesta sólo en la dirección del aire y va relacionada con la velocidad del mismo. Con esta se calcula la caída de presión en los accesorios tales como filtros, codos, etc. Esta presión es igual a $(1/2) \cdot \rho \cdot v^2$; siendo ρ la densidad del aire y v la velocidad.

Presión total (P_t): Es la suma de las presiones estática y dinámica.⁹

⁹ESCODA, Salvador, Op. Cit. p. 4.

La figura 1.12 muestra cómo actúan las presiones dinámica y estática dentro de un conducto.

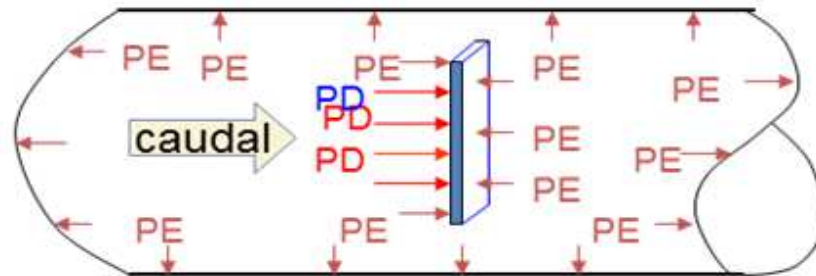


Figura 1. 12: Presión al interior de un ducto.

Fuente: Manual Práctico de Ventilación – Salvador Escoda S.A. – 2da. Edición.

1.4 TERMODINÁMICA

1.4.1 SISTEMAS DE FLUJO ESTABLE

En ingeniería mecánica se estudia varios dispositivos que pueden trabajar con las mismas condiciones durante mucho tiempo, luego del periodo inicial en que éstas se establecen. Turbinas, compresores, toberas, entre otros responden a este tipo de procesos que son denominados como de “*flujo estable*”, en los cuales un fluido pasa a través de un volumen de control y se mantiene estable. En este proceso el fluido mantiene constantes sus propiedades dentro del volumen de control pero pueden cambiar del punto de entrada al de salida como se aprecia en la figura 1.13.

Durante un proceso de flujo estable ninguna propiedad intensiva o extensiva dentro del volumen de control cambia con el tiempo. De modo que el volumen V , la masa m y el contenido total de energía \dot{E} del volumen de control permanecen constantes durante un proceso de flujo estable.¹⁰

¹⁰CENGEL, Yunus y BOLES, Michael, Termodinámica, 5^{ta} Edición, EE.UU., p. 230.

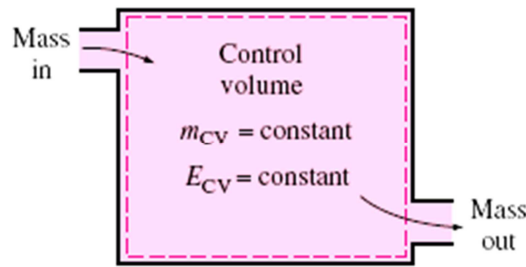


Figura 1. 13: Contenidos de masa y energía permanecen constantes en condiciones de flujo estable.
Fuente: Termodinámica – Yunus A. Cengel – 5ta. Edición.

El balance de masa para un sistema de flujo estable se lo puede expresar en forma de tasa como:

$$\dot{m}_{entra} = \dot{m}_{sale} \quad (kg/s)$$

La energía que ingresa a un volumen de control puede ser únicamente como calor, trabajo o masa y con el principio de conservación de la energía se tiene que el volumen de control transfiere hacia el exterior la misma cantidad que recibe de energía.

Se puede establecer una relación de este modo:

$$\dot{E}_{entra} - \dot{E}_{sale} = \Delta \dot{E}_{sistema\ estable} = 0$$

$$\dot{E}_{entra} = \dot{E}_{sale} \quad (kW)$$

1.4.2 FLUJO EN TUBERÍAS Y DUCTOS

En fluidos que atraviesan una tubería con frecuencia se tiene condiciones de flujo estable, lo cual facilita su análisis; para ello se considera que el fluido se encuentra transitando el ducto o tubería y se excluyen los arranques y paros en el sistema.

Para el estudio del volumen de control se definen los límites del mismo en el espacio que interesa analizar. Algunas veces se requiere que el fluido gane calor y en otras que lo pierda y suele ocurrir en ductos o tuberías de gran longitud como en los intercambiadores de calor; los cuales son diseñados con este propósito.

En la figura 1.14 se observa el calor perdido a través de las paredes.

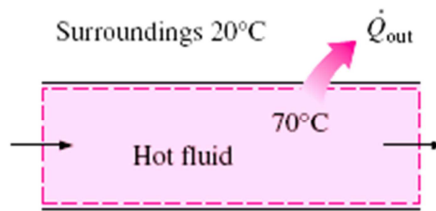


Figura 1. 14: Pérdida de calor hacia los alrededores.
Fuente: Termodinámica – Yunus A. Cengel – 5ta. Edición.

Existen casos en los cuales la transferencia de calor no es deseable y para evitarlo se trata de aislar los ductos o los sistemas. Esto sucede en cuartos de refrigeración en donde se evita la ganancia de calor o por el contrario en hornos donde el propósito es evitar la pérdida de calor.

Si el volumen de control tiene una sección de calentamiento (como alambres eléctricos) y un ventilador o bomba, las interacciones de trabajo se deben tomar en cuenta. De éstas sin embargo el trabajo del ventilador por lo general es pequeño y se considera despreciable para el análisis de energía.

La energía cinética involucrada en el flujo por tuberías es mínima y puede no ser tomada en cuenta para el análisis; sucede con frecuencia en tuberías de sección constante.

La energía potencial en cambio podría ser significativa si la diferencia de elevación es considerable.

1.5 TRANSFERENCIA DE CALOR

1.5.1 TRANSFERENCIA DE CALOR EN LA INGENIERÍA

Los procesos de intercambio de energía que tienen lugar entre dos cuerpos debido a la diferencia de temperatura, son los que la transferencia de calor trata de resolver a través de una razón de intercambio. En la parte termodinámica se conoce a esta transferencia como calor, del cual es necesario el estudio íntegro de su naturaleza.

En ingeniería muchas veces el análisis termodinámico no satisface a incógnitas como la rapidez con la que ocurre el intercambio de calor para tener el sistema en equilibrio, pero la transferencia de calor complementa este análisis y permite resolver tales situaciones.

*“Para propósitos de ingeniería es necesario’ comenzar el estudio con información básica acerca de unos cuantos fenómenos. Las fases de una sustancia simple, sólida, líquida y gaseosa, están asociadas con su contenido de energía”.*¹¹

Actualmente se cuenta con muchos dispositivos en los que el estudio de la transferencia de calor es imprescindible. Equipos tales como calderas, condensadores, radiadores, hornos, intercambiadores de calor, refrigeradores y más; toman en cuenta éste análisis para su diseño.

Muchos de estos procesos en ingeniería son analizados en forma experimental o analítica. En la primera se realiza pruebas y mediciones y en la segunda suposiciones y cálculos.

El procedimiento experimental tiene la ventaja de trabajar con sistemas físicos reales, sin embargo es costoso y tardado; mientras que un procedimiento analítico es rápido y barato pero se ajusta a la exactitud de las suposiciones.

Los tres modos de transferir calor son: conducción, convección y radiación.

1.5.2 BALANCE DE ENERGÍA EN UNA SUPERFICIE

Con frecuencia se puede aplicar el requerimiento de conservación de la energía a una superficie. En este caso especial la superficie de control no incluye masa o volumen y el requerimiento de conservación de la energía se convierte en:

$$E_{ent} - E_{sale} = 0$$

¹¹KERN, Donald, Procesos de transferencia de calor, 1^{ra} Edición, Editorial Continental, NY- EE.UU., p. 13

“Aunque la generación de energía térmica ocurriera en el medio, el proceso no afectaría el balance de energía en la superficie de control. Además este requerimiento de conservación es válido para las condiciones de estado estable y transitorio.”¹²

Tomando en cuenta las tres formas de transferir el calor el balance de energía se puede expresar como:

$$q_{cond} - q_{conv} - q_{rad} = 0$$

1.5.3 CONDUCCIÓN

La transferencia de calor por conducción se produce en un cuerpo o cuerpos que se encuentran juntos como una placa o una pared y desde las regiones con mayor temperatura el calor se traslada a las de menor temperatura. La dirección de flujo de calor es perpendicular a la superficie de la pared cuando se tiene cuerpos homogéneos.

La expresión que determina la transferencia de calor por conducción es:

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x}$$

El término dt/dx que representa el gradiente de temperatura es negativo puesto que se supone la temperatura más alta en la cara de la pared donde la coordenada “x” es cero.

La constante de proporcionalidad “k” es conocida como “conductividad térmica” y “A” se refiere al área en estudio.

1.5.3.1 PARED PLANA

En la conducción unidimensional el calor se transfiere únicamente en función de la coordenada “x”. En casos donde una pared plana separa dos fluidos la transferencia de calor se produce por convección entre el fluido y la pared, luego por conducción a través de la pared y nuevamente por convección hacia el otro fluido.

¹²INKROPERA, Transferencia de calor. 2^{da} Edición, Editorial Continental, EE.UU., p. 20

Para el análisis de una pared compuesta se define una ecuación con parámetros como el espesor de la pared Δx , y las temperaturas al inicio y al final de la pared T_1 y T_2 .

$$q = -\frac{kA}{\Delta x}(T_2 - T_1)$$

En la figura 1.15 se tiene un esquema de una pared compuesta con un perfil de temperaturas y su analogía con un sistema de resistencias eléctricas.

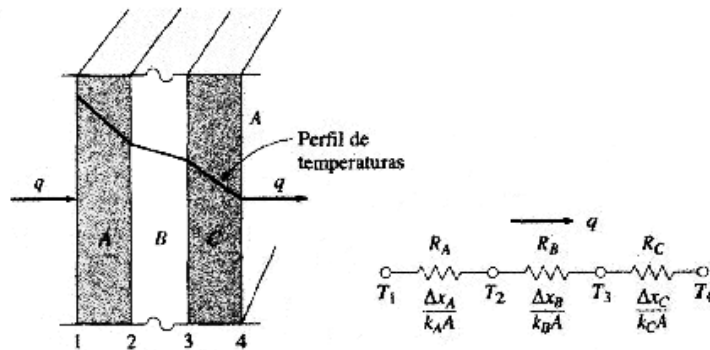


Figura 1. 15: Transferencia de calor unidimensional a través de una pared compuesta y su analogía eléctrica.

Fuente: Transferencia de calor – J. P. Holman – 8va. Edición.

Resolviendo una pared compuesta de tres partes se tiene tres ecuaciones simultáneamente, y el flujo de calor se puede expresar como:

$$q = \frac{T_1 - T_4}{\frac{\Delta x_A}{k_A A} + \frac{\Delta x_B}{k_B A} + \frac{\Delta x_C}{k_C A}}$$

La rapidez de la transferencia de calor puede considerarse como un flujo, y la combinación de la conductividad térmica, el espesor del material y el área, como una resistencia a dicho flujo. La temperatura es la función potencial, o motriz, del flujo de calor, y la ecuación de Fourier se puede escribir como:

$$\text{Flujo de calor} = \frac{\text{diferencia de potencial térmico}}{\text{resistencia térmica}}$$

Relación bastante parecida a la ley de Ohm de la teoría de circuitos eléctricos.¹³

¹³HOLMAN, J. P., Transferencia de calor, 8^{va} Edición, McGraw-Hill, EE.UU., p. 18

1.5.4 CONVECCIÓN

La transferencia de calor por convección se relaciona con la dinámica de fluidos y se clasifica en convección natural y convección forzada. Es conocido que un elemento caliente puede enfriarse más rápidamente en presencia de un ventilador que si se expusiera al aire en calma; entonces para que esta convección sea natural o forzada depende del modo en que inicia el movimiento del fluido.

En este tema es de mucha importancia la determinación de un coeficiente convectivo “ h ” y especialmente en sistemas de convección forzada para definir el flujo de calor desde la superficie caliente hacia el fluido en movimiento.

La ley de Newton del enfriamiento que expresa el efecto global de convección es:

$$q = hA(t_s - t_\infty)$$

El estudio de los coeficientes de película es de gran interés en este tipo de transferencia de calor puesto que se necesita los promedios de temperatura.

1.5.5 FLUJO ALREDEDOR DE CILINDROS

Con mucha frecuencia se presenta un interés por el estudio de un fluido que atraviesa un cilindro internamente, pero también se debe prestar la misma atención en casos en los que el fluido atraviesa a un tubo o banco de tubo externamente.

Los análisis se realizan con las características de la capa límite. En algunos intercambiadores con banco de tubos se experimenta una caída de presión y no es posible calcularla con un solo tubo ya que existe una gran cantidad de interacciones con varios tubos. Este gradiente de presión influye en la región de corriente desprendida que se produce en la parte posterior del cilindro cuando la velocidad de la corriente es significativa.

En la figura 1.16 se muestra el fenómeno que se produce con una corriente transversal a un cilindro que se separa en la parte trasera.

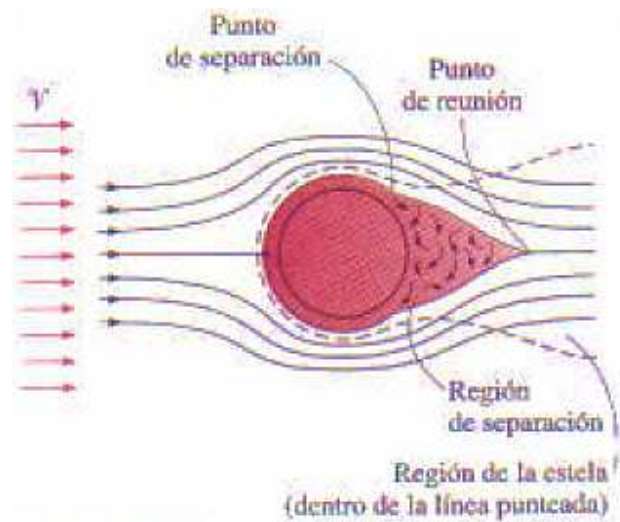


Figura 1. 16: Flujo transversal a un cilindro.

Fuente: Transferencia de calor –Yunus Cengel – 8va. Edición.

“Se puede pensar que las partículas de fluido tienden a acelerarse cuando pasan alrededor de la porción delantera del cilindro y luego a desacelerarse cuando pasan alrededor de la porción trasera. Esto da por resultado una presión creciente en la porción delantera y una porción decreciente en la trasera.”¹⁴

Cuando el gradiente de velocidad en la superficie se hace cero, se dice que la corriente ha alcanzado un punto de separación, se observa un diagrama de velocidades como el de la figura 1.17.

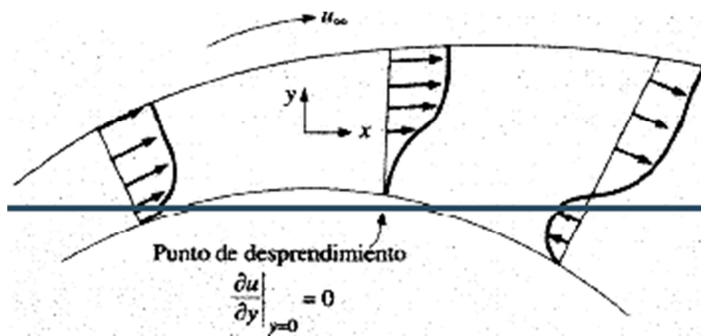


Figura 1. 17: Distribución de velocidades indicando el desprendimiento de la corriente en el flujo transversal a un cilindro.

Fuente: Transferencia de calor – J. P. Holman – 8va. Edición.

¹⁴KARLEKAR B. y DESMOND R., Transferencia de calor, 2^{da} Edición, Editorial McGraw-Hill, NY – EE.UU., p. 449.

Esto muestra que el fluido luego de pasar el cilindro se vuelve turbulento y con movimiento aleatorio. Se tienen coeficientes de resistencia relacionados con el número de Reynolds como se muestra en la figura 1.18.

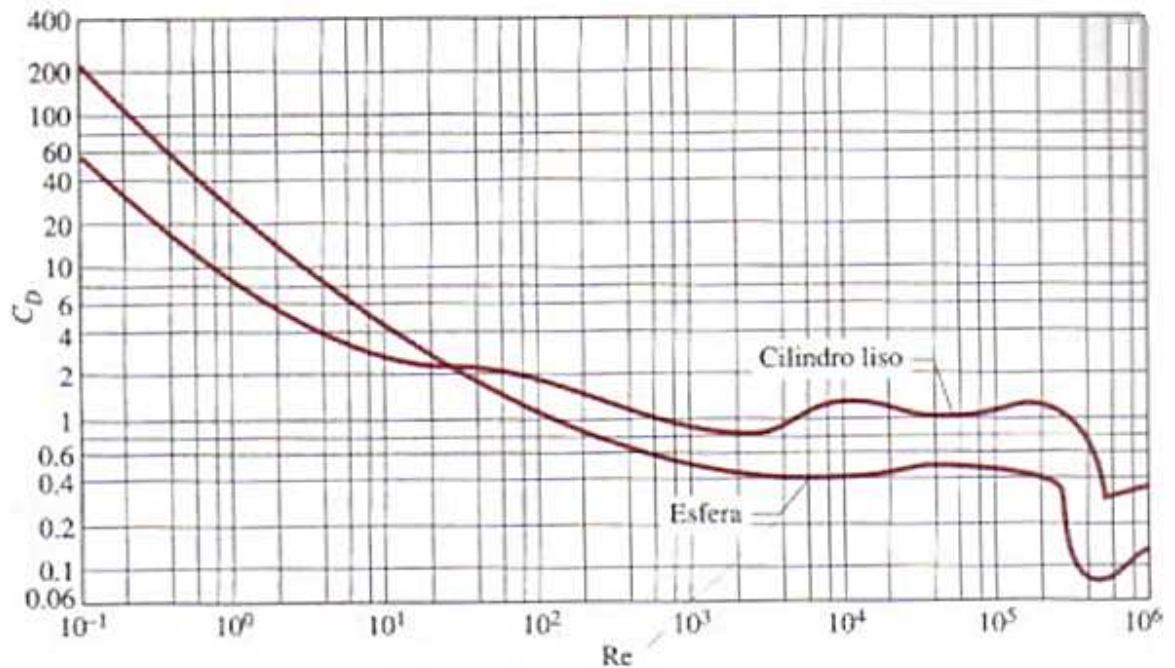


Figura 1. 18: Coeficiente de resistencia para cilindros circulares en función del número de Reynolds.
Fuente: Transferencia de calor – J. P. Holman – 8va. Edición.

La resistencia que presenta el cilindro es el resultado de la fricción llamada resistencia de presión.

Además del número de Reynolds, la determinación del número de Prandtl es de suma importancia para la elección de las correlaciones de Nusselt que resuelven analíticamente un con la ecuación más adecuada un cierto planteamiento.

A causa de la compleja naturaleza de los procesos de separación de la corriente, no es posible calcular analíticamente los coeficientes medios de transferencia de calor en flujo transversal; sin embargo, las correlaciones de los datos experimentales para gases indican que los coeficientes medios de transferencia de calor en corriente alrededor de cilindros puede calcularse a partir de:

$$\frac{hd}{k_f} = C * \left(\frac{u_\infty d}{\nu_f}\right)^n * Pr_f^{1/3}$$

Donde las constantes C y n están tabuladas en la tabla 1. Las propiedades que se utilizan en la fórmula se evalúan a la temperatura de película y se indica mediante el subíndice f.

Tabla 1: Constantes para la ecuación anterior.

Re_{df}	C	n
0,4-4	0,989	0,330
4-40	0,911	0,385
40-4.000	0,683	0,466
4.000-40.000	0,193	0,618
40.000-400.000	0,0266	0,805

Fuente: Transferencia de calor – J. P. Holman – 8va. Edición.

La figura 1.19 muestra el campo de temperaturas alrededor de cilindros calientes situados en una corriente de aire transversal. Las líneas oscuras son líneas de temperatura constante, visibles por el uso de un interferómetro. Obsérvese la región de corriente desprendida que se desarrolla en la parte posterior del cilindro a números de Reynolds más altos y el campo turbulento que está presente en esta región.¹⁵

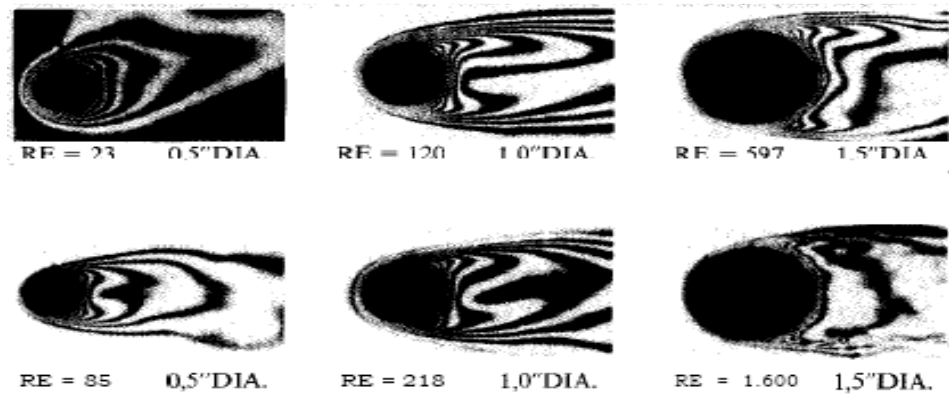


Figura 1. 19: Interferograma que muestra las isothermas alrededor de cilindros horizontales calientes situados en una corriente de aire transversal.

Fuente: Transferencia de calor – J. P. Holman – 8va. Edición

¹⁵HOLMAN, J. P., Op. Cit., p. 208.

INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DEL PUENTE GRÚA Y EL HORNO DE PINTURA

PROCESO DE LIMPIEZA

Para el proceso de limpieza de los transformadores se considera el paso de los mismos por cuatro reservorios de compuestos químicos diferentes que provocan una reacción en el metal y que desprenden una fina capa de herrín (llamada también calamina), que se encuentra localizada en la superficie de planchas laminadas en caliente.

Este herrín es perjudicial para la aplicación de recubrimientos anticorrosivos (pinturas, bases adhesivas, etc.); el proceso de limpieza a su paso por el puente grúa que se plantea diseñar se detalla a continuación:

- Ajuste de cables y estribos en elementos de izado.
- Inmersión del transformador en el reservorio de ácido clorhídrico con la ayuda del sistema de puente grúa, el cual actúa por 20 minutos.
- Extracción del reservorio, se deja fluir los excesos de ácido que se encuentran en el interior del transformador.
- Inmersión en el reservorio de agua para lavar ácido restante.
- Extracción del reservorio de lavado.
- Inmersión en el reservorio de fosfatizado, dejando actuar 5 minutos.
- Extracción del reservorio de fosfatizado.
- Inmersión en el reservorio de sellado.
- Extracción del reservorio de sellado hasta que se escurra todo el líquido.¹⁶

¹⁶ Procedimiento de limpieza de transformadores, Manual RVR TRANSFORMADORES, 2010.

Las operaciones de inmersión y extracción se las realiza con la ayuda del puente grúa ya que el peso del transformador con los diversos fluidos en su interior, se calculan en alrededor de 2 toneladas.

Tras su paso por el puente grúa, el transformador deberá ingresar a un horno de pintura apropiado, que se diseñará con las condiciones ideales para la fase de pintado y para la de secado.

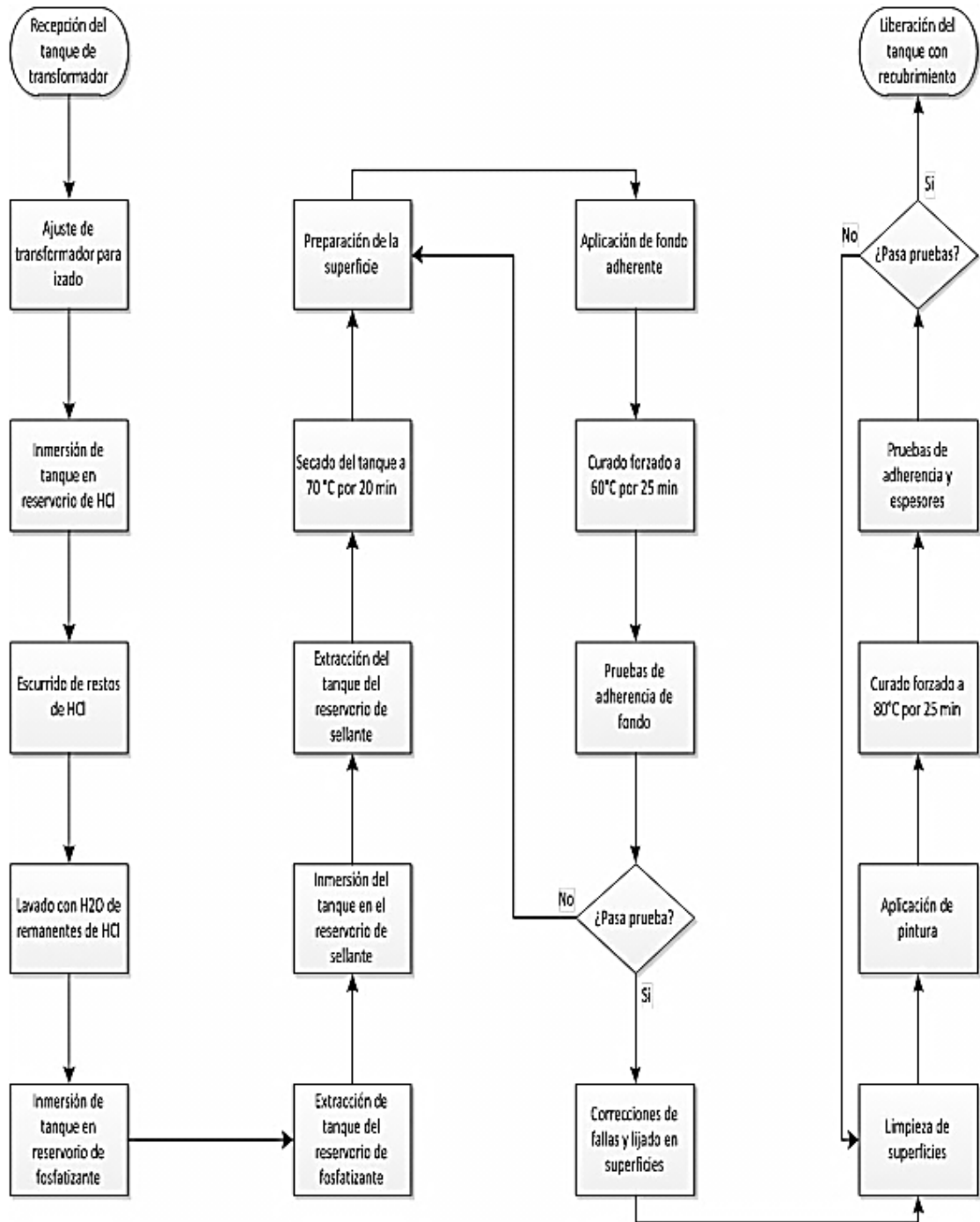
Tales condiciones se detallan a continuación:

- Ingreso del transformador al horno de pintura.
- Secado de tanque metálico a temperatura de 50 °C por 20 minutos.
- Aplicación de fondo adherente.
- Aplicación de pintura con ambiente controlado a 20 °C.
- Curado Forzado a 60 °C por 25 minutos.¹⁷

Todas las operaciones se realizan dentro de cabina multipropósito, culminado el proceso se libera el tanque de transformador y pasa a la sección de ensamble.

¹⁷ Procedimiento de pintura de transformadores, Manual RVR TRANSFORMADORES, 2010.

FLUJOGRAMA



ESQUEMA DEL PROCESO DE LIMPIEZA Y PINTURA

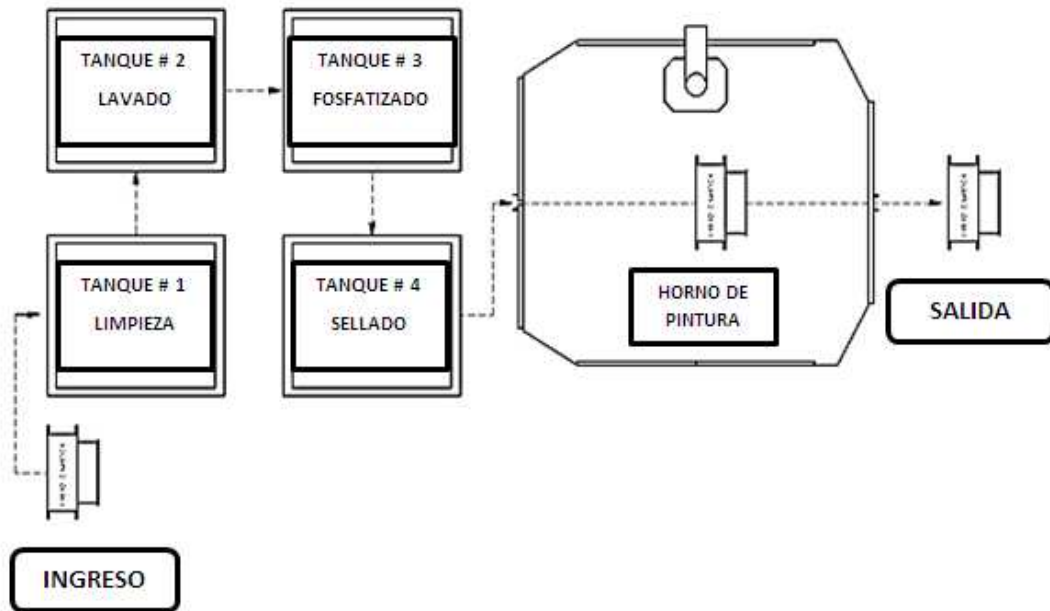


Figura i. 1: Esquema general del proceso de limpieza y pintura.
Fuente: Autores.

Conforme al alcance planteado, se diseñará un puente grúa y un horno de pintura, que satisfagan los requerimientos para este proceso; iniciando con los principales fundamentos teóricos presentados en el capítulo I.

CAPÍTULO II

DISEÑO DEL PUENTE GRÚA

2.1 PUENTES GRÚA

Los puentes grúa son el conjunto de elementos mecánicos que facilitan el levantamiento de objetos con masas, medias y grandes, para su posterior traslado o movilización de un punto a otro en una planta industrial.

Con frecuencia, se los utiliza en procesos que implican almacenamiento, o bien, en todo lo relativo a la fabricación.

2.2 ESPECIFICACIONES

Para realizar el diseño del puente grúa se debe definir el espacio que éste ocupará en la planta. Para este caso particular se requiere una longitud máxima de 9 metros por 9 metros de distancia transversal. Para la altura se considera la máxima dimensión de un transformador más el espacio entre su base y la superficie superior de las piscinas de limpieza y un espacio estimado entre el polipasto y su parte superior; esto es 4 metros.

Dado el hecho de la construcción un puente grúa desmontable se ha pensado en dejar algunas de las uniones como apernadas en el caso entre vigas y columnas; y otras como soldadas como en el caso de las columnas y las placas base.

El puente contará con tres pares de columnas, es decir, ubicadas en los extremos y en el centro del espacio delimitado. En su parte inferior cada columna tendrá una unión soldada con una placa base colocada hacia el piso en los pernos previamente empotrados. Las dos rieles acopladas a lo largo del puente (una en cada lado) servirán como vigas para el soporte del carro principal el cual consiste en una viga que albergará el polipasto.

Entonces se puede apreciar el esquema de este puente en la figura 2.1.

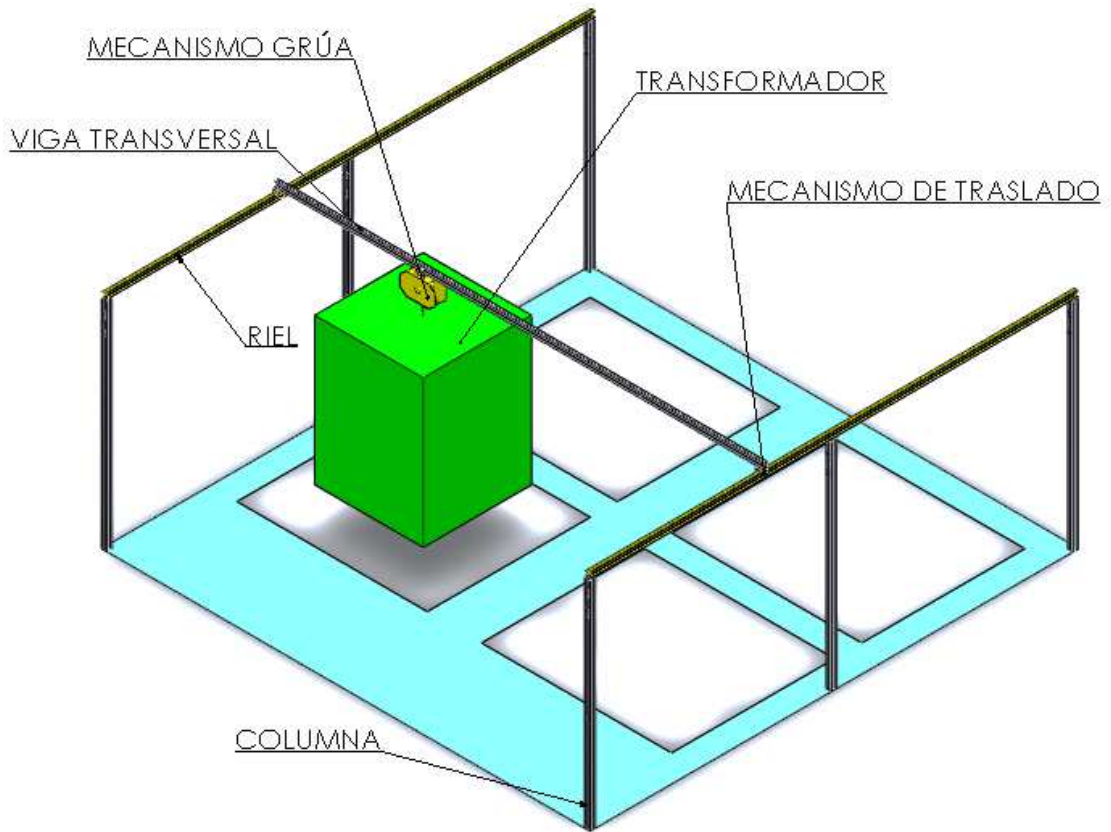


Figura 2. 2: Esquema general del puente grúa.

Fuente: Autores.

El análisis del puente grúa consiste en verificar que los elementos puedan resistir las cargas máximas planteadas para este proceso, es decir, el peso del transformador con las mayores dimensiones que se fabrique en la planta junto con la consideración del líquido interior al salir de un piscina; además de ello se debe tomar en cuenta el peso propio de los elementos que componen el puente grúa que aunque en menores proporciones también transmiten una carga.

La planta cuenta actualmente con un polipasto que soporta una carga de hasta 2.5 toneladas; lo cual es suficiente puesto que el mayor peso que se tiene considerado

levantar y trasladar es de 2 toneladas y en la planta no se piensa incurrir en el gasto de otro mecanismo grúa que satisfaga esta carga sino darle uso al ya adquirido.

Entonces, la riel transversal o carro del puente grúa debe soportar el peso del transformador y del polipasto. Se trata de una carga móvil por ende su estudio será realizado en el lugar más crítico de la viga, esto es en su centro.

Luego será necesario el estudio de los rieles longitudinales, o testeros; del mismo modo que con el carro y con similares consideraciones. Dentro de este proceso lógico de diseño se hará el estudio de las columnas y las uniones finalmente. El material con el que se realiza este diseño es el ASTM 36.

2.3 CÁLCULO DE LA VIGA TRANSVERSAL (TRANSPORTADORA)

Las consideraciones para la viga transversal son: el peso del líquido que contendrá el transformador al salir de la piscina, la carga del transformador y el mecanismo grúa. Para el peso del líquido se considera el volumen interior del transformador el cual alojará el líquido al levantarlo. Se tiene entonces:

Volumen interior del transformador:

$$V_i = L \times A \times H$$

$$V_i = (1.1 \times 0.52 \times 1.7) \text{ m}$$

$$V_i = 0.9724 \text{ m}^3$$

Carga por peso por el líquido contenido considerando el valor del agua:

$$P = V_i \times d_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$P = 0.9724 \text{ m}^3 \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$P = 972.4 \text{ kg} \times 2.205 \frac{\text{lb}}{\text{kg}}$$

$$P = 2144 \text{ lb} = 2.14 \text{ klb}$$

Carga del transformador: 1 ton = 1000 kg = 2.205 klb

Carga del polipasto: 150 kg = 0.33 klb

Carga total:

$$P = (2.14 + 2.205 + 0.33) \text{ klb}$$

$$P = 4.68 \text{ klb}$$

El diagrama de esta viga es el siguiente. Figura 2.2:

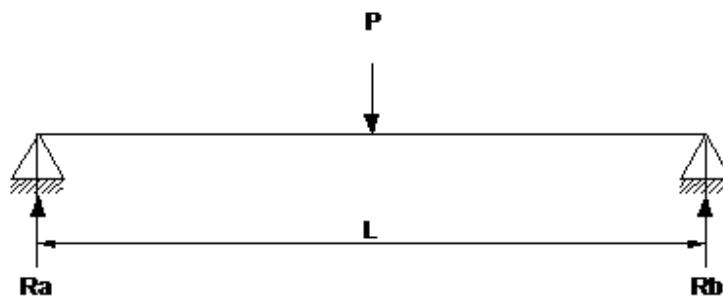


Figura 2. 3: Diagrama general de la viga transversal.

Fuente: Autores.

El tipo de juntas que tiene la viga en sus extremos son de tipo semirrígida, y se realizarán las consideraciones necesarias para un adecuado diseño de la viga.

Se trata la carga en el centro de la viga puesto que es el lugar donde se encontrará la mayor deformación y el mayor esfuerzo provocado por esta carga móvil. En este caso se considera un momento flector máximo en el centro y mínimo en los extremos.

También se tiene que los valores de las reacciones por simetría son iguales considerando la carga en el centro y partimos de ello para el análisis.

En la figura 2.3 ubicando los respectivos valores se tiene:

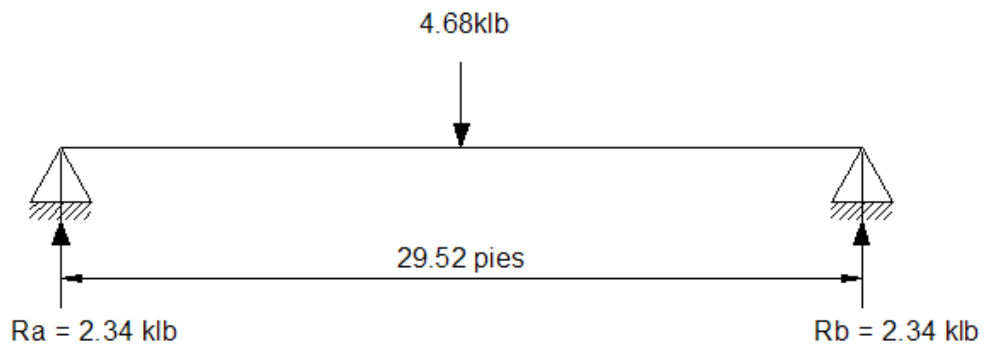


Figura 2. 4: Valores de carga y reacciones de la viga transversal.
Fuente: Autores.

En el inicio del análisis esta viga deberá ser probada para resistir el momento flexionante para el cual se sigue este proceso:

(Las unidades deberán ser utilizadas en el sistema inglés para fácil uso del Manual de la AISC).

1. Cálculo del momento (M):

$$M = \frac{Pl}{4}$$

$$M = \frac{4.68 \text{ klb} \times 29.52 \text{ pies}}{4}$$

$$M = 34.53 \text{ klb. pie}$$

$$M = 414.46 \text{ klb. plg}$$

Con el siguiente diagrama:

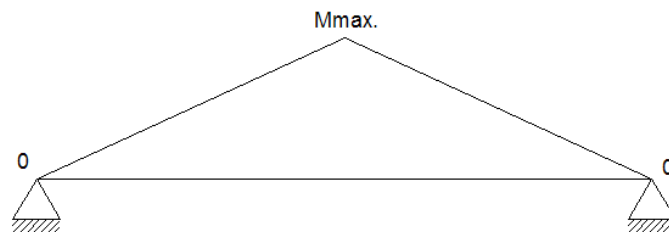


Figura 2. 5: Diagrama de momento.
Fuente: Autores.

Consultando este momento resistente en un grupo de perfiles recomendados por el manual de la AISC (sección 2-12), podría coincidir o acercarse a alguno de ellos, pero no con la longitud máxima que se podría utilizar; por lo tanto deberá ser diseñado por esbeltez a flexión.

Si bien el momento calculado tiene valores de cero en los extremos, la conexión es semirrígida y esta provoca un momento menor y por ello se trabaja con las fórmulas siguientes:

2. Cálculo del esfuerzo permisible a flexión (F_b):

Diagrama de momento provocado por la carga:

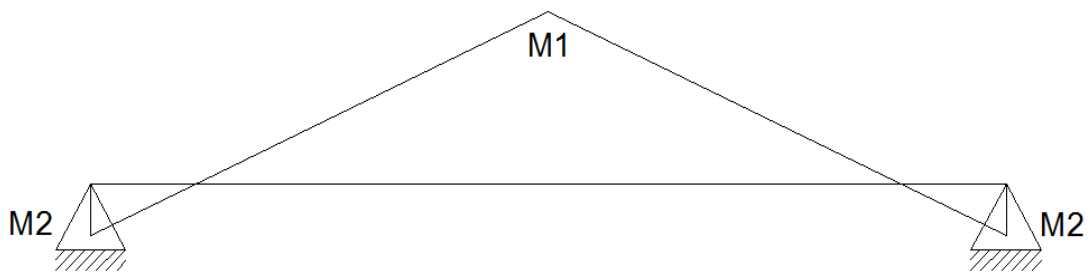


Figura 2. 6: Diagrama de momentos por carga.

Fuente: Autores.

Diagrama de momento provocado por el peso propio de la viga:

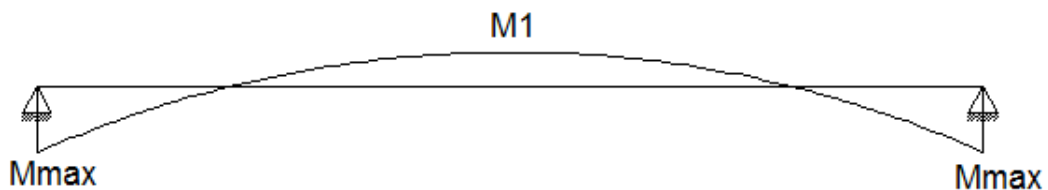


Figura 2. 7: Diagrama de momentos por peso de la viga.

Fuente: Autores.

Con este tipo de conexión semirrígida se establece el valor de C_b en 2.3.

Límites:

$$\lambda_f = \sqrt{\frac{102 \times 10^3 \times Cb}{S_y}} = \sqrt{\frac{102 \times 10^3 \times 2.3}{36}} = 80.72$$

$$\lambda_f = \sqrt{\frac{510 \times 10^3 \times Cb}{S_y}} = \sqrt{\frac{510 \times 10^3 \times 2.3}{36}} = 180.5$$

Análisis con el perfil **W10 x 39**:

$$S_x = 42.1 \text{ plg}^3; \quad R_t = 2.16 \text{ plg}$$

$$\lambda_f = \frac{L}{r_t}$$

$$\lambda_f = \frac{29.52 \times 12}{2.16} = 164$$

Se observa que está dentro de los límites de λ_f , y que por ello el valor de Fb de acuerdo con la especificación del manual de la AISC se tomará como:

$$Fb = \left[\frac{2}{3} - \frac{S_y \times \lambda_f^2}{1530 \times 10^3 \times Cb} \right] S_y$$

Se tienen entonces el factor permisible:

$$Fb = \left[\frac{2}{3} - \frac{36 \times 164^2}{1530 \times 10^3 \times 2.3} \right] 36$$

$$Fb = 14.09 \text{ ksi}$$

3. Cálculo del esfuerzo real a flexión:

Momento por carga puntual:	Momento por peso propio:
$M1 = \frac{Pl}{8}$ $M1 = \frac{4.68 \text{ klb} \times 354.24 \text{ plg}}{4}$ $M1 = 414.46 \text{ klb. plg}$	$M2 = \frac{wl^2}{12}$ $M2 = \frac{0.039 \frac{\text{klb}}{\text{pie}} \times (29.52 \text{ pie})^2}{12}$ $M2 = 33.98 \text{ klb. plg}$

Momento total:

$$M_T = M1 + M2$$

$$M_T = (414.46 + 33.98) \text{klb. plg}$$

$$M_T = 448.44 \text{klb. plg}$$

Esfuerzo de flexión:

$$fb = \frac{M_x}{S_x}$$

$$fb = \frac{448.44 \text{ klb. plg}}{42.1 \text{ plg}^3}$$

$$fb = 10.65 \text{ ksi}$$

Resultado:

$$fb \leq [Fb]$$

El esfuerzo real es menor que el permisible y se considera al perfil **W10 x 39**.

Ahora es necesario probar esta viga por corte con el siguiente método:

Se requiere los datos del peralte y el espesor del alma del perfil para el cálculo.

$$d = 9.92\text{plg}; \quad tw = 0.315\text{plg}$$

1. Se revisa el diagrama de corte de la viga y tomamos el mayor valor, figura 2.6:

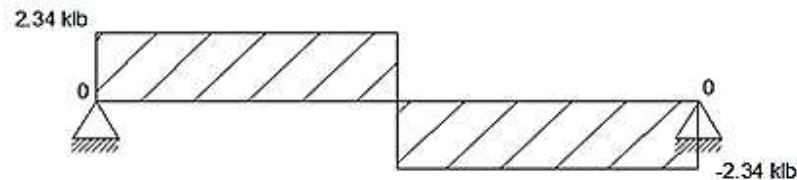


Figura 2. 8: Diagrama de corte.

Fuente: Autores.

2. Se calcula el área efectiva:

$$A_{ef} = d \times tw$$

$$A_{ef} = 9.92 \times 0.315$$

$$A_{ef} = 3.12 \text{ plg}^2$$

3. Se calcula el esfuerzo real a corte:

$$fv = \frac{V}{A_{ef}}$$

$$fv = \frac{2.34 \text{ klb}}{3.12 \text{ plg}^2}$$

$$fv = 0.75 \text{ ksi}$$

4. Si se comprueba que la siguiente desigualdad se cumple se utilizará un valor de:

$$Fv = 0.4Sy$$

$$\frac{d}{tw} < \frac{380}{\sqrt{Sy}}$$

$$\frac{9.92}{0.315} < \frac{380}{\sqrt{36}}$$

$$31.49 < 68.32$$

Entonces:

$$Fv = 0.4 \times 36 \text{ ksi}$$

$$Fv = 14.4 \text{ ksi}$$

$$fv < [Fv]$$

El valor de esfuerzo de real de corte es mucho menor que el permisible por ende la viga resistirá a corte.

Finalmente se tiene que revisar este perfil por deformación.

Se tiene entonces que:

Los valores de deformación se pueden tomar en un rango desde $L/300$ hasta $L/2000$; y deberán ser comparados con el valor resultante de la deformación de la viga luego de calcularlo con la fórmula de deformación máxima adecuada al perfil; la cual se encuentra en el manual de la AISC (sección 2-298).

Puesto que las conexiones son de tipo semirrígidas no se podría realmente ajustar el cálculo con la fórmula de deformación para una viga empotrada o con conexión simple; por ello se hace una consideración de reemplazo con la fórmula más crítica y se verificará con el rango permitido.

1. Cálculo de los valores para el rango admisible.

$$[\Delta] = \frac{L}{300} = \frac{354.24}{300} = 1.18$$

$$[\Delta] = \frac{L}{2000} = \frac{354.24}{2000} = 0.177$$

2. La fórmula de deformación para este perfil con esta carga es:

Deformación por carga:	Deformación por peso propio:
$\Delta = \frac{Pl^3}{48EI}$	$\Delta = \frac{5wl^4}{384EI}$
$\Delta = \frac{4680 \text{ lb} \times (354.24 \text{ plg})^3}{48 \times 29 \times 10^6 \text{ lb} \times 170 \text{ plg}^4}$	$\Delta = \frac{5 \times 3.25 \frac{\text{lb}}{\text{plg}} \times (354.24 \text{ plg})^4}{384 \times 29 \times 10^6 \text{ lb} \times 209 \text{ plg}^4}$
$\Delta = 0.71 \text{ plg.}$	$\Delta = 0.11 \text{ plg.}$

Deformación total = 0.82plg. Se acerca a un valor de L/400 y es admisible.

$$\Delta < [\Delta]$$

El valor de la deformación real es menor que el valor de la deformación admisible.

2.4 CÁLCULO DE LA VIGA LONGITUDINAL (RIEL)

Puesto que la carga tendrá que ser repartida entre los dos rieles dispuestos uno en cada lado del puente grúa, se tiene que dividir la carga total; la cual ahora también deberá considerar la mitad del peso de la viga transversal. Figura 2.7.

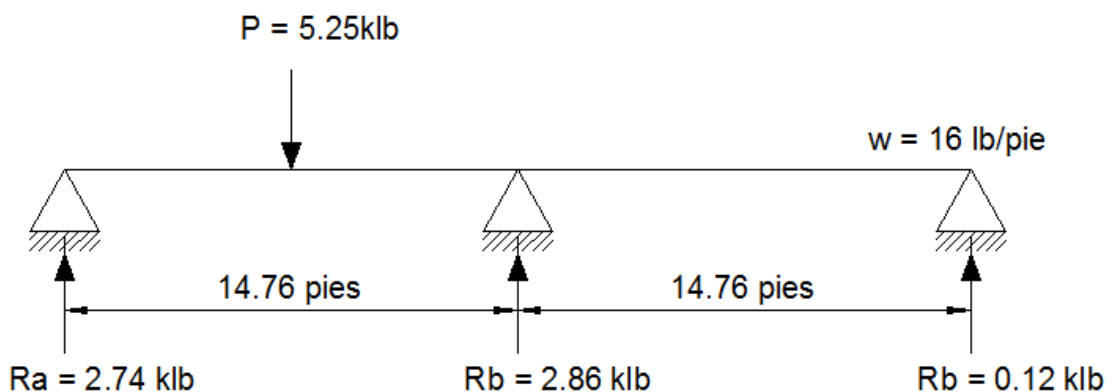


Figura 2. 9: Diagramas de carga y reacciones de testeros (rieles).

Fuente: Autores.

En el diagrama se observa dos tramos de la viga, pero en ningún caso para este puente se tendrá carga en ambos al mismo tiempo, únicamente en uno de ellos cualquiera que sea.

El procedimiento para el análisis de este elemento difiere al de la viga transversal. También sobrepasa la longitud recomendada, pero cuenta con apoyo lateral total y ya no será diseñado por esbeltez. Se considera las siguientes cargas:

Carga principal: 4.68klb.

Carga por peso propio de la viga W10 x 39 dividida entre 2:

$$W = 39\text{lb/pie} \times 29.52 \text{ pie}$$

$$W = 1151.28\text{lb}$$

$$W/2 = 0.58\text{klb}$$

Carga total:

$$P = (4.68 + 0.58) \text{ klb}$$

$$P = 5.26 \text{ klb}$$

1. Cálculo del momento (M):

Momento por carga puntual:	Momento por peso propio:
$M1 = \frac{Pl}{4}$ $M1 = \frac{5.26 \text{ klb} \times 177.12 \text{ plg}}{4}$ $M1 = 232.91 \text{ klb} \cdot \text{plg}$	$M2 = \frac{wl^2}{12}$ $M2 = \frac{0.016 \frac{\text{klb}}{\text{pie}} \times (14.76 \text{ pie})^2}{12}$ $M2 = 3.48 \text{ klb} \cdot \text{plg}$

Momento total:

$$M_T = 236.39 \text{ klb.plg}$$

2. Cálculo del módulo de sección:

$$S_x = \frac{M_x}{f_b}$$

$$S_x = \frac{236.39 \text{ klb. plg}}{23.76 \text{ plg}^3}$$

$$S_x = 9.94 \text{ ksi}$$

Resultado:

Se considera el perfil **W6 x 16**, cuyo S_x es de 10.2 plg^3

Diseño por esfuerzo de corte:

$$d = 6.28 \text{ plg}; \quad t_w = 0.26 \text{ plg}$$

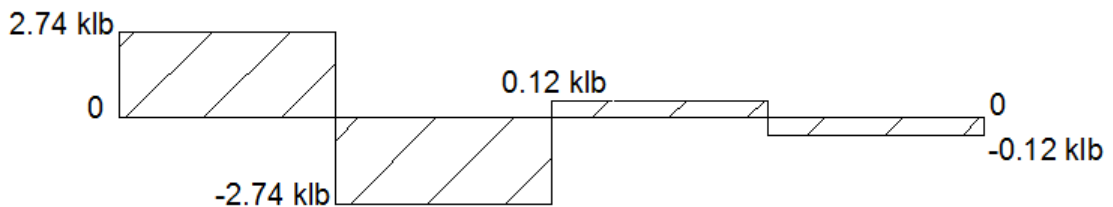


Figura 2. 10: Diagrama de corte de testeros (rieles).

Fuente: Autores.

1. Se calcula el área efectiva:

$$A_{ef} = d \times t_w$$

$$A_{ef} = 6.28 \times 0.26$$

$$A_{ef} = 1.63 \text{ plg}^2$$

2. Se calcula el esfuerzo real a corte:

$$fv = \frac{V}{A_{ef}}$$

$$fv = \frac{2.74 \text{ klb}}{1.63 \text{ plg}^2}$$

$$fv = 1.68 \text{ ksi}$$

3. Si se comprueba que la siguiente desigualdad se cumple se utilizará un valor de:

$$Fv = 0.4S_y$$

$$\frac{d}{tw} < \frac{380}{\sqrt{S_y}}$$

$$\frac{6.28}{0.26} < \frac{380}{\sqrt{36}}$$

$$24.14 < 68.32$$

Entonces:

$$Fv = 0.4 \times 36 \text{ ksi}$$

$$Fv = 14.4 \text{ ksi}$$

$$fv < [Fv]$$

Cálculo por deformación:

1. Se toma un valor de $L/400$.

$$\frac{L}{500} = \frac{142}{400} = 0.355$$

$$[\Delta] = 0.355$$

2. La deformación para este perfil con esta carga considerando un 80% de su longitud puesto que tiene momentos en sus extremos es:

Deformación por carga:	Deformación por peso propio:
$\Delta = \frac{Pl^3}{48EI}$ $\Delta = \frac{5250 \text{ lb} \times (142 \text{ plg})^3}{48 \times 29 \times 10^6 \text{ lb} \times 32.1 \text{ plg}^4}$ $\Delta = 0.33 \text{ plg.}$	$\Delta = \frac{5wl^4}{384EI}$ $\Delta = \frac{5 \times 1.33 \frac{\text{lb}}{\text{plg}} \times (142 \text{ plg})^4}{384 \times 29 \times 10^6 \text{ lb} \times 32.1 \text{ plg}^4}$ $\Delta = 0.007 \text{ plg.}$

Deformación total = 0.34plg

$$\Delta < [\Delta]$$

El perfil **W6 x 16** es válido para los testeros.

2.5 CÁLCULO DE LAS COLUMNAS

Para el cálculo de las columnas se requiere también de varias consideraciones, dado que la carga puede encontrarse en diversos sitios de la estructura. Cuando se tiene la carga alejada de las columnas se produce un pequeño momento, mientras que cuando se acerca tendrá prácticamente una carga axial; la cual es la más crítica y para la cual deberá ser diseñada.

Se tiene un valor de 5.5klb para la columna central que representa una carga axial, considerando la carga y el peso propio de los perfiles que soporta.

Las conexiones de las vigas hacen que se transmita un momento pequeño hacia las columnas y por ello se revisará el caso en los ejes X-X y Y-Y.

El esquema de la columna es la siguiente:

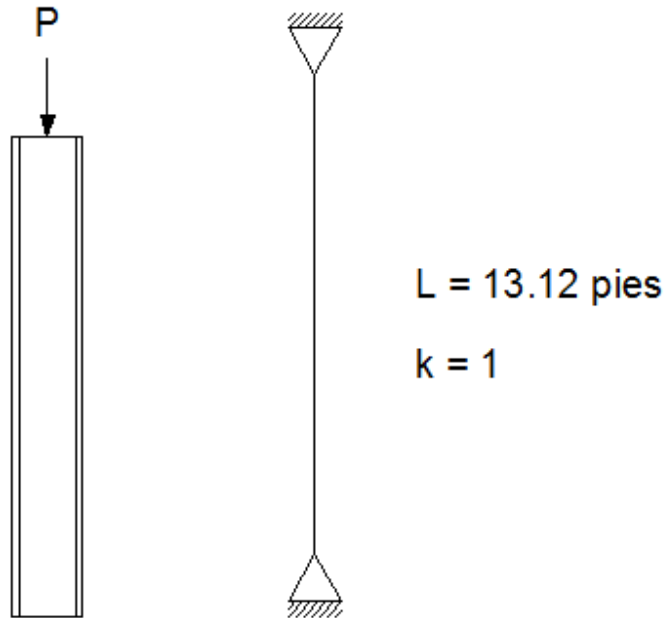


Figura 2. 11: Diagrama de columnas (carga axial).

Fuente: Autores.

Para que esta columna resista la carga axial planteada deberá determinarse primero su esfuerzo real y luego ser comparada con un valor de F_a definido en el manual de la AISC sección 3-16.

El análisis se lo realiza con el perfil **W5 x 16**:

$$A = 4.68 \text{ plg}^2$$

1. Cálculo de esfuerzo axial real:

$$f_a = \frac{P}{A}$$

$$f_a = \frac{5.5 \text{ klb}}{4.68 \text{ plg}^2}$$

$$f_a = 1.17 \text{ ksi}$$

2. Cálculo del esfuerzo axial admisible:

$$\lambda = \frac{k \cdot l}{r_{min}}$$
$$\lambda = \frac{1 \times 13.12 \times 12}{1.27}$$
$$\lambda = 123.96$$

El valor correspondiente de F_a interpolado es de 9.7 ksi

Resiste adecuadamente el esfuerzo axial.

Ahora es necesario comprobar la columna con el momento producido en el eje X-X, como se muestra en la figura 2. 11.

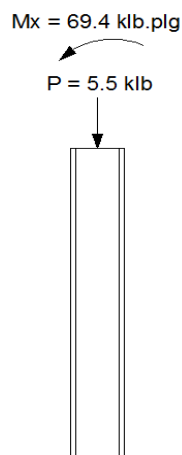


Figura 2. 12: Valores de carga y momento de columnas (carga axial).
Fuente: Autores.

3. Cálculo de esfuerzo real provocado por el momento:

$$fbx = \frac{M_x}{S_x}$$
$$fbx = \frac{69.4 \text{ klb. plg}}{8.51 \text{ plg}^3}$$
$$fbx = 8.15 \text{ ksi}$$

4. Cálculo de esfuerzo admisible:

$$Fbx = 0.66 Sy$$

$$Fbx = 0.66 \times 36 \text{ksi}$$

$$Fbx = 23.76 \text{ ksi}$$

Ahora se comprueba en la desigualdad:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fbx}{Fbx} \leq 1$$

$$\frac{1.17}{9.7} + \frac{8.15}{23.76} = 0.46$$

$$0.46 \leq 1$$

Con respecto al eje Y-Y se tiene un momento pequeño asumido en un 10% del total que produce la viga transversal.

$$fbx = \frac{Mx}{Sx}$$

$$fbx = \frac{44.84 \text{ klb. plg}}{3 \text{ plg}^3}$$

$$fbx = 14.94 \text{ ksi}$$

Reemplazando:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fbx}{Fbx} \leq 1$$

$$\frac{1.17}{9.7} + \frac{14.94}{27} = 0.67$$

$$0.67 \leq 1$$

El perfil puede ser utilizado.

Para las columnas de los extremos se podría considerar el mismo perfil porque la carga es cercana a la de la columna central y para mantener los rangos adecuados de λ en el diseño de la estructura.

2.6 CÁLCULO DE PERNOS Y PLACA BASE

Para el anclaje de la columna en su base se requiere dimensionar la placa base y los pernos que la sujetarán al piso. La figura 2.12 es un esquema de la placa con los agujeros en los que se alojarán los pernos rodeando la columna soldada previamente.

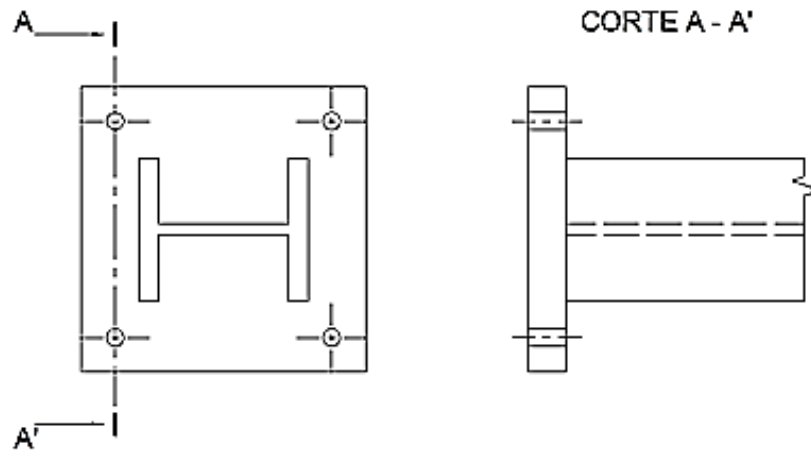


Figura 2. 13: Geometría de la placa base.

Fuente: Autores.

Para el dimensionamiento de la placa se asume un diámetro de pernos para determinar las distancias entre agujeros y al borde de la placa. Entonces: de la tabla 11-2 de McCormac, (Anexo 2), se escoge los pernos de 5/8 de pulgada y se tiene los siguientes datos:

- Pernos: 5/8", acero A235.
- Espesor de la plancha: 5/8"
- Diámetro del agujero: 11/16"
- Distancia al borde para este diámetro de pernos, tomado de la tabla 11-4 de McCormac. (Anexo 3).

$$D = 1 \frac{1}{8} = 1.225".$$

Se tiene un esquema del tipo de unión que existirá entre las placas base y el piso.

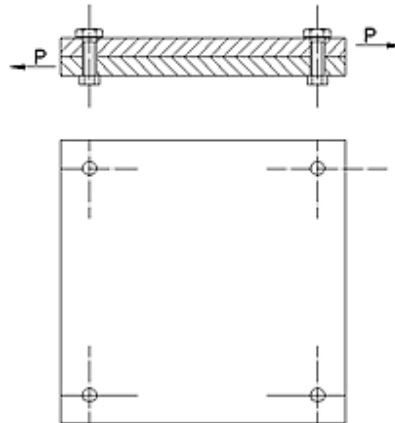


Figura 2. 14: Esquema de la junta.
Fuente: Autores.

Se necesita determinar la fuerza que provoca el motor al momento del frenado, ya que ésta actúa en los pernos como una cortante.

Datos del motor.

- Potencia: 1 hp
- n: 70 rpm
- D: 38 mm = 0.038 m

- Cálculo de la velocidad angular:

$$w = 70 \text{ rpm} \left| \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right| \left| \frac{2 \pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} \right|$$

$$w = 7.32 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

- Cálculo de la velocidad tangencial:

$$V_t = r \cdot w$$

$$V_t = (0.019 \text{ m}) \left(7.32 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$$

$$V_t = 0.139 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Desplazamiento:

$$d = \pi \cdot D$$

$$d = (\pi)(0,038)$$

$$d = 0.119 \text{ m}$$

- Se calcula el tiempo:

$$t = \frac{d}{V}$$

$$t = \frac{0.119 \text{ m}}{0.139 \text{ m/s}}$$

$$t = 0.856 \text{ s}$$

- Cálculo de la aceleración tangencial:

$$at = \frac{Vt}{t}$$

$$at = \frac{0.139 \text{ m/s}}{0.856 \text{ s}}$$

$$at = 0.162 \text{ m/s}^2$$

- Cálculo de la fuerza (componente x):

$$F = m \cdot a$$

$$F = 2638.54 \text{ kg} \times 0.162 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 427.44 \text{ N}$$

$$F = 96.05 \text{ lb}$$

- Componente y de la fuerza:

Py = considera 20% de la carga total de servicio

$$Py = 4.680 \text{ klb}$$

$$Py = 0.2 \times 4.680 \text{ klb}$$

$$Py = 0.936 \text{ klb}$$

- Resultante:

$$Fr = \sqrt{Px^2 + Py^2}$$

$$Fr = \sqrt{0.096^2 + 0.936^2}$$

$$Fr = 0.94 \text{ klb}$$

- Distancia mínima entre centros:

$$Dc = \frac{2P}{Fut} + \frac{d}{2}$$

$$Dc = \frac{(2)(0.94 \text{ klb})}{36 \frac{Klb}{plg^2}} + \frac{0.6875}{2}$$

$$Dc = 0.052 + 0.343$$

$$Dc = 0.39 \text{ plg}$$

- Distancia mínima del borde al centro de la perforación:

$$DA = \frac{2P}{Fut}$$

$$DA = \frac{(2)(0.94 \text{ klb})}{36 \frac{Klb}{plg^2}}$$

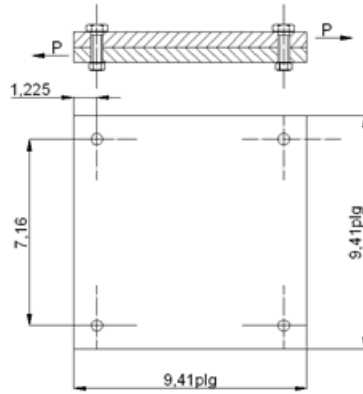
$$DA = 0.05 \text{ plg.}$$

Dado que las fuerzas que incurren en la construcción de este puente grúa son relativamente bajas se puede omitir los resultados de las ecuaciones anteriores (distancias entre centros y distancia del borde al centro de la perforación), puesto que no resultan coherentes con la geometría que utilizará la disposición de los perfiles del puente.

Se selecciona la distancia al borde de 1 1/8'' para agujero 5/8''. Tabla 11-4 de McCormac. (Anexo 3).

- Cálculo de esfuerzo cortante del perno:

Espesor de la placa base = 0.625 plg = diámetro del perno seleccionado.



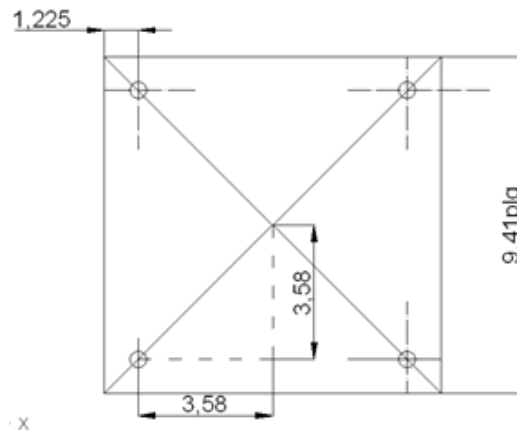
Fuerza resultante de corte: $V = 0.94 \text{ klb}$

$$M = V \cdot e$$

$$M = (0.94 \text{ klb})(0.625 \text{ plg})$$

$$M = 0.58 \text{ klb} \cdot \text{plg}$$

El centroide se determina por geometría:



$$r = \sqrt{3.58^2 + 3.58^2}$$

$$r = 5.063 \text{ plg}^2$$

- Carga para cada perno:

$$F' = \frac{V}{n}$$

$$F' = \frac{0.94}{4}$$

$$F' = 0.235 \text{ klb}$$

- Carga por momento

$$F'' = \frac{M}{n \cdot r}$$

$$F'' = \frac{0.58}{(4)(5.063)}$$

$$F'' = 0.028 \text{ klb}$$

- Resultante:

$$\vec{F}_r = \vec{F}' + \vec{F}''$$

$$\vec{F}_r = \sqrt{(F'^2) + (F''^2)}$$

$$\vec{F}_r = \sqrt{(0.235^2) + (0.028^2)}$$

$$\vec{F}_r = 0.236 \text{ klb}$$

- Logitud del perno:

h: espesor de placa = $5 / 8 = 0.625$ plg

d: diámetro de la perforación:

$$L = h + 1.5 d$$

$$L = 0.625 + 1.5 \left(\frac{5}{8} \right)$$

$$L = 1.5625 \text{ plg}$$

Se escoge el perno de 2 pulgadas de longitud.

- Longitud de rosca:

$$L_t = 2D + \frac{1}{4}$$

$$L_t = (2) \left(\frac{5}{8} \right) + \frac{1}{4}$$

$$L_t = (2)(0.625) + 0.25$$

$$L_t = 1.5 \text{ plg} \rightarrow 1 \frac{5}{8} \text{ plg}$$

- El área de esfuerzo cortante es:

$$A_s = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A_s = \frac{(\pi)(0.625)^2}{4}$$

$$A_s = 0.307 \text{ plg}^2$$

- Esfuerzo cortante

$$\tau = \frac{Fr}{A_s}$$

$$\tau = \frac{0.236}{0.307}$$

$$\tau = 0.768 \text{ ksi}$$

El arreglo en la placa da un total de cuatro pernos por lo que el esfuerzo cortante se divide entre 4. Esto es un valor de 0.2 ksi. Como el esfuerzo cortante según tabla 8-9 de Shigley (Anexo 4) es:

$$[\tau] = 130 \text{ ksi}$$

Y:

$$[\tau] > \tau$$

$$130 \text{ ksi} > 0.2 \text{ ksi}$$

El perno es aceptado.

2.6.1 CÁLCULO DE PERNOS PARA ANCLAJE COLUMNA Y TESTERO

En este procedimiento de cálculo inciden los mismos valores que fueron encontrados en el cálculo previo y por ello se tiene la misma fuerza resultante.

Datos:

- Perno Seleccionado:

$$1/2 \rightarrow \text{Agujero de } 9/16 \rightarrow \text{Tabla 11 - 2 McCormac}$$

- Espesor de placa: 0.625 plg
- Distancia mínima entre centros:

$$Dc = \frac{2P}{Fut} + \frac{d}{2}$$

$$Dc = \frac{(2)(0.94 \text{ klb})}{36 \frac{\text{Klb}}{\text{plg}^2}} + \frac{0,5}{2}$$

$$Dc = 0.052 + 0.25$$

$$Dc = 0.3 \text{ plg}$$

- Distancia mínima a la base:

$$D_A = \frac{2P}{Fut}$$

$$D_A = \frac{(2)(0.94 \text{ klb})}{36 \frac{\text{Klb}}{\text{plg}^2}}$$

$$D_A = 0.052 \text{ plg}$$

Se selecciona una distancia mínima de 7/8 para agujeros de 1/2''.

Fuerza cortante:

$$V = 0.94 \text{ klb}$$

$$M = V \cdot e$$

$$M = (0.94 \text{ klb})(0.625 \text{ plg})$$

$$M = 0.58 \text{ klb} \cdot \text{plg}$$

El centroide se determina por geometría:

$$r = \sqrt{3.535^2 + 3.535^2}$$

$$r = 4.99 \text{ plg}^2$$

- Carga para cada perno:

$$F' = \frac{V}{n}$$

$$F' = \frac{0.94}{4}$$

$$F' = 0.235 \text{ klb}$$

- Carga por momento:

$$F'' = \frac{M}{n \cdot r}$$

$$F'' = \frac{0.58}{(4)(4.99)}$$

$$F'' = 0.029 \text{ klb}$$

- Resultante:

$$\vec{F}_r = \vec{F}' + \vec{F}''$$

$$\vec{F}_r = \sqrt{(F')^2 + (F'')^2}$$

$$\vec{F}_r = \sqrt{(0.235^2) + (0.029^2)}$$

$$\vec{F}_r = 0.236 \text{ klb}$$

- Logitud del perno:

h: espesor de placa = $\frac{5}{8} = 0.625 \text{ plg}$

d: diámetro de la perforación:

$$L = h + 1.5 d$$

$$L = 0.625 + 1.5 \left(\frac{1}{2}\right)$$

$$L = 1.375 \text{ plg.}$$

Se selecciona un perno de 1 1/2''.

- Lt: longitud de rosca:

$$Lt = 2D + \frac{1}{4}$$

$$Lt = (2)\left(\frac{1}{2}\right) + \frac{1}{4}$$

$$Lt = (2)(0.5) + 0.25$$

$$Lt = 1.25 plg \rightarrow 1 \frac{1}{2} plg$$

Area de esfuerzo cortante es:

$$A_s = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A_s = \frac{(\pi)(0.5)^2}{4}$$

$$A_s = 0.196 plg^2$$

Esfuerzo cortante

$$\tau = \frac{Fr}{A_s}$$

$$\tau = \frac{0.236}{0.196}$$

$$\tau = 1.2 \text{ ksi}$$

Como el esfuerzo cortante según tabla 8-9 de Shigley, (Anexo 4) es:

$$[\tau] = 130 \text{ ksi}$$

$$Y : [\tau] < \tau$$

$$130 \text{ ksi} > 1.2 \text{ ksi}$$

Como el esfuerzo calculado es para un solo perno y el arreglo de la placa indica 4 pernos el esfuerzo se comparte y este es igual a 0.3 ksi. Entonces: $[\tau] > \tau$

El perno es aceptado.

2.7 CONEXIONES SOLDADAS

Consideraciones:

Tipo de soldadura → Filete

Tipo de soldadura de esfuerzo cortante al área efectiva.

Esfuerzo permisible 30 % de la resistencia nominal a tensión del metal de soldadura.

Resistencia requerida de la soldadura, puede usarse material con resistencia igual o menor a la de la placa base. Tabla 13-1 Shigley, (Anexo 5).

Electrodo 70 XX (Para Ecuador E7018) → Resistencia 70 klb/plg^2

Fy es de 36 a 60 ⇒ $F_y = 36 \text{ klb/plg}^2$

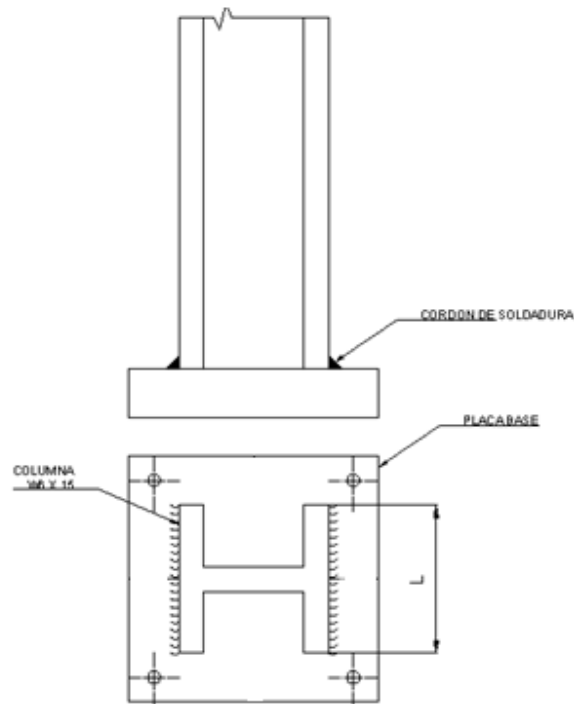


Figura 2. 15: Esquema de soldadura del patín.

Fuente: Autores.

El tamaño mínimo de soldadura es 1/4 ya que el espesor de la placa base es 5/8. El valor de 1/4 se verifica en la tabla 13-2 de Shigley, (Anexo 6).

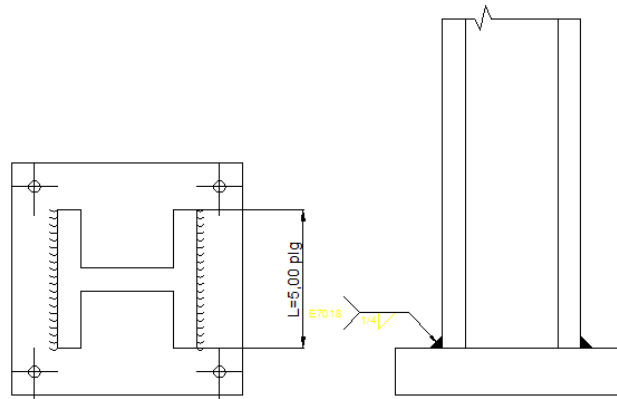


Figura 2. 16: Esquema de dimensión de la soldadura.

Fuente: Autores.

Fup = Fuerza última permisible

$$F_{up} = 3.71 \frac{\text{klb}}{\text{plg}}$$

L = longitud

$$L = 5 \text{ plg}$$

$$\Rightarrow F = F_{up} \cdot L$$

$$F = \left(3.71 \frac{\text{klb}}{\text{plg}} \right) (5 \text{ plg})$$

$$F = 18.55 \text{ klb}$$

Como $18.55 \text{ klb} > 5.5 \text{ klb}$

La resistencia del material de aporte es satisfactoria

Esfuerzo cortante:

$$\tau_{perm} = 0.3 S_{ut}$$

$$\tau_{perm} = 0.3 \left(58 \frac{\text{klb}}{\text{plg}^2} \right)$$

$$\tau_{perm} = 17.4 \frac{\text{klb}}{\text{plg}^2}$$

Esfuerzo cortante τ en el metal base adyacente a la soldadura:

$$h = 1/4 \text{ plg}$$

$$L = 5 \text{ plg}$$

$$F = 18.55 \text{ klb}$$

$$t = \text{espesor}$$

$$\tau = F/2hL$$

$$\tau = \frac{18.55}{2(0.2)(5)}$$

$$\tau = 9.275 \frac{\text{klb}}{\text{plg}^2}$$

Condición de aceptación

$$\tau_{perm} \geq \tau$$

$$17.9 > 9.275 \Rightarrow \text{Aceptado}$$

Esfuerzo de torsión en el cuerpo de la unión σ

$$\sigma = \frac{F}{t \cdot L}$$

$$\sigma = \frac{18.55}{(0.625)(5)}$$

$$\sigma = 5.936 \frac{\text{klb}}{\text{plg}^2}$$

Esfuerzo de torsión permisible

Según tabla 9-5 de Shigley. (Anexo 7).

$$\sigma_{perm} = 0.3 S_{ut}$$

$$\sigma_{perm} = (0.3) \left(58 \frac{klb}{plg^2} \right)$$

$$\sigma_{perm} = 17.4 \frac{klb}{plg^2}$$

como $17.4 > 5.936 \Rightarrow$ Aceptada la soldadura

2.7.1 SOLDADURA DEL ALMA

Consideraciones:

Tipo de soldadura: Filete

Tipo de soldadura de esfuerzo cortante al área efectiva.

Esfuerzo permisible: 30 % de la resistencia a tensión del metal de soldadura.

Resistencia requerida de la soldadura puede usarse material con resistencia igual o menor a la placa base. Tabla 13-1 Shigley.

Electrodo 70XX. Resistencia $70 \frac{klb}{plg^2}$, para aceros $F_y = 36 \frac{klb}{plg^2}$

El tamaño mínimo de la soldadura es $\frac{1}{4}$ ya que el espesor de la placa base es de:

$\frac{5}{8}$ El valor $\frac{1}{4}$ esta entre $\frac{1}{2}$ hasta $\frac{3}{4} \rightarrow$ Tabla 13-2 de Shigley.

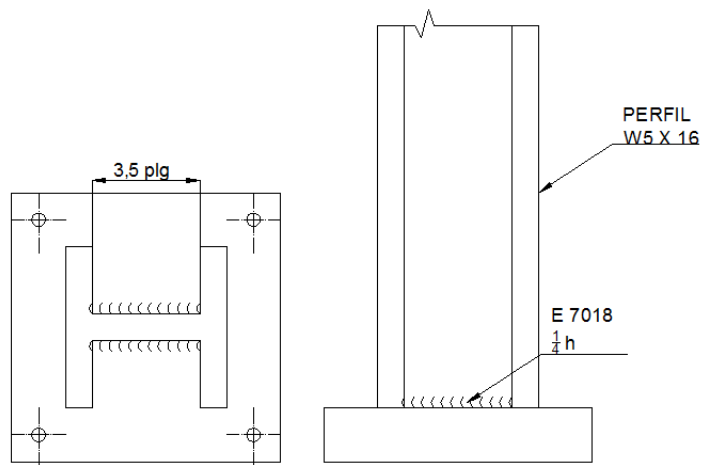


Figura 2. 17: Esquema de soldadura del alma.
Fuente: Autores.

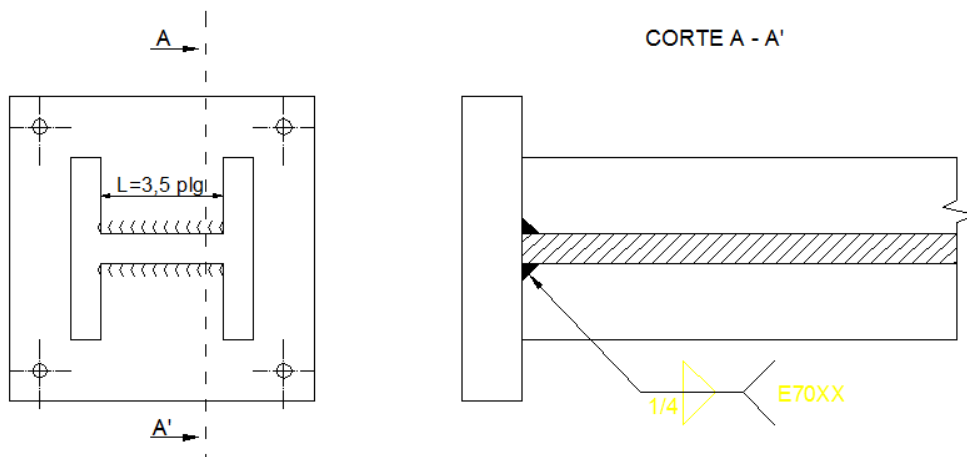


Figura 2. 18: Especificación de electrodo.
Fuente: Autores.

$L = \text{Longitud} = 3.5 \text{ plg}$

$$h = \frac{1}{4} \text{ plg}$$

$$L = 3.5 \text{ plg}$$

Fup: Fuerza última permisible

$$F_{up} = 3.71 \frac{\text{klb}}{\text{plg}}$$

$$F = F_{up} \cdot L$$

$$F = 3.71 \frac{klb}{plg} \times 3.5 plg$$

$$F = 12.985 klb > 5.5 klb$$

La resistencia del material de aporte es satisfactoria.

$$h = 1/4$$

$$L = 3.5$$

$$F = 12.985$$

$$\text{Espesor: } t = 5/8 = 0.625 plg$$

$$\tau = \frac{F}{2 \cdot h \cdot L}$$

$$\tau = \frac{12.985}{2(0.250)(3.5)}$$

$$\tau = 7.420 \frac{klb}{plg^2}$$

Condición de aceptación:

$$\tau_{perm} \geq \tau$$

$$17.4 > 7.42 \rightarrow \text{Aceptado}$$

Esfuerzo de tensión en el cuerpo de la unión:

$$\sigma = \frac{F}{t \cdot L}$$

$$\sigma = \frac{12.985 klb}{(0.625plg)(3.5plg)}$$

$$\sigma = 5.936 \frac{klb}{plg^2}$$

Esfuerzo de tensión permisible:

Segun tabla 9 – 5 la $\sigma_{perm} = 0.3 S_{ut}$

$$\sigma_{perm} = 0.3 \left(58 \frac{klb}{plg} \right)$$

$$\sigma_{perm} = 17.4 \frac{klb}{plg}$$

como $17.4 > 5.936 \rightarrow$ Aceptado

2.7.2 SOLDADURA ÁNGULO DE SUJECCIÓN DE VIGA CARRILERA

Tipo de soldadura: Filete

Tipo de soldadura de esfuerzo cortante al área efectiva.

Resistencia requerida de la soldadura puede usarse material con resistencia igual o menor a la de la placa base.

Electrodo 70XX. Resistencia $70 \frac{klb}{plg^2}$

Para aceros $F_y = 36$ y $60 \frac{klb}{plg^2}$

El tamaño mínimo de soldadura: $\frac{3}{16} plg$

Ya que el espesor del material base esta entre los valores $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2} plg$. (Tabla 13-2) Shigley.

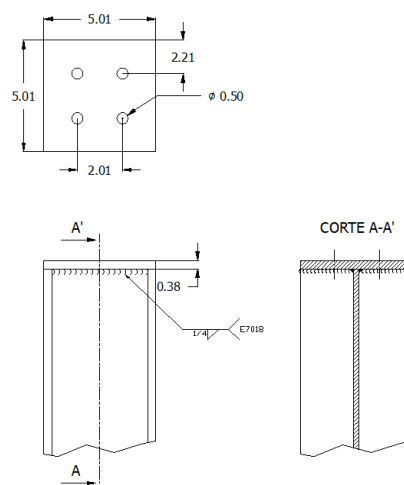


Figura 2. 19: Diagramas de anclaje superior.

Fuente: Autores.

F_{up} = Fuerza unitaria permisible

$$F_{up} = 2.78 \text{ klb/plg}$$

L = Longitud

$$L = 4.24 + 2.10 \text{ plg}$$

$$L = 9.009 \text{ plg}$$

$$F = F_{up} \cdot L$$

$$F = \left(2.78 \frac{\text{klb}}{\text{plg}} \right) (9.009 \text{ plg})$$

$$F = 25.045 \text{ klb}$$

Como $8.34 \text{ klb} \geq 5.5 \text{ klb}$. La resistencia del material de aporte es satisfactoria.

$$\tau_{\text{permisible}} = 0.3 \text{ sut}$$

$$\tau_{\text{perm}} = 0.3 \left(58 \frac{\text{klb}}{\text{plg}^2} \right)$$

$$\tau_{\text{perm}} = 17.4 \frac{\text{klb}}{\text{plg}^2}$$

τ es el esfuerzo cortante en el metal base adyacente a la soldadura.

$$\tau = \frac{F}{h \cdot L}$$

$$\tau = \frac{25.045}{(2)(9.009)(1/4)}$$

$$\tau = 5.56 \frac{\text{klb}}{\text{plg}^2}$$

Condición de aceptación.

$$\tau_{\text{perm}} \geq \tau$$

$$17.4 \text{ ksi} \geq 5.56 \text{ ksi} \rightarrow \text{Aceptado.}$$

Esfuerzo de tensión en el cuerpo de la unión.

t= espesor

$$t = 3/8$$

$$\sigma = \frac{F}{t \cdot L}$$

$$\sigma = \frac{25.045}{(3/8)(9.009)}$$

$$\sigma = 7.413 \frac{klb}{plg^2}$$

Esfuerzo de tensión permisible

$$\sigma_{perm} = 0.3 \text{ sut}$$

$$\sigma_{perm} = (0.3) \left(58 \frac{klb}{plg^2} \right)$$

$$\sigma_{perm} = 17.4 \frac{klb}{plg^2}$$

Como $17.4 \text{ ksi} > 7.413 \text{ ksi} \rightarrow$ Aceptada la soldadura.

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL HORNO DE PINTURA

3.1 HORNOS DE PINTURA

El horno de pintura es una instalación en la que se produce un ambiente idóneo para el pintado del metal de modo que en la actualidad no se conciben otros recintos para este tipo de operaciones. Hay factores que hacen indispensable su instalación en plantas que se ocuparán de este proceso como la presurización y ventilación durante el pintado, además el horno garantiza las condiciones más óptimas para la protección física del aplicador, y de seguridad al evitar la producción de una atmósfera peligrosa.

3.2 NORMAS GENERALES

Un horno de pintura es un espacio cerrado por el que circula lentamente aire con una temperatura de entre 20 y 25°C desde el techo hacia el piso de la misma, en donde se encuentra el colector de evacuación del aire hacia el exterior.

De acuerdo con algunos textos que tratan de temas como ventilación y normas para hornos de pintura se tiene ciertos parámetros para un adecuado diseño. El aire captado del exterior, primero se depura a grosso modo haciéndolo pasar a través de un filtro, entonces se calienta accediendo finalmente al horno a través de unos filtros dispuestos en el techo de la misma que lo depuran de finas partículas de polvo. Este aire circula alrededor del transformador a una velocidad que ronda los 0,3 m/s creando una ligera sobrepresión que arrastra hacia abajo la mayor parte de la niebla de pulverización y evita la entrada de partículas de polvo del exterior. Cubriendo el canal del piso del horno se hallan dos rieles; y en el ducto de extracción se encuentra el filtro de separación de las partículas de pintura de aire de la salida.

El paso de aire de un horno de pintura depende de las dimensiones del mismo, el caudal de aire será el suficiente para que la velocidad del aire coincida con parámetros especificados para este tipo de procesos.

En cuanto a la distancia apropiada entre el transformador y las paredes del horno, para un adecuado desempeño de los operarios, se tiene como principio alrededor de 1 metro, y la del techo del horno a la zona alta del transformador no debe ser inferior a 1 metro.

Para la separación del overspray o niebla sobrante se utilizan en el sector tanto separadores secos como por vía húmeda. En la separación en seco se conduce el aire del horno a través de unas mallas filtrantes (como por ejemplo filtros de fibra de vidrio) en las que se depositan las partículas de pintura. Los filtros, denominados paint-stop, se encuentran debajo de la rejilla donde se halla el objeto a pintar.¹⁸

3.3 DISEÑO NEUMÁTICO

3.3.1 DIMENSIONAMIENTO DEL HORNO

Partiendo de las medidas máximas con las que contaría un transformador y las distancias recomendadas entre las paredes y el techo hacia el aparato, (con la finalidad de mantener una operación de pintado adecuada), se tiene:

Dimensiones máximas del transformador:	→	L = 3m. A = 2.5m H = 1.70m
Separación recomendada:	→	S = 1m

¹⁸IHOBE, Libro Blanco para la reducción de residuos y emisiones, 1ra. Edición, España, pag.51.

Las medidas internas del horno serán:

$$L = 5 \text{ m}$$

$$A = 4.5 \text{ m}$$

$$H = 2.70 \text{ m}$$

Tipo de horno. Debido a la posibilidad de diseñar un sistema con recirculación del aire y a las ventajas que presenta éste tipo, el horno será de flujo vertical por la que, la corriente de aire bajará desde el techo filtrante hacia el suelo en sentido vertical, saliendo hacia el exterior a través de canales en el piso.

Velocidad del aire. Con el objeto de evacuar con rapidez las sustancias perjudiciales para la salud de los operarios, se recomienda que el aire en el interior del horno circule con velocidades medias de 0.3 a 0.5 m/s. Por otro lado, para evitar ruido excesivo y grandes pérdidas de presión, el aire debe circular por los ductos con velocidades establecidas en tablas de dimensionamiento de ductos de acuerdo al tipo de instalación.

El esquema principal es el mostrado en la figura 3.1 y sus dimensiones se detallarán en los planos.

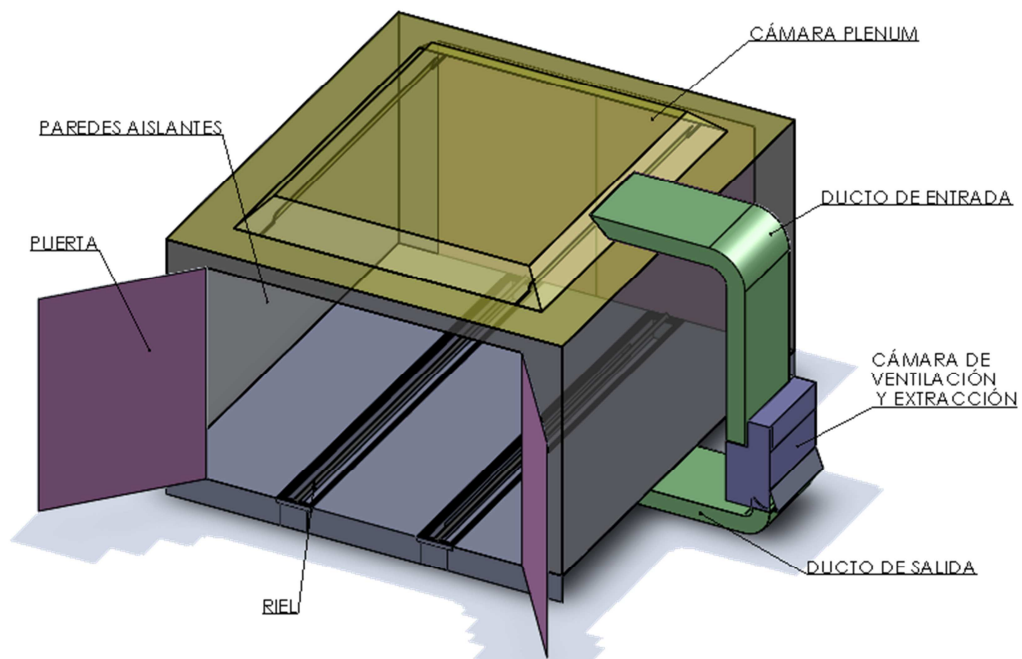


Figura 3. 1: Esquema del horno de pintura (Vista tridimensional).

Fuente: Autores.

Según la norma DIN (Deutsches Institut für Normung, en español Instituto Alemán de Normalización) el caudal del aire que entra a un taller de pintura debe tener hasta 50 renovaciones completas de aire por hora; el catálogo de ventilación que trabaja bajo la norma española explica que podría tener hasta 60 pero realiza la recomendación de instalar una horno de pintura y la mayor parte de ellos son diseñados con recambios de entre 120 y 300 renovaciones por hora para ingresar un mayor caudal y atravesar el techo filtrante y es aconsejable trabajar con estos valores.

Se debe recalcar que la mayor parte de hornos se construyen para el sector automotriz y por ello las dimensiones de éstas son mayores y abarcan un mayor volumen. Los caudales recomendados también son basados en este tipo de hornos.

El horno que se plantea diseñar cuenta con una reducción en las dimensiones, en relación con los diseñados para automóviles, de ahí que se puede pensar en una reducción del caudal que se necesita para el ingreso de aire, el cual, está directamente relacionado a su costo por el tipo de ventilador que se requerirá.

3.3.2 CÁLCULO DEL CAUDAL

El caudal Q de aire que debe suministrar el ventilador se determina en función del volumen interior del horno y el número de renovaciones de aire por hora recomendado para éste tipo de recintos. Como se conoce las dimensiones del horno, se puede calcular el volumen en su interior. Entonces:

$$V = L \times A \times H$$

$$V = (5 \times 4.5 \times 2.7) \text{ m}$$

$$V = 60.75 \text{ m}^3$$

Se multiplica por el número de renovaciones:

$$Q = V \times \# \text{ de renovaciones}$$

$$Q = 60.75 \text{ m}^3 \times 120 \text{ ren/hora}$$

$$Q = 7290 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 2.02 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

3.3.3 DIMENSIONAMIENTO DE LOS DUCTOS

Las dimensiones necesarias para este ducto en cuanto a su longitud son definidas por la distancia desde el ventilador hasta la entrada al horno. Se cuenta con dos tramos: uno es el vertical que va desde el ventilador hasta el codo y cuenta con 2.5 m. El segundo desde el codo hasta la entrada al horno y cuenta con una distancia de 1 m.

Con estas dimensiones se facilita la instalación del ducto y en caso de sufrir un desperfecto, tiene la suficiente distancia para su revisión y arreglo.

De acuerdo con tablas en el libro de “*Cálculos en Climatización*”, las recomendaciones para estos sistemas en cuanto a la velocidad con la que debería transitar el aire por el interior de los ductos no debería sobrepasar los 12.5 m/s (en locales industriales, anexo 8), con ello se evita un ruido excesivo y grandes pérdidas en los ductos.

Se puede determinar el área del ducto de admisión de aire hacia el horno a partir del caudal y la velocidad. Por tanto:

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$A = \frac{2.02 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{12.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$A = 0.16 \text{ m}^2$$

Las dimensiones del rectángulo (ducto) de entrada de aire se determinarán de acuerdo al tipo de resistencia que se instalará en él y la configuración de las mismas en su interior; además se enmarcarán dentro de las tablas presentadas en el anexo 9, el cual dimensiona para esta sección un ducto de 950 por 200 mm.

Este ducto de entrada de aire se conecta con el plenum en la parte superior del horno en donde se requiere que el flujo disminuya su velocidad y descienda hacia el piso. La superficie filtrante del plenum de impulsión debe abarcar la mayor parte posible del techo del horno, al menos el 80% del mismo. Superficies inertes mayores pueden provocar turbulencias perjudiciales.

Si contamos con un área de 22.5 m², entonces el plenum deberá abarcar 18 m² de la superficie del techo.

3.3.4 CÁLCULO DE PÉRDIDAS

3.3.4.1 CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LOS DUCTOS

Para realizar el cálculo de pérdidas en los ductos, se necesita algunos datos para completar el análisis. Se detallan a continuación:

- Se debe determinar primero la equivalencia del ducto rectangular con uno circular.

$$r = \sqrt{A/\pi}$$

$$r = \sqrt{0.16/\pi}$$

$$r = 0.225 \text{ m}$$

$$D = 2r = 0.45 \text{ m}$$

Se puede cotejar la respuesta con el nomograma del anexo 10. Se verifica que es similar.

- El flujo es turbulento evidentemente y se lo determina con el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu}$$

$$Re = \frac{0.8746 \frac{kg}{m^3} * 12.5 \frac{m}{s} * 0.45 m}{1.70e^{-5} \frac{kg}{m.s}}$$

$$Re = 289389.7$$

- El radio hidráulico del ducto en este caso es necesario para este tipo de ducto no circular.

$$Rh = \frac{A}{P} = \frac{0.162 m^2}{2.3 m}$$

$$Rh = 0.07 m$$

$$D = 4Rh = 0.28 m$$

- La rugosidad relativa es:

$$\frac{E}{D} = \frac{4.6e^{-5} m}{0.28 m} = 1.63e^{-4}$$

El valor de E se toma de tablas de acuerdo al material del ducto o tubería.

- Con estos valores se busca el factor de fricción λ en el diagrama de Moody. (Anexo 11). El valor de λ es 0.017.
- Reemplazando en la fórmula de pérdidas por el método de Darcy-Weisbach se tiene:

$$H_{rp} = \lambda \frac{L v^2}{D 2g}$$

$$H_{rp} = 0.017 * \frac{3.5 \text{ m}}{0.28 \text{ m}} * \frac{(12.5 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$H_{rp} = 1.63 \text{ m}$$

- Se puede transformar este valor a una presión:

$$\Delta P = H_{rp} * \rho * g$$

$$\Delta P = 1.63 \text{ m} * 0.8746 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta P = P_e = 13.98 \text{ Pa}$$

En cálculos de sistemas de climatización utilizan este método pero con el cálculo de la presión dinámica, que como se observa tiene el mismo resultado.

- La presión dinámica:

$$P_d = (1/2) \cdot \rho \cdot V^2$$

$$P_d = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot 0.8746 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(12.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$

$$P_d = 68.32 \text{ Pa}$$

- Se necesita estos valores para calcular la presión estática reemplazando datos en la siguiente fórmula.

$$P_e = \lambda * \frac{L}{D} * P_d$$

$$P_e = 0.017 * \frac{3.5 \text{ m}}{0.29 \text{ m}} * 68.32 \text{ Pa}$$

$$P_e = 14.01 \text{ Pa}$$

3.3.4.2 CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LOS ACCESORIOS

De acuerdo con el nomograma del anexo 12, se determina con las dimensiones del codo los valores de A/B y R/A siendo estas las siguientes:

$$\frac{A}{B} = \frac{200}{950} = 0.21 \qquad \frac{R}{A} = \frac{200}{200} = 1$$

Se determina el valor de “n” en 0.3

$$\Delta P_{codo} = n * Pd$$

$$\Delta P_{codo} = 0.3 * 68.32 Pa$$

$$\Delta P_{codo} = 20.49 Pa$$

El coeficiente para la campana de salida hacia el horno es de 0.15 y para calcular el valor de caída de presión se lo multiplica por la presión dinámica.

$$\Delta P_{camp.} = 0.15 * 68.32$$

$$\Delta P_{camp.} = 10.25 Pa$$

3.3.5 CÁLCULO DE PESIÓN TOTAL

Se suma inicialmente las presiones estática, dinámica y la de los accesorios.

$$P_1 = Pe + Pd + \Delta P_{codo} + \Delta P_{camp.}$$

$$P_1 = (13.98 + 68.32 + 20.49 + 10.25) Pa$$

$$P_1 = 113.04 Pa = 11.52 mm. c. a.$$

“Se utilizará la unidad *mm.c.a.*, para poder sumar la caída de presión de los filtros, realizar la tabla de valores y verificar con el ventilador del catálogo”.

Para realizar el cálculo completo se tiene que sumar la caída de presión por los elementos que se instalan en el horno como lo son los filtros.

Para este diseño se plantea acoplar un techo filtrante en la parte superior del horno, para el cual no existen fuentes que especifiquen su caída de presión pero se tiene datos de hasta una pulgada y media para un área similar, además un filtro Turbodin diseñado especialmente para atrapar contaminantes viscosos como aceites, grasas y pinturas; con una caída de presión de 7.62 mm.c.a., en el ducto de salida. Estos filtros cumplen con la norma HEPA.

Presión total:

$$P_t = P_1 + \Delta P_{filtros}$$

$$P_t = (11.52 + 38.1 + 7.62) \text{ mm. c. a.}$$

$$P_t = 57.24 \text{ mm. c. a.}$$

Se debe tomar en cuenta un ΔP por la obstrucción que presentan las resistencias y su disposición al interior del ducto, pero para ello será necesario el análisis termodinámico y conocer el tipo de resistencia y la cantidad de ellas.

El valor es de 2.28 mm.c.a., y su análisis se detalla más adelante.

Entonces el punto de operación del ventilador es:

$$Q = 7290 \frac{m^3}{h}$$

$$P = 59.5 \text{ mm.c.a.}$$

3.3.6 SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Para seleccionar el ventilador se revisa la curva del sistema versus las de los ventiladores con los cálculos realizados y suponiendo diversos valores de caudal. El ventilador que se va a utilizar es de tipo centrífugo ya que se trata de conducir un caudal que tiene una presión que vencer.

En este caso es mucho más recomendable ubicar un ventilador a la entrada del sistema y un extractor a la salida; con ello ganamos en la presión que tiene que vencer ese caudal para transitar por el interior del horno, y por ello también los valores que se consideran a continuación corresponden a la mitad de la presión total a vencer.

Los datos de las curvas del sistema y el ventilador respectivamente se presentan en la tabla 3.1:

Tabla 3.1 Valores de caudal y presiones del sistema y ventilador.

Pto.	Caudal m ³ /h	Presión C.S. mm.c.a.	Presión C.V. mm.c.a.
1	3000	5.0	51
2	4000	8.9	49
3	5000	14.0	46
4	6000	20.1	41
Pto. de operación: 5	7290	29.72	32
6	8000	35.8	25
7	9000	45.3	15

La curva del sistema combinada con la del ventilador se presenta en la figura 3.2:

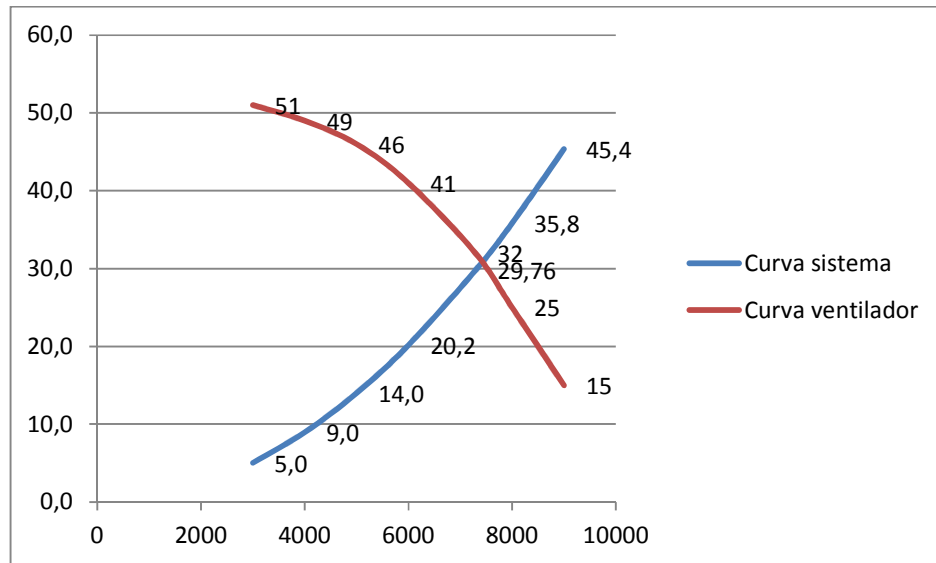


Figura 3. 2: Curva del sistema combinada con la curva del ventilador.

Fuente: Autores.

El punto de operación del ventilador está ubicado en:

Caudal: 7290 m³/h; caída de presión: 29.72 mm.c.a. = 291.55 Pa.

Con estos valores se recurre a la tabla de algún catálogo de ventiladores en donde se selecciona uno que aproxime sus valores a los del requerimiento. Se tiene:

Entonces las características del ventilador son:

Modelo: CVVT-12/12

Potencia: 2.2 kW

Revoluciones del ventilador: 1200 rpm

En las siguientes figuras se observará las características de este ventilador tomadas del Catálogo de ventiladores CVVT de S&P (Soler & Palau).

Diagrama del ventilador seleccionado. Ver figura 3.3

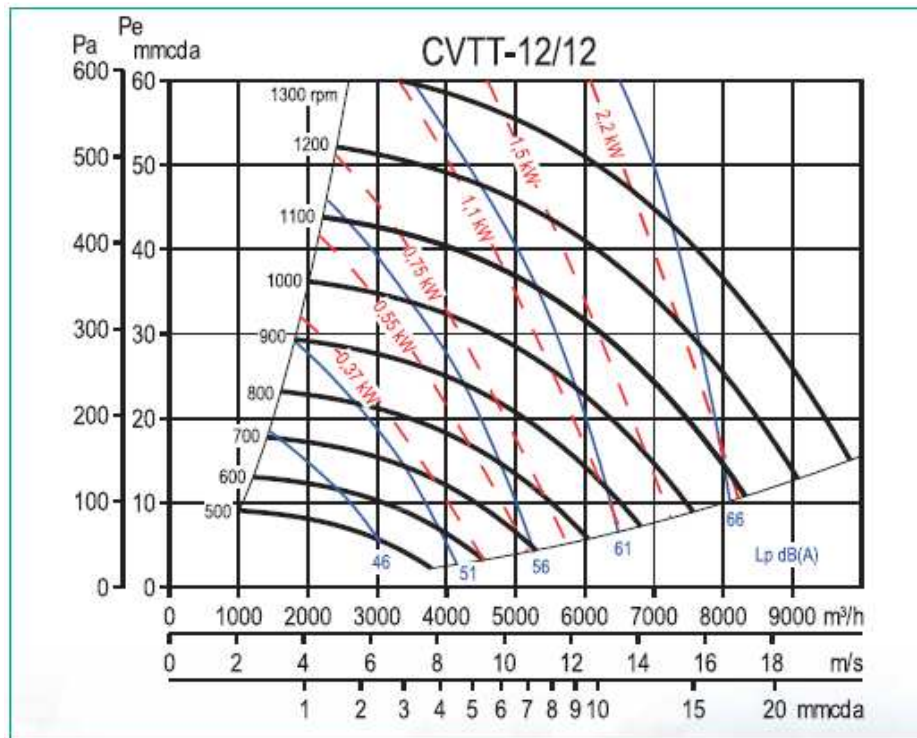


Figura 3. 3: Diagrama de ventilador CVTT 12-12.
Fuente: Catálogo de ventiladores CVVT de S&P.

Tabla 3.2: Características del ventilador seleccionado

Modelo	Potencia motor		Revoluciones ventilador		Caudales a revolución		Peso con motor mayor (kg)
	Minima (kW)	Maxima (kW)	Minima (r.p.m.)	Maxima (r.p.m.)	Minima (m³/h)	Maxima (m³/h)	
CVTT-7/7	0,18	0,75	800	1800	400	2800	43
CVTT-9/9	0,18	1,1	800	1500	1100	4250	52
CVTT-10/10	0,37	1,5	600	1300	1500	6200	66
CVTT-12/12	0,37	2,2	500	1300	1000	9800	88
CVTT-15/15	0,75	4,0	300	1000	2000	12800	108
CVTT-18/18	1,1	5,5	400	900	3000	21000	147
CVTT-20/20	1,5	7,5	300	800	4000	23800	270
CVTT-22/22	2,2	11,0	300	800	4000	32000	309
CVTT-25/25	2,2	11,0	250	650	5000	39800	350
CVTT-30/28	2,2	15,0	200	550	6000	55000	472

Fuente: Catálogo de ventiladores CVVT de S&P.

3.4 DISEÑO TÉRMICO

3.4.1 CÁLCULO DE REQUERIMIENTO DE CALOR

El horno será utilizado para el pintado y secado de transformadores, calentando el aire entre 20 y 25 °C.

Con un análisis termodinámico en el ducto se puede determinar la cantidad de energía que se requiere para que la temperatura a la salida del ducto sea de 23 °C, se considera además que se trata de condiciones de flujo estable.

$$\dot{E}_{entra} - \dot{E}_{sale} = \Delta\dot{E} = 0$$

$$\dot{E}_{entra} = \dot{E}_{sale}$$

$$\dot{E}_{req} = \dot{m} \cdot Cp \cdot \Delta T$$

Para realizar los cálculos de flujo másico antes se necesita saber la densidad del aire en el lugar donde se pretende construir el horno. Para ello son necesarios los siguientes datos:

Ra = Constante de los gases = 287 Nm/kg °K

T = temperatura ambiente = 17 °C = 290 °K

P = presión atmosférica = 72793.8 Pa (Quito)

$$\rho = \frac{P}{Ra \cdot T}$$

$$\rho = \frac{72793.8 \text{ N/m}^2}{287 \frac{\text{Nm}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times 290 \text{ } ^\circ\text{K}}$$

$$\rho = 0.8746 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- La tasa de flujo másico de aire a través del ducto se obtiene con:

$$\dot{m} = Q * \rho$$

$$\dot{m} = 7290 \frac{m^3}{h} * 0.8746 \frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{m} = 6375.8 \frac{kg}{h} = 1.77 \frac{kg}{s}$$

Se puede trabajar también con el volumen específico, obteniendo el mismo resultado.

- Ahora es necesario determinar la cantidad de energía que se necesita por infiltración de aire exterior o ventilación y que viene dada por:

$$\dot{E}_{req} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$\dot{E}_{req} = 1.77 \frac{kg}{s} * 1.005 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} * (20 - 17) ^\circ C$$

$$\dot{E}_{req} = 5.3 kW$$

- El cálculo de la pérdida por conducción de las paredes viene dada por:

$$q = \frac{\Delta T}{\frac{l_1}{k_1 \cdot A_1} + \frac{l_2}{k_2 \cdot A_2} + \frac{l_3}{k_3 \cdot A_3}}$$

$$q = \frac{(20 - 17) ^\circ K}{\frac{0.0011 m}{60.5 \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \times 73.8 m^2} + \frac{0.05 m}{0.046 \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \times 73.8 m^2} + \frac{0.0011 m}{60.5 \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \times 73.8 m^2}}$$

$$q = 203.6 W$$

- El cálculo de la pérdida por techo y pisos está dada por:

$$q = \frac{\Delta T}{\frac{l_1}{k_1 \cdot A_1} + \frac{l_2}{k_2 \cdot A_2}}$$

$$q = \frac{(20 - 17) ^\circ K}{\frac{0.002 m}{60.5 \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \times 18.5 m^2} + \frac{0.05 m}{0.046 \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \times 22.5 m^2} +}$$

$$q = 62.1 W$$

En donde:

ΔT es la temperatura en grados Kelvin ($^{\circ}K$).

l es el espesor de la placa o pared y está en metros (m).

k es el valor de conductividad térmica y está en Vatios sobre metros por grado Kelvin ($\frac{W}{m^{\circ}K}$).

A es el área de análisis en metros cuadrados (m^2).

Por lo tanto, la cantidad de calor (q) que se requiere para el proceso es de 5.5 KW.

3.4.2 CÁLCULO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR RESISTENCIAS

CORRIENTE DE AIRE TRANSVERSAL A UN BANCO DE TUBOS ISOTERMOS

Se asume que transversalmente a un banco de tubos (resistencias) de 1 cm de diámetro exterior escalonadas en tres hileras, circula aire a la presión atmosférica obtenida, 17 °C y a la velocidad de 12.5 m/s. La superficie del cilindro se mantiene a una temperatura de 750 °C. El análisis que se da a continuación se realiza para saber la cantidad de calor que estas resistencias brindan por unidad de longitud.

- Se hace el cálculo a temperatura de película que es el promedio entre la temperatura de corriente libre y temperatura de superficie, luego se busca la densidad del aire a esa temperatura.

$$T = \frac{T_w + T_{\infty}}{2}$$

$$T = \frac{750 + 17}{2} = 383.5 \text{ }^{\circ}C$$

$$T = 656.5 \text{ K}$$

- A 656.5 K la densidad es:

$$\rho = \frac{P}{Ra \cdot T}$$

$$\rho = \frac{72793.8 \text{ N/m}^2}{287 \frac{\text{Nm}}{\text{kg}^\circ\text{K}} \times 656.5 \text{ }^\circ\text{K}} = 0.386 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho = 0.386 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- Se necesita saber el número de Reynolds para estas condiciones:

$$Re = \frac{0.386 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 12.5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.01 \text{ m}}{3.177e^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}} = 1548$$

- Se busca las correlaciones de Prandtl y Nusselt:

Valores de μ , k y C_p se obtienen de las tablas en el anexo 13.

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k}$$

$$Pr = \frac{3.177e^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \times 1063.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}}{0.04953 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}} = 0.682$$

- Para banco de tubos escalonados como en este caso se puede trabajar con la siguiente ecuación:

Valores de C y m se obtienen de la tabla en el anexo 14.

$$Nu = C * (Re)^m * (Pr)^{0.34} * F_N$$

$$Nu = 0.273 \times (1548)^{0.635} \times (0.682)^{0.34} \times 0.85 = 21.6$$

- Factor de corrección del anexo 15:

$$Nu = 0.75 \times 21.6 = 16.2$$

- Con estos valores se obtiene el coeficiente convectivo:

$$h = \frac{Nu * k}{d}$$

$$h = \frac{(16.2) \times (0.04953) \frac{W}{m^{\circ}C}}{0.01 m} =$$

$$80.63 \frac{W}{m^2^{\circ}C}$$

- Finalmente se determina la cantidad de calor por unidad de longitud:

$$\frac{q}{L} = h * \pi * d * (T_w + T_{\infty})$$

$$\frac{q}{L} = \left(80.63 \frac{W}{m^2^{\circ}C} \right) * \pi * (0.01m) * (750 - 17)^{\circ}C$$

$$\frac{q}{L} = 2461.7 \frac{W}{m}$$

Con esta relación y la potencia térmica que el sistema requiere, se necesita una serie de tres resistencias escalonadas con una longitud efectiva de calentamiento de 1.2 metros cada una.

Ahora se puede calcular la caída de presión en el ducto por el paso del aire a través de las resistencias. Esto es:

$$\Delta P = N * f \frac{\rho v^2}{2g}$$

$$\Delta P = 3 \times 0.12 \times \frac{0.8746 * 12.5^2}{2 * 9.81}$$

$$\Delta P = 2.28 \text{ mm. c. a.}$$

3.5 DISEÑO ESTRUCTURAL DEL HORNO

Para el diseño estructural del horno se consideran las cargas que soportará la edificación y para ello se hace notar que al tratarse de un recinto creado para un proceso en su interior no tendrá que soportar sino los elementos de los que se compone el recubrimiento y el peso de hasta dos personas para casos de instalación y mantenimiento.

El diseño del sistema es el siguiente y contiene ya los tipos de tubo estructural que se han asignado:

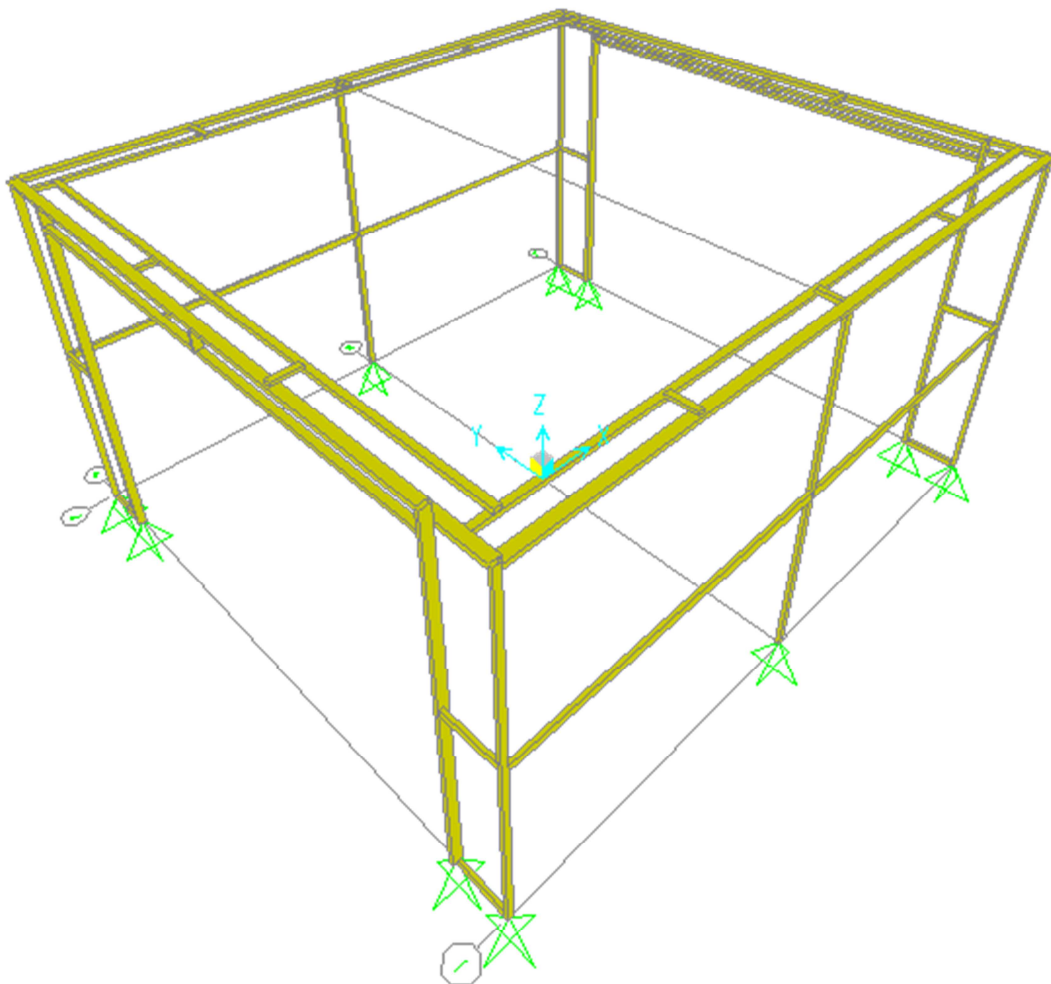


Figura 3. 4: Diseño estructural del horno de pintura (Vista tridimensional).
Fuente: Autores.

3.5.1 ELEMENTOS HORIZONTALES

Para el diseño de la estructura del horno se toma como referencia la carga máxima que se aplicará y el lugar más crítico de un elemento horizontal; lo que da como resultado un diagrama con las siguientes características. Figura 3.6:

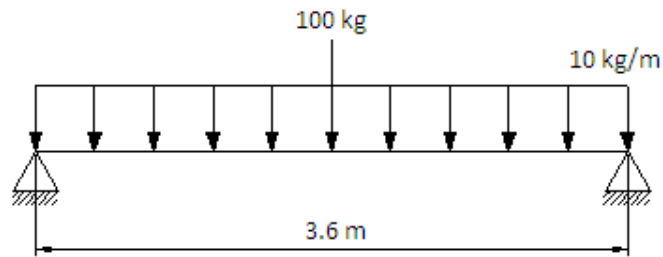


Figura 3. 5: Diagrama de cargas en la estructura.
Fuente: Autores.

El análisis por flexión trabaja con los momentos máximos y por la simetría obviamente se ubica en el centro del elemento. Entonces se calcula el valor de estos momentos.

1.

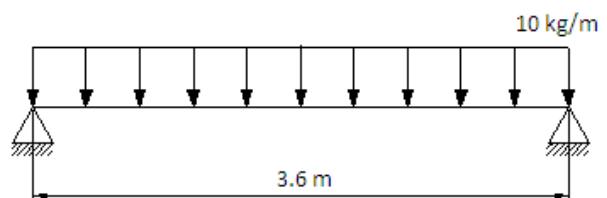
Carga distribuida

$$W = 10 \text{ kg/m.}$$

$$M_1 = WL^2/8$$

$$M_1 = 10 \text{ kg/m} \times (3.6 \text{ m})^2 / 8$$

$$M_1 = 16.2 \text{ kg.m}$$



2.

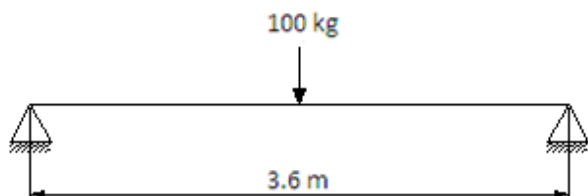
Carga puntual

$$P = 100 \text{ kg.}$$

$$M_1 = PL/4$$

$$M_1 = 100 \text{ kg} \times 3.6 \text{ m} / 4$$

$$M_1 = 90 \text{ kg.m}$$



El momento total del elemento es de 106.2 kg.m y en unidades inglesas es 9.27 klb.plg.

Para el cálculo se utiliza el acero ASTM 36 y con sus propiedades se analiza la estructura.

Se precisa saber el valor del factor f_b considerando la formula $f_b = 0.66 S_y$.

$$fb = 0.66 \times 36 \text{ ksi}$$

$$fb = 23.76 \text{ ksi}$$

Ahora con este valor se calcula el módulo de la sección del siguiente modo:

$$S_x = \frac{Mx}{fb}$$

$$S_x = \frac{9.27 \text{ klb. plg}}{23.76 \frac{\text{klb}}{\text{plg}^2}}$$

$$S_x = 0.39 \text{ plg}^3$$

En el manual de la AISC, si se busca un elemento con las características requeridas para el armado de la estructura del horno; como lo es un tubo estructural de forma rectangular, se ubica el (3×2×3/16) plg.; y con el valor del módulo de la sección calculado se lo compara.

Se observa que el valor incluso del eje Y-Y es mucho mayor que el valor necesario, lo que quiere decir que este elemento resistirá la carga incluso colocado sobre su eje de menor inercia.

Para abaratar costos se tiene que rediseñar el elemento a partir de los mismos conceptos de inercia y módulo de sección, partiendo de tubos estructurales existentes en el mercado con menores espesores. (No aparecen en el manual de la AISC).

Se prueba el tubo rectangular (70×30×2) mm y se calcula sus inercias:

$$I_{x-x} = \frac{(30 \times 70^3) - (26 \times 66^3)}{12} = 234592 \text{ mm}^4$$

$$I_{y-y} = \frac{(70 \times 30^3) - (66 \times 26^3)}{12} = 60832 \text{ mm}^4$$

Y el módulo de sección:

$$S_x = \frac{234592 \text{ mm}^4}{35 \text{ mm}} = 6702.63 \text{ mm}^3$$

$$S_y = \frac{60832 \text{ mm}^4}{15 \text{ mm}} = 4055.46 \text{ mm}^3$$

Transformando a unidades inglesas se tiene el modulo en los ejes:

$$X = 0.41 \text{ plg}^3.$$

$$Y = 0.24 \text{ plg}^3.$$

El elemento estructural de **70 x 30 x 2** resistirá la carga asumida.

3.5.2 ELEMENTOS VERTICALES

Luego de haber determinado los elementos transversales, se procede a realizar el cálculo para las columnas. En este caso se toma en cuenta la carga total que se encuentra soportada sobre los elementos verticales.

La estructura está formada por 8 columnas pero las que soportan mayor carga son las cuatro ubicadas como marco de la puerta del horno, las cuales tienen apoyo simplemente de un lado puesto que en el otro se encuentran la entrada y salida.

Para que la columna cumpla con los requerimientos de carga deberá apegarse a la siguiente condición.

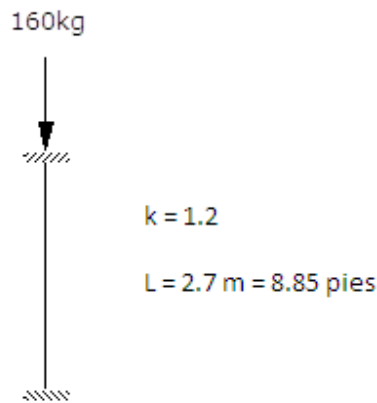
$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fbx}{Fbx} \leq 1$$

Se asume una carga muerta a lo largo de la estructura de 10 kg/m, y por los elementos que se apoyan en la columna se tiene una carga total de 60 kg; a esto se añade la carga de una persona por concepto de instalación y mantenimiento hasta 100 kg.

Para determinar el elemento adecuado se prueban varios perfiles. En este caso se ha escogido un tubo estructural rectangular de 3x2x3/16 plg.

El total de una carga tratada como concéntrica para la columna es de 160 kg (0.352 klb).

El diagrama es:



Se busca cada uno de los factores que intervienen:

$$fa = \frac{P}{A} = \frac{0.352 \text{ klb}}{1.64 \text{ plg}^2} = 0.215 \frac{\text{klb}}{\text{plg}^2}$$

El radio mínimo es:

$$r = 0.77 \text{ plg}$$

El valor de k para este elemento vertical es de 1.2:

$$\lambda = \frac{k * l}{r}$$

$$\lambda = \frac{1.2 * 8.85 * 12}{0.77} = 165.5$$

Se busca el valor de Fa correspondiente a este λ y es 5.45 ksi (interpolado).

Se tiene la primera parte del término que se busca, ahora se debe saber que pasa con el momento flexionante.

$$fbx = \frac{Mx}{Sx} = \frac{6.02 \text{ klb. plg}}{0.977 \text{ plg}^3} = 6.16 \text{ ksi}$$

$$Fbx = 0.66 Sy = 23.7 \text{ ksi}$$

Finalmente se realiza la comparación:

$$\frac{0.215}{5.455} + \frac{6.16}{23.7} = 0.3$$

De acuerdo al valor encontrado se supondría que el elemento soportará la carga de manera excedida, pero de acuerdo a los valores de λ , este se encuentra dentro del rango aceptado.

Para el diseño de la estructura del horno se utiliza entonces el perfil rectangular de 3x2x3/16 plg, que se ubica en el marco de las puertas; además se considera en la estructura el tubo rectangular 50 x 25 x 1.5 mm, del cual no se hace referencia de cálculo ya que éstos elementos se encuentran para dar apoyo a los principales y que por sus dimensiones sirven para la colocación de las planchas de acero galvanizado que alojarán el aislante del horno. Sin embargo su función se demostrará en la simulación con el software.

Una vez realizado todos los cálculos se procede realizar el diseño del horno cerrado que será utilizado para realizar la simulación en el software. Ver figuras 3.6 y 3.7

VISTA FRONTAL:

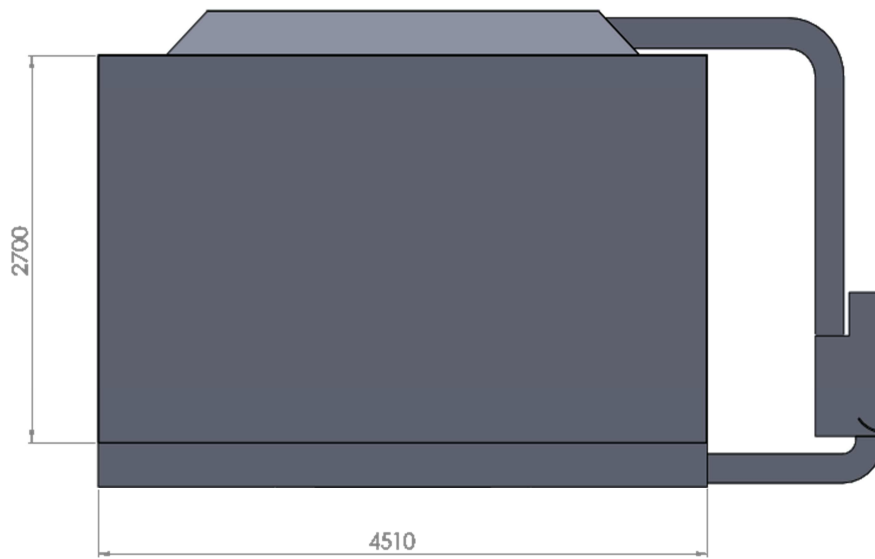


Figura 3. 6: Horno de pintura (Vista frontal cerrada).
Fuente: Autores.

VISTA TRIDIMENSIONAL

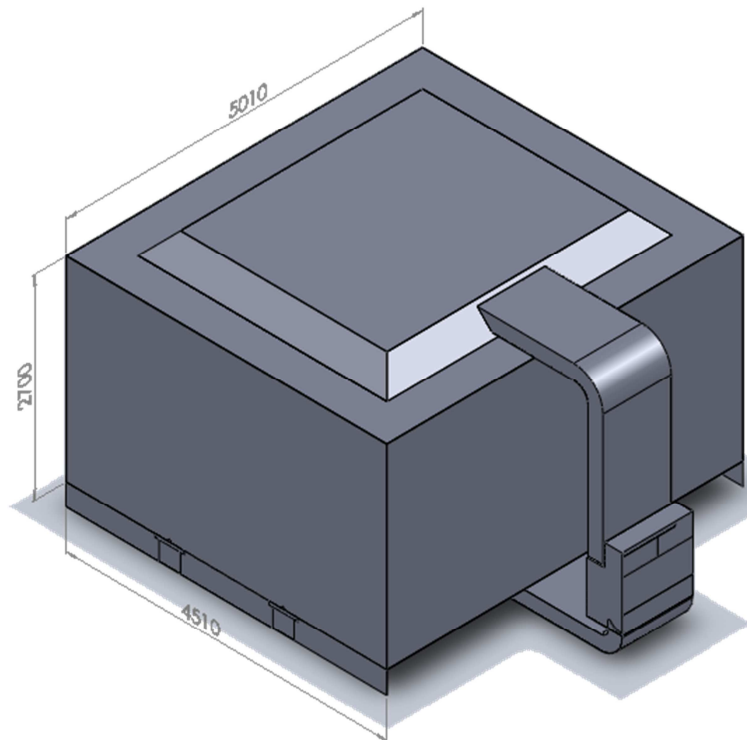


Figura 3. 7: Horno de pintura (Vista tridimensional).
Fuente: Autores.

CAPÍTULO IV

SIMULACIÓN DEL SISTEMA

4.1 SIMULACIÓN DEL PUENTE GRÚA

4.1.1 INTRODUCCIÓN

La simulación del puente grúa presenta el comportamiento de los elementos que componen la estructura. El estudio será realizado en el programa SAP 2000 versión 14.

SAP2000 es un programa de análisis que puede ser usado para solución de planteamientos simples o para proyectos complejos.

El interés del ingeniero mecánico reside en la ayuda que el programa brinda para proyectos en los que se trabaja con perfiles de acero.

Si bien se puede combinar el acero con el concreto para el estudio de un modelo, también se puede trabajar de manera separada para aplicar las normas de acuerdo a un diseño; claro está que en el caso del concreto se incluye el hierro para estudios con columnas, vigas y losas.

Con el uso del programa SAP 2000 se procederá a realizar el análisis también de la estructura del horno de pintura.

A pesar de que este programa se especializa en el estudio de una estructura, y puede incluir las restricciones para cada elemento; es poco visual y no se ocupa de cómo se encuentra acoplada una unión. Por ello el esquema y posterior estudio de las juntas será realizado en el programa Autodesk Inventor.

4.1.2 PROCEDIMIENTO DE LA SIMULACIÓN EN SAP 2000

1. Diseño de la estructura en el programa:

Al fondo de la figura se encuentran dos elementos verticales que representan las columnas que forman parte de la estructura del galpón y que en este análisis sirven para colocar el apoyo lateral. Además se tiene dos elementos que conectan los dos pórticos del puente para dar soporte al costado más alejado de la estructura del galpón.

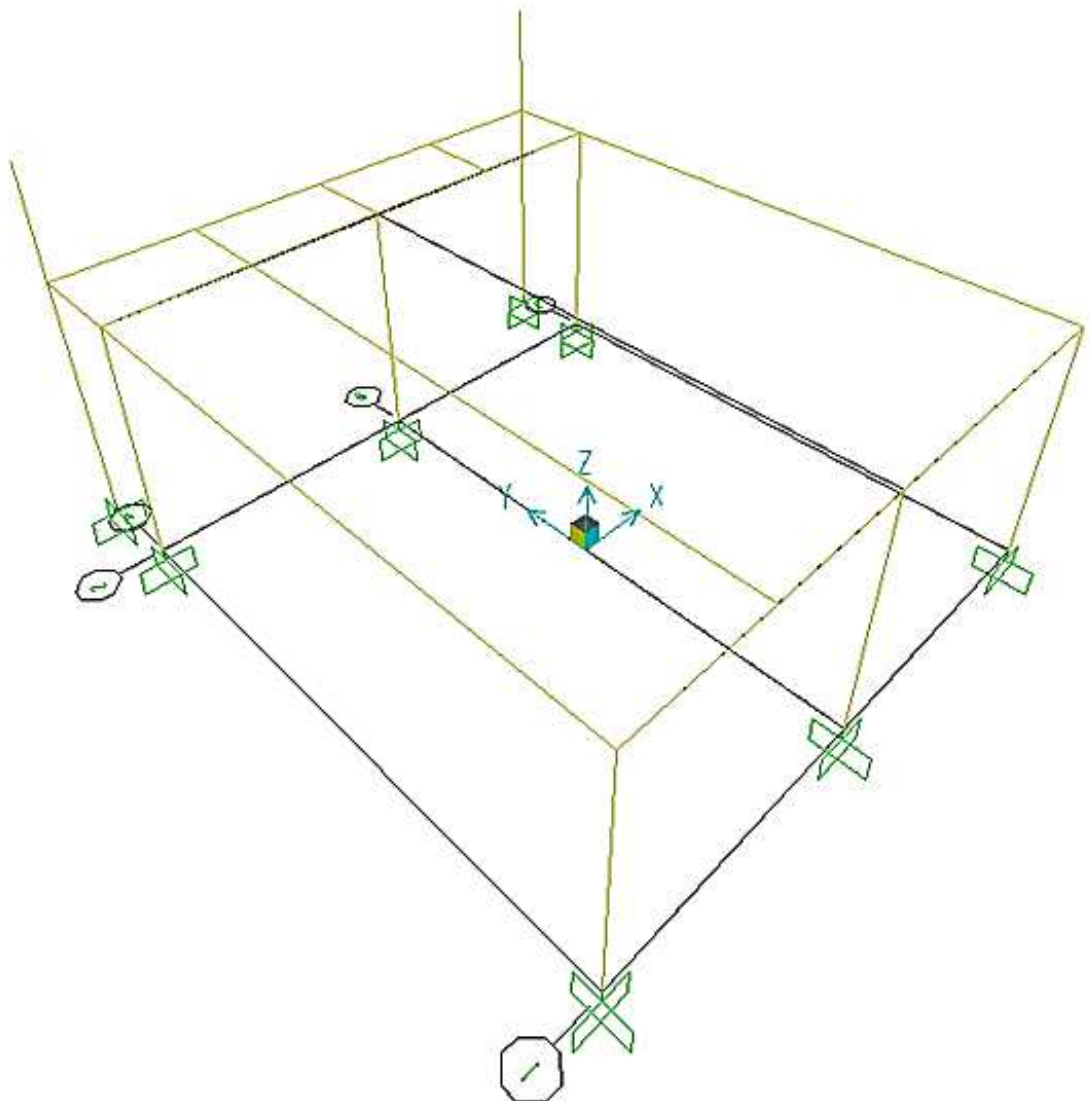


Figura 4. 1: Estructura del puente grúa con apoyo lateral.

Fuente: Autores.

2. Selección del material de los elementos estructurales:

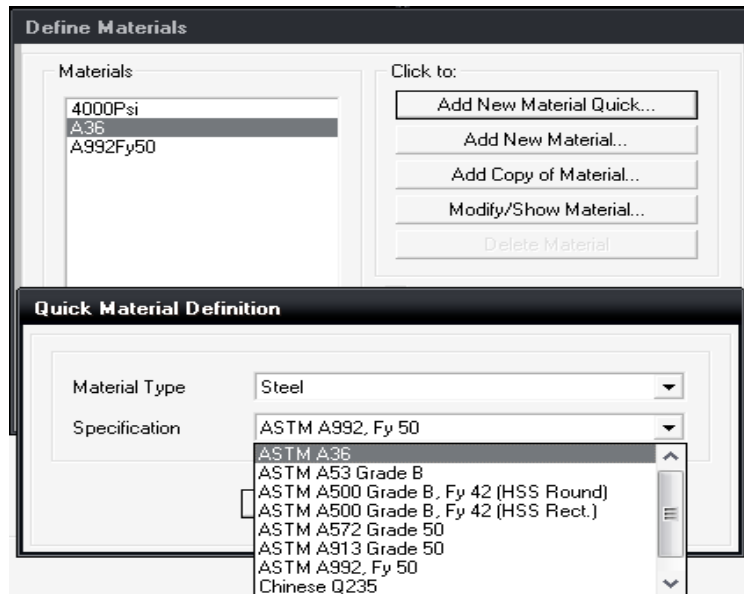


Figura 4. 2: Determinación de material según la norma.
Fuente: Autores.

3. Selección de perfiles:

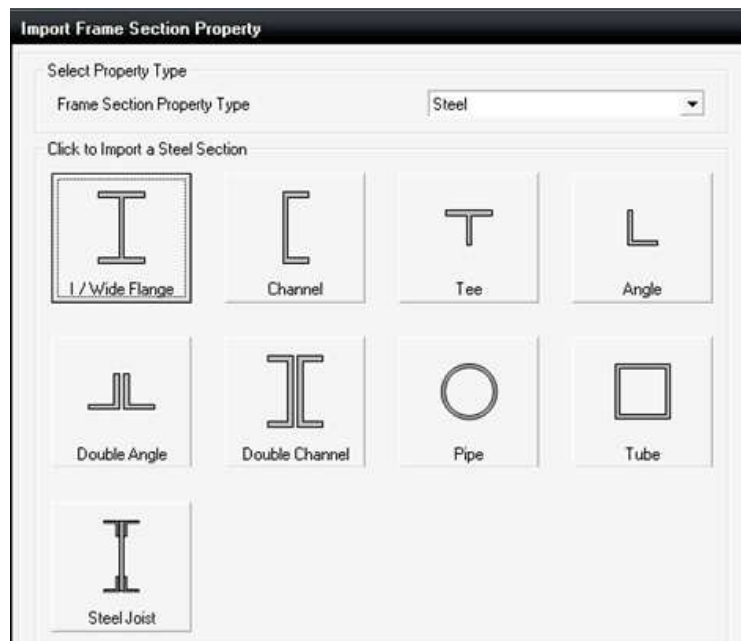


Figura 4. 3: Selección de los perfiles.
Fuente: Autores.

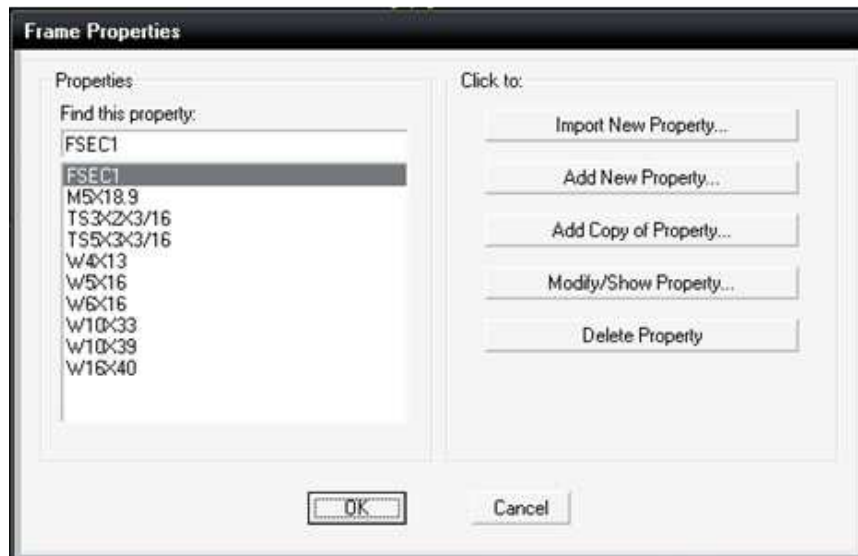


Figura 4. 4: Lista de perfiles seleccionados.
Fuente: Autores.

4. Creación de patrones de carga:

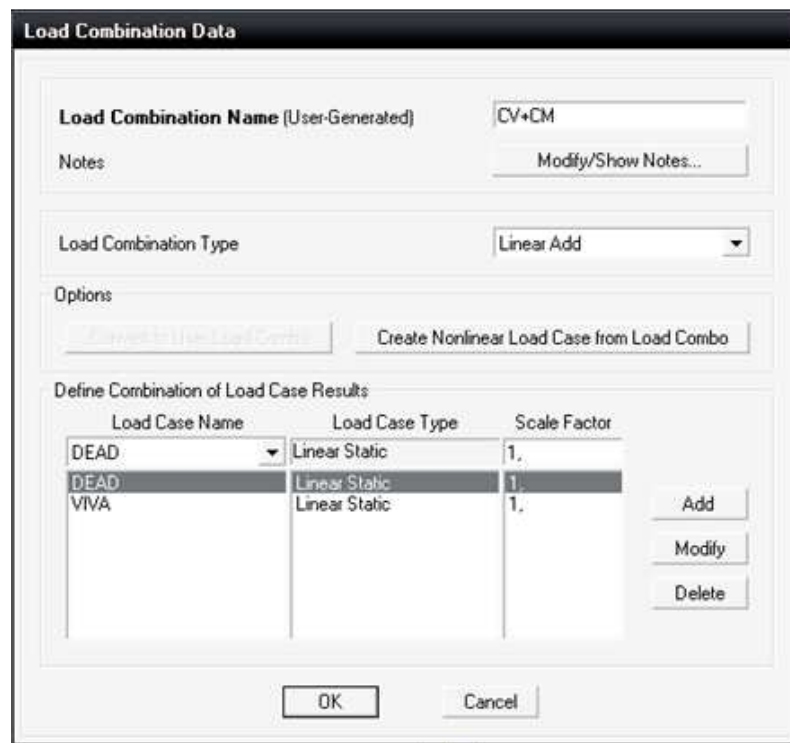
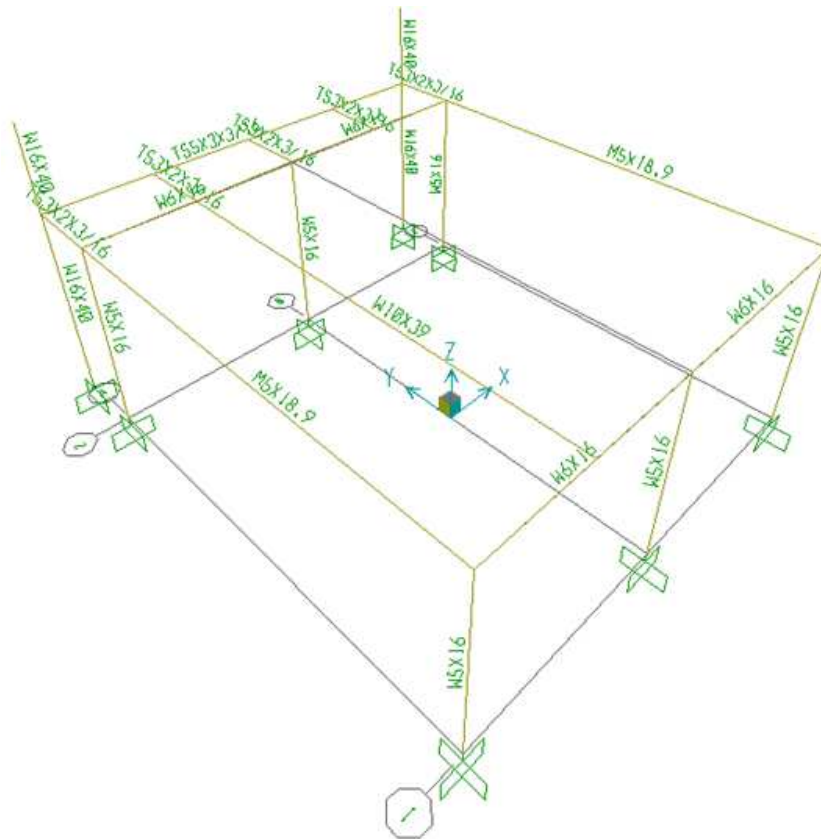


Figura 4. 5: definición de patrón de carga.
Fuente: Autores.

5. Asignación de elementos al trazado:



7. Asignación de carga:

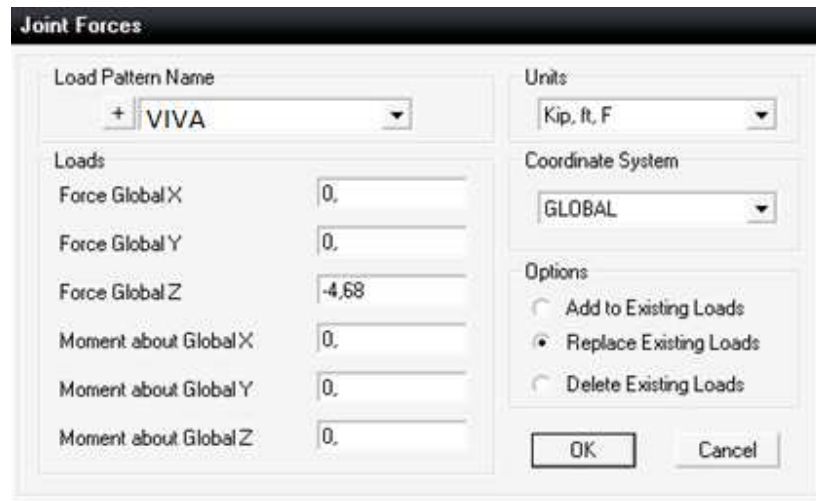


Figura 4. 8: Valor de carga.
Fuente: Autores.

Nos muestra las cargas que se han colocado.

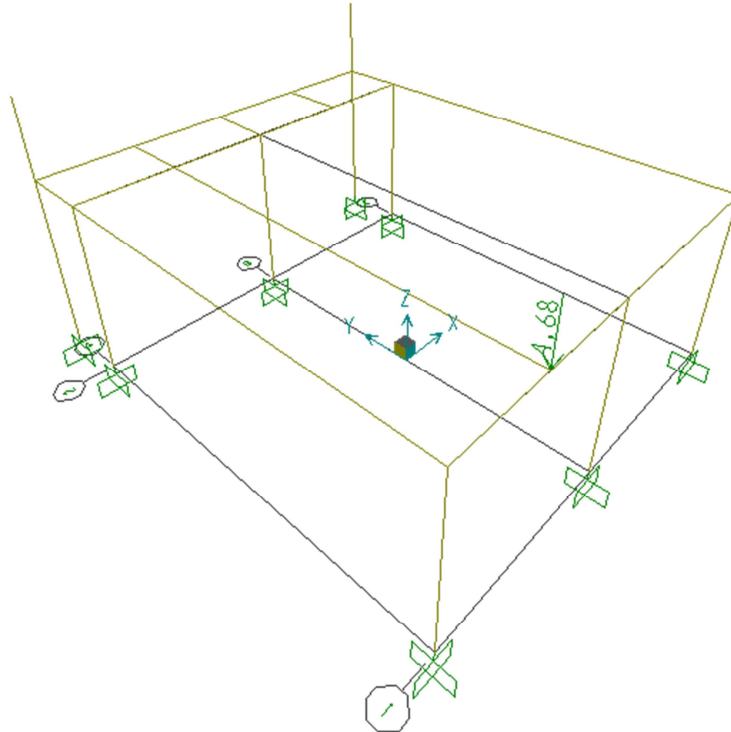


Figura 4. 9: Esquema con valor de carga.
Fuente: Autores.

8. Se corre el programa:



Figura 4. 10: Cuadro de selección de casos a ejecutar.

Fuente: Autores.

9. Se escoge la especificación para el análisis (Norma):

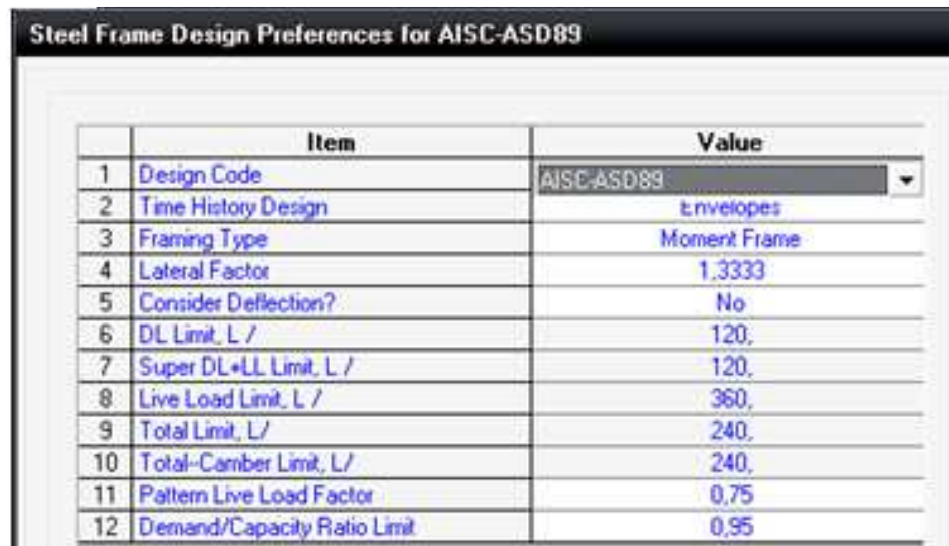


Figura 4. 11: Selección de norma ASD.

Fuente: Autores.

10. Se obtiene la figura deformada:

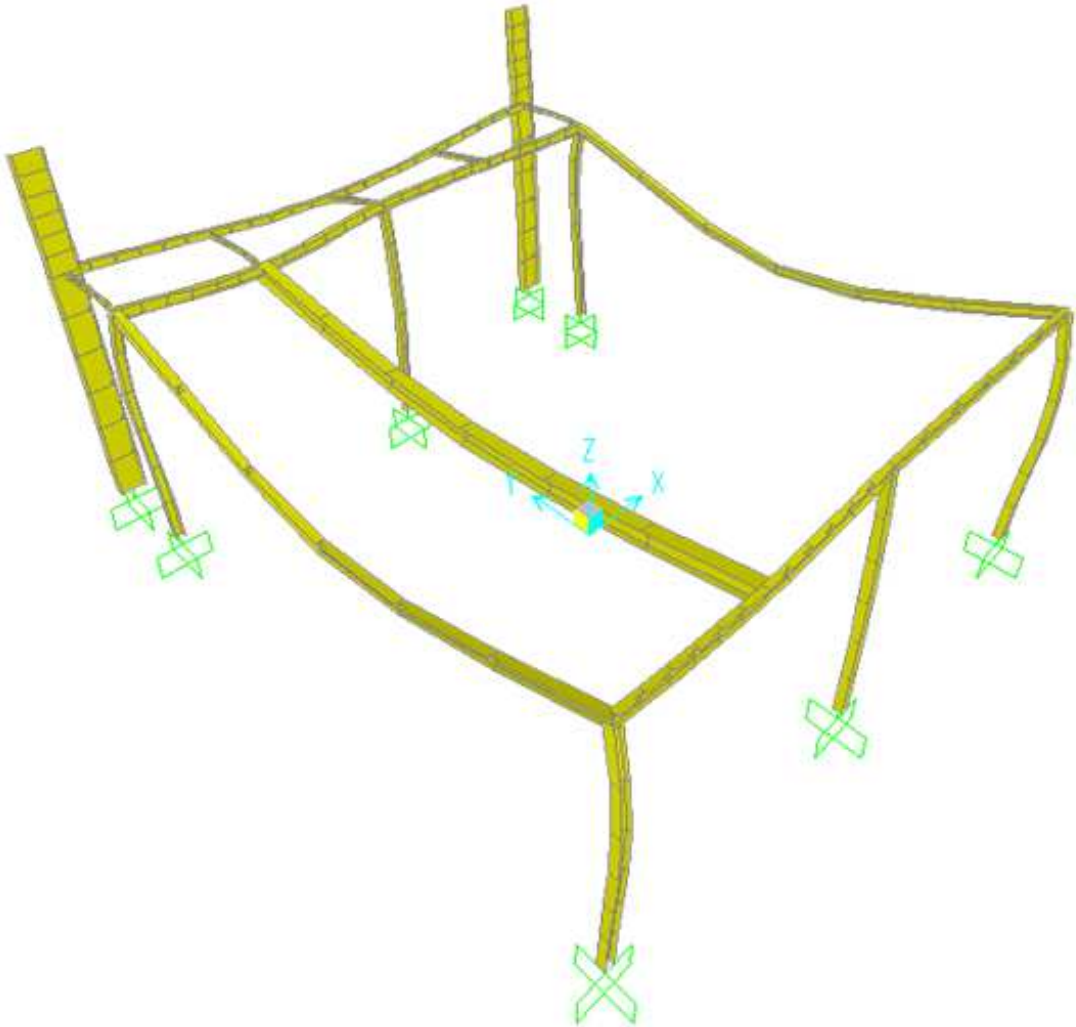


Figura 4. 12: Figura de la estructura deformada.
Fuente: Autores.

4.1.3 SIMULACIÓN DE ESTRUCTURA DEL PUENTE GRÚA EN INVENTOR

Inventor como software de análisis permite simular condiciones de carga a las que están sometidos las estructuras y elementos mecánicos, además como estos interactúan entre sí. Permite también agregar factores externos y condiciones extremas de trabajo.

La simulación de una estructura asistida por computador permite detectar posibles fallas de una manera muy sencilla. Los resultados se obtienen rápidamente y se aproximan a los cálculos efectuados previamente. Dichos resultados se pueden apreciar en tablas y si se desea se puede ampliar un punto determinado de análisis.

A continuación se presenta la simulación de cargas y esfuerzos a los que está sometida la estructura del puente grúa.

ANÁLISIS ESTÁTICO DE CARGAS

1. Selección del tipo de análisis de cargas.

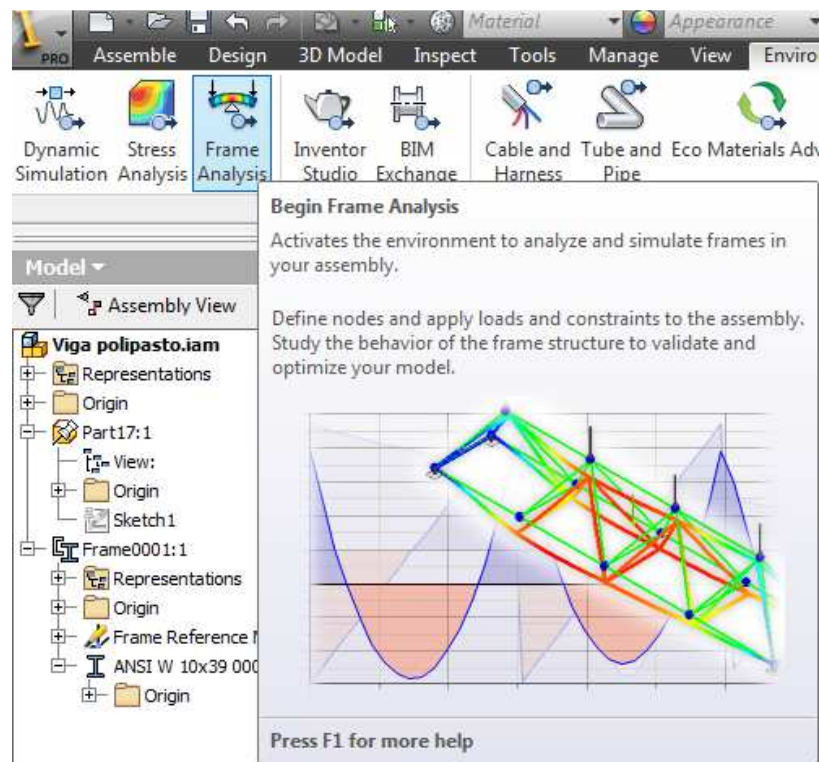


Figura 4. 18: Selección del tipo de análisis.

Fuente: Autores.

- Se configura el tipo de simulación en este caso estático.

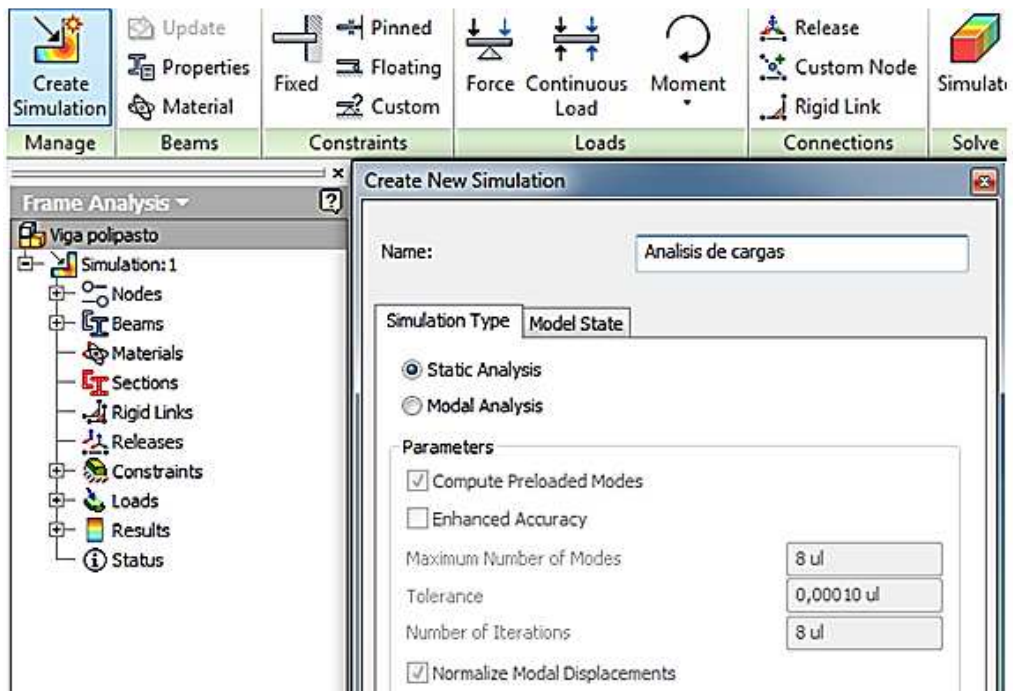


Figura 4. 19: Configuración de análisis estático.

Fuente: Autores.

- Asignación del tipo de material y editado de las propiedades del mismo.

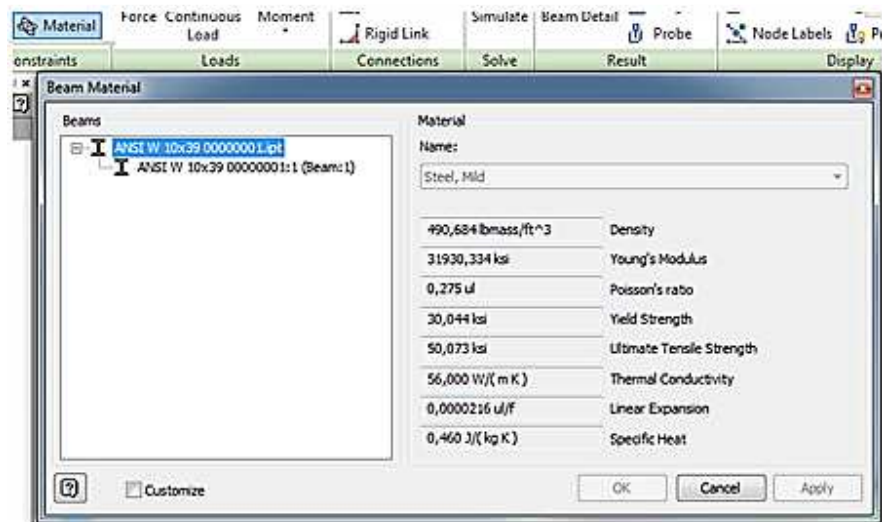


Figura 4. 20: Selección del material.

Fuente: Autores.

4. Asignación de la carga a la que será sometido el perfil del polipasto.

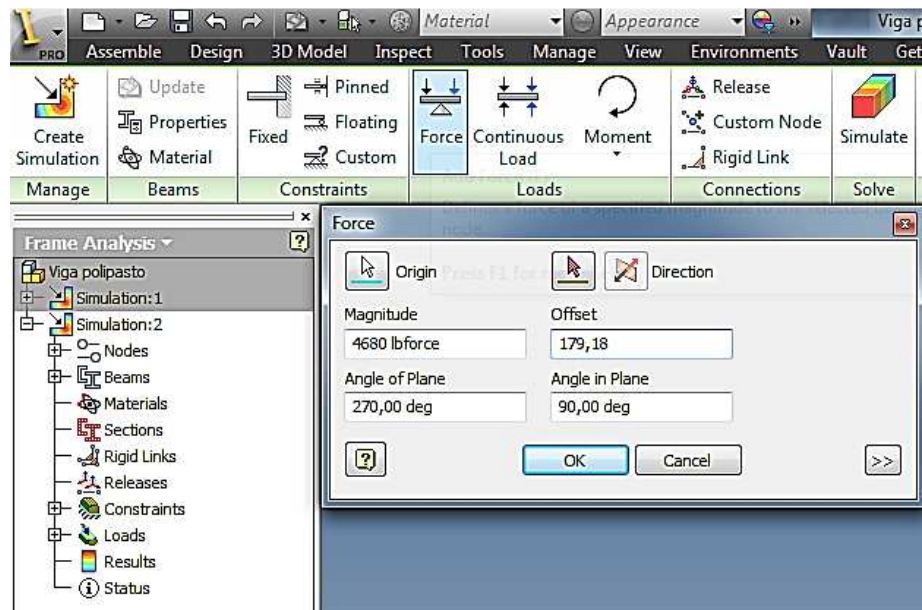


Figura 4. 21: Asignación de cargas.
Fuente: Autores.

5. Ejecución de la simulación.

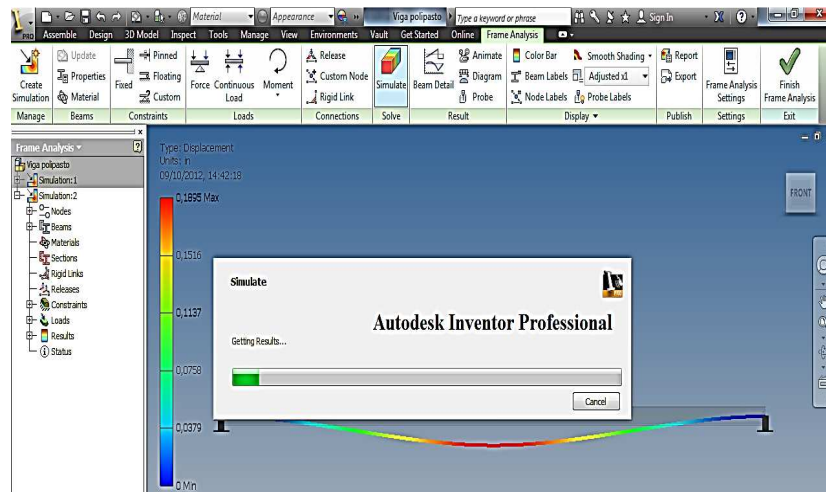


Figura 4. 22: Corrida del programa.
Fuente: Autores.

6. Se revisa la gráfica de fuerza cortante y reacciones, se compara con las calculadas y se observa que son exactamente iguales a las calculadas es decir 2.34 klb, pero hay que considerar que el software no desprecia el peso propio de la viga por lo que puede llevar a confusiones en cuanto al resultado.

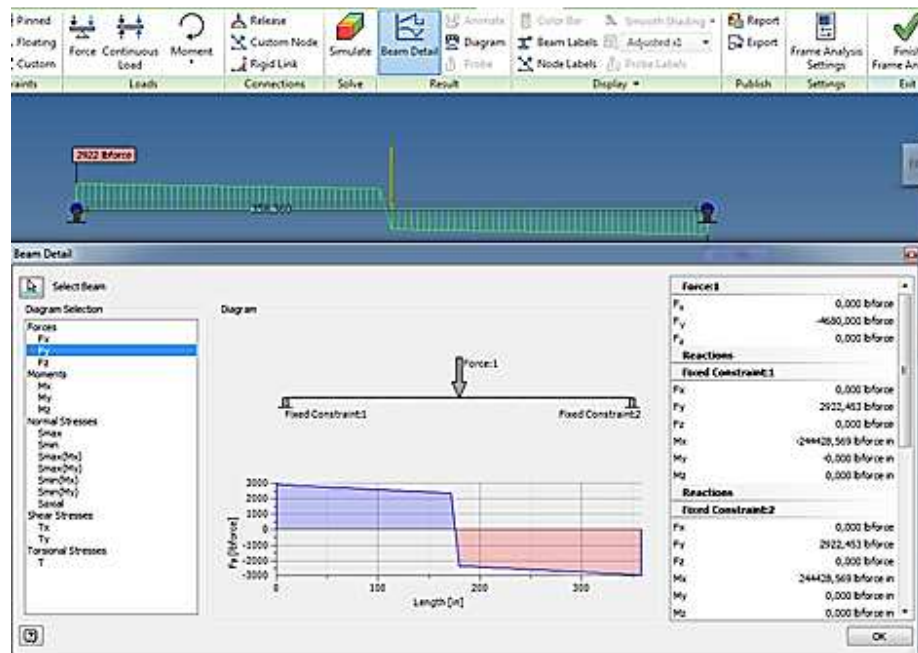


Figura 4. 23: Resultado de reacciones y fuerza cortante.
Fuente: Autores.

7. Se revisa la gráfica de momento.

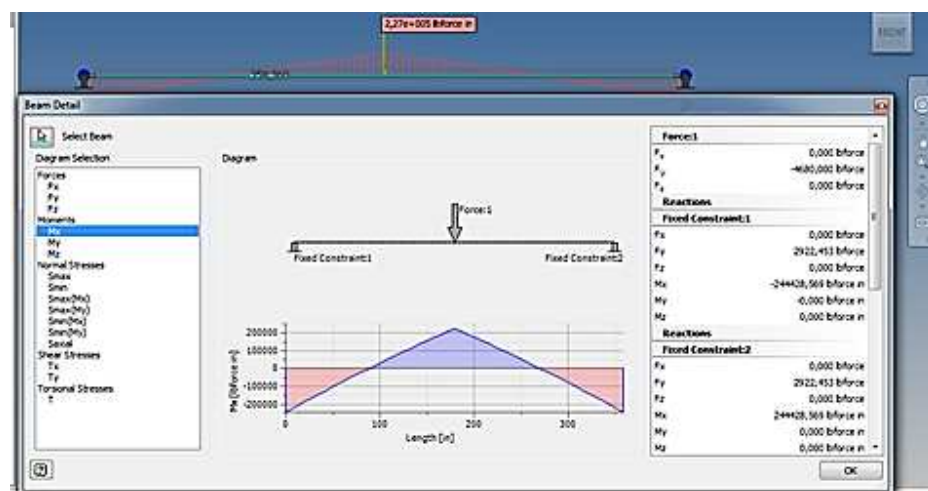


Figura 4. 24: Revisión de diagrama de momentos.
Fuente: Autores.

4.2 SIMULACIÓN DEL HORNO DE PINTURA

4.2.1 INTRODUCCIÓN

La simulación del horno de pintura muestra los fenómenos que se producen al interior de la misma y arroja resultados; tanto de la parte neumática como de la parte térmica, que serán comparados con los efectuados en la parte analítica del diseño.

El programa nos proporcionará datos tales como velocidad del fluido, temperatura y presión entre los más importantes.

Si bien tendrá que ser ejecutado partiendo de los datos iniciales del problema, tomados en base a mediciones reales, el usuario del software no interviene luego en los resultados del programa; es así como se puede verificar que un estudio se aproxime a los requerimientos reales que se pretenden.

Los software de simulación son una herramienta de apoyo para el ingeniero mecánico, puesto que proporcionan información y resultados preliminares de algún producto o proceso que se pretende construir o implementar.

Si bien los mismos creadores de tales programas no recomiendan basar totalmente un diseño en un software, sino que sean compartidos con elementos reales y con experiencia en el campo que se investiga, los recomiendan para ahorro de tiempo y dinero en el desarrollo de un producto.

Solidworks es un software avanzado para diseño mecánico y brinda la posibilidad de simular eventos sobre elementos creados.

A continuación se detalla el proceso que se sigue para ejecutar las tareas y obtener resultados que puedan ser cotejados con los cálculos previos del horno de pintura.

4.2.2 DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN

1. Se verifica el volumen del fluido.

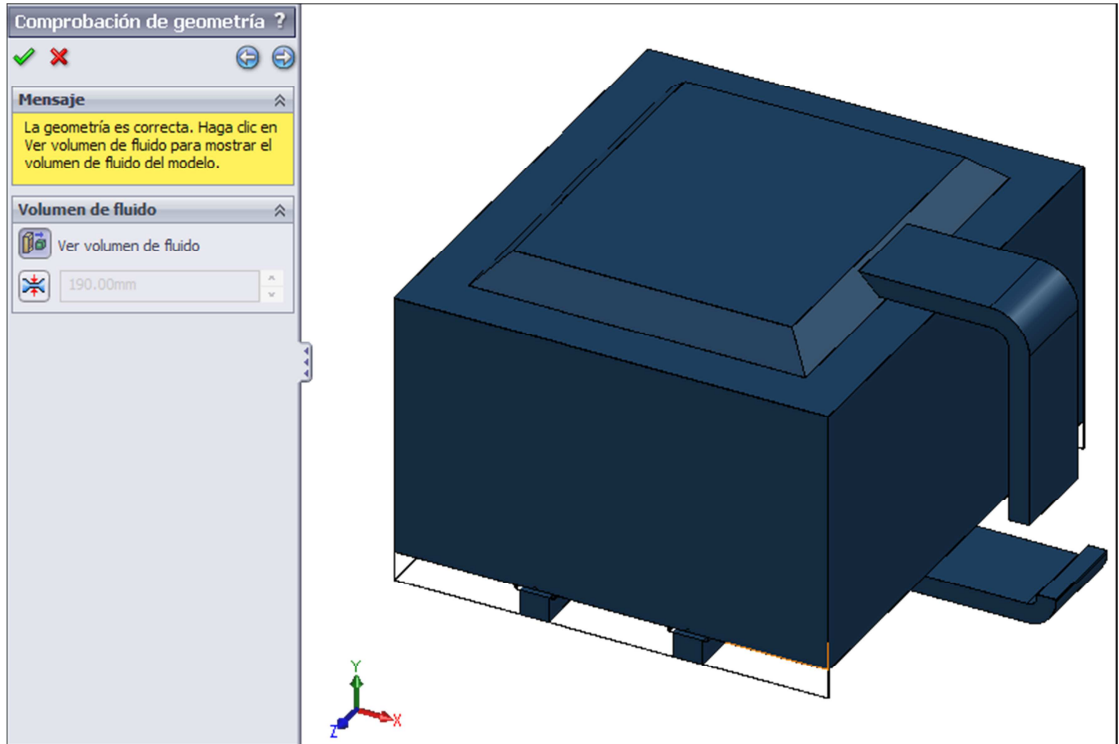


Figura 4. 25: Verificación del volumen del fluido.

Fuente: Autores.

2. Se determina el fluido que actúa: Aire para este caso:

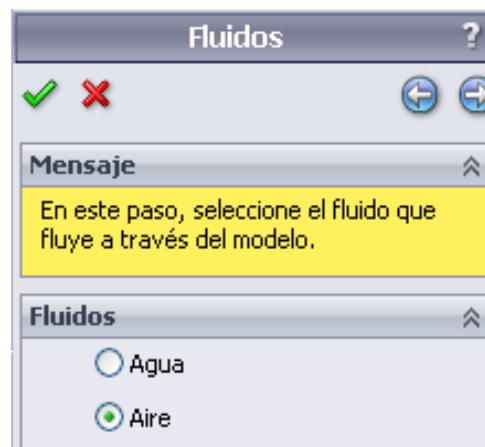


Figura 4. 26: Selección del fluido.

Fuente: Autores.

3. Se ingresa las condiciones de flujo másico y temperatura de entrada. Se debe indicar además el lugar por donde ingresa el fluido.

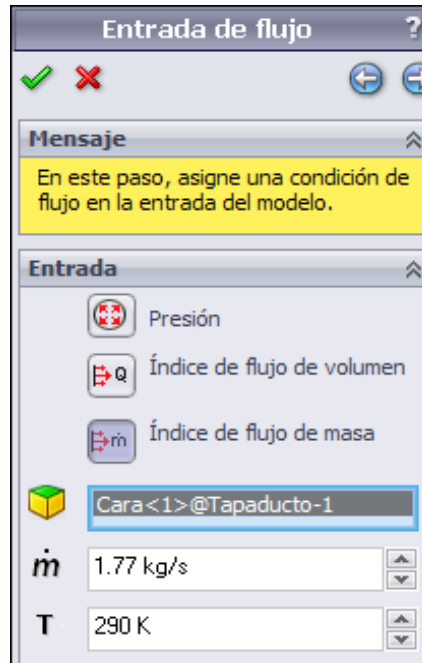


Figura 4. 27: Ingreso de valor de flujo másico y temperatura.
Fuente: Autores.

4. Se indica la presión a la salida del horno que en este caso es la atmosférica, y se indica el lugar por el cual sale el fluido.

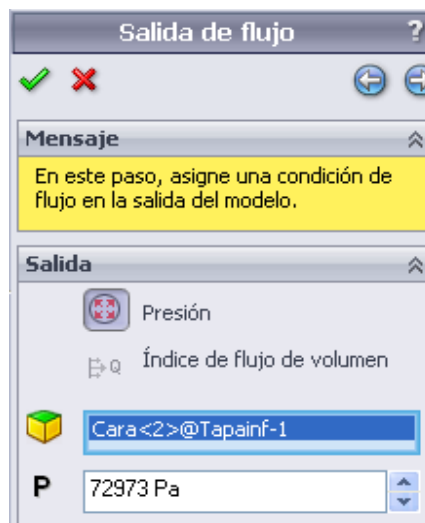


Figura 4. 28: Ingreso de valor de presión de salida.
Fuente: Autores.

5. Finalmente se procede a solucionar el modelo.

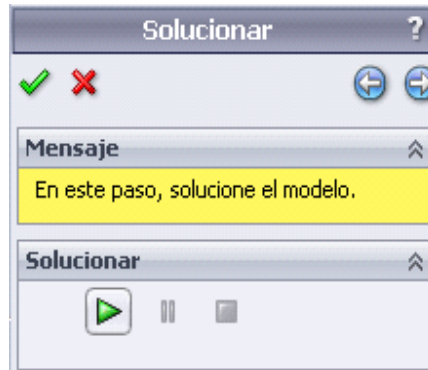


Figura 4. 29: Solución del modelo.
Fuente: Autores.

El programa procede a realizar las iteraciones:

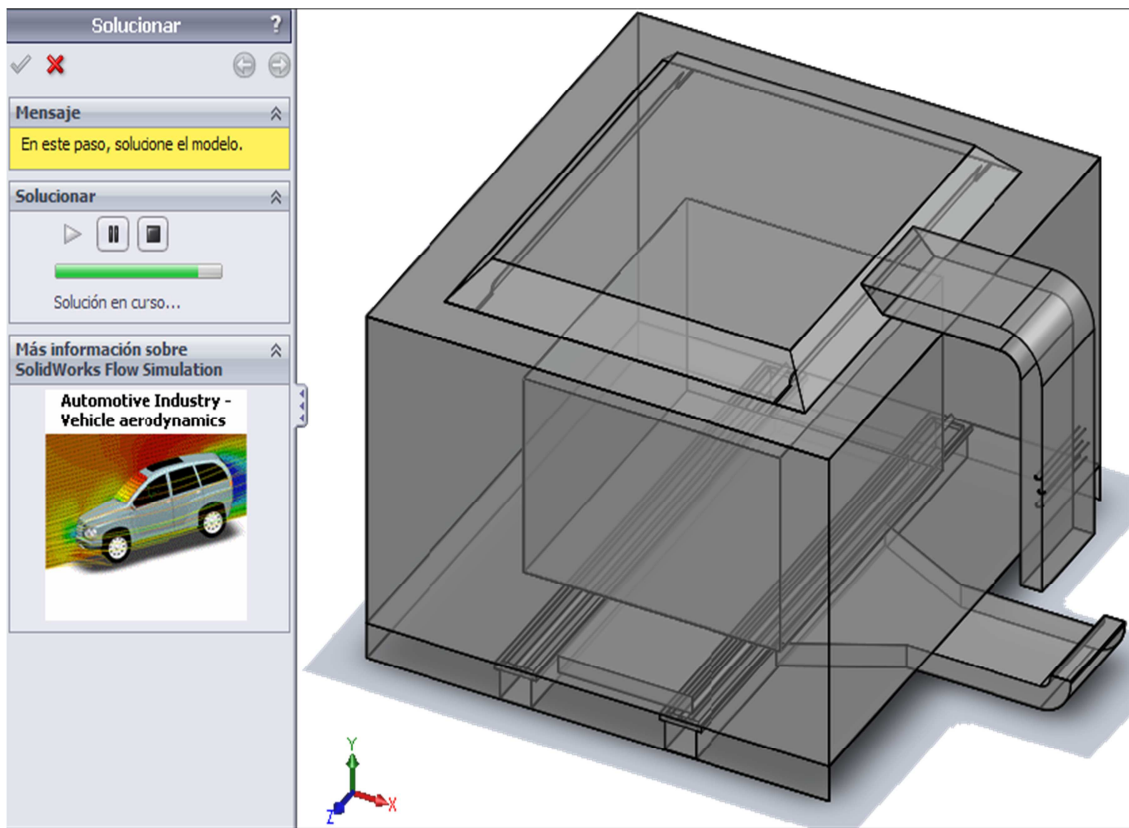


Figura 4. 30: Solución del modelo.
Fuente: Autores.

Muestra las líneas de flujo al interior con variación de colores para identificar el rango de velocidades:

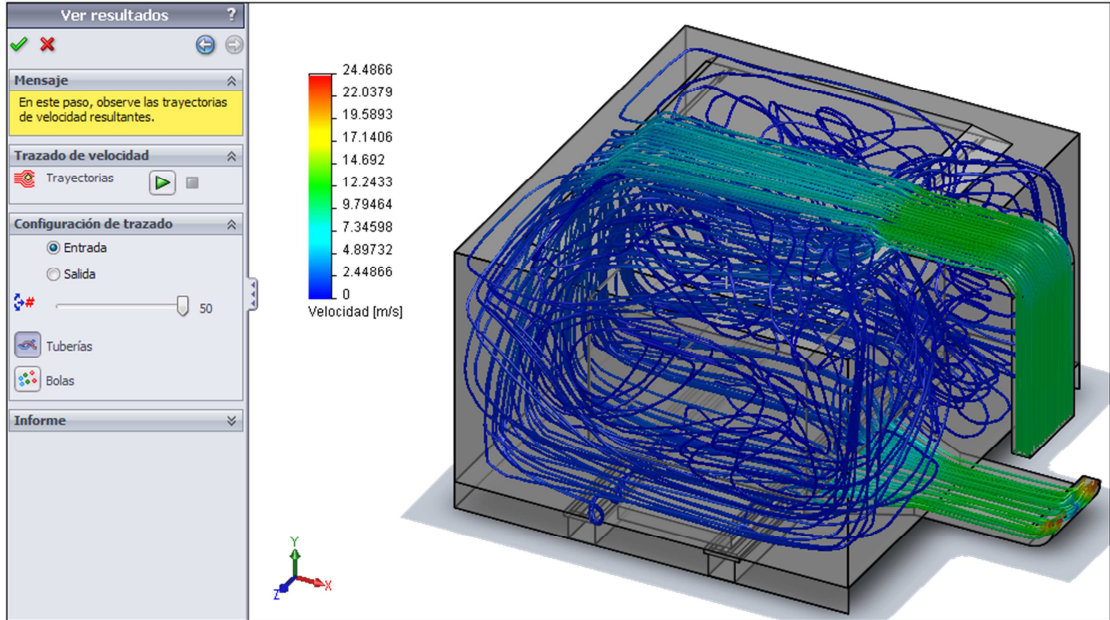


Figura 4. 31: Presentación de velocidades del flujo interior.
Fuente: Autores.

Revisión en otras vistas:

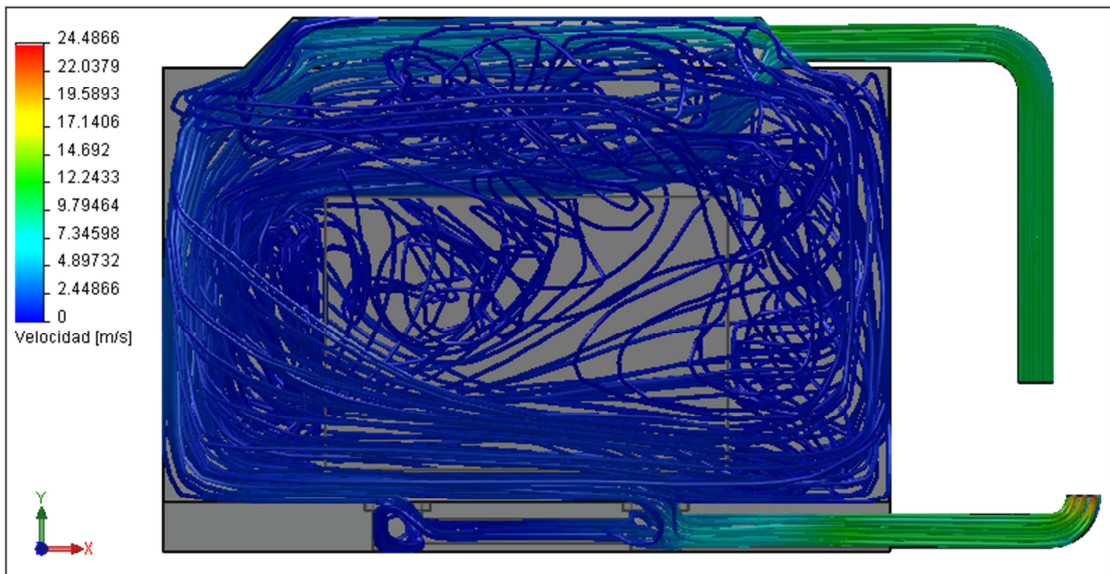


Figura 4. 32: Presentación de velocidades del flujo interior (vista frontal).
Fuente: Autores.

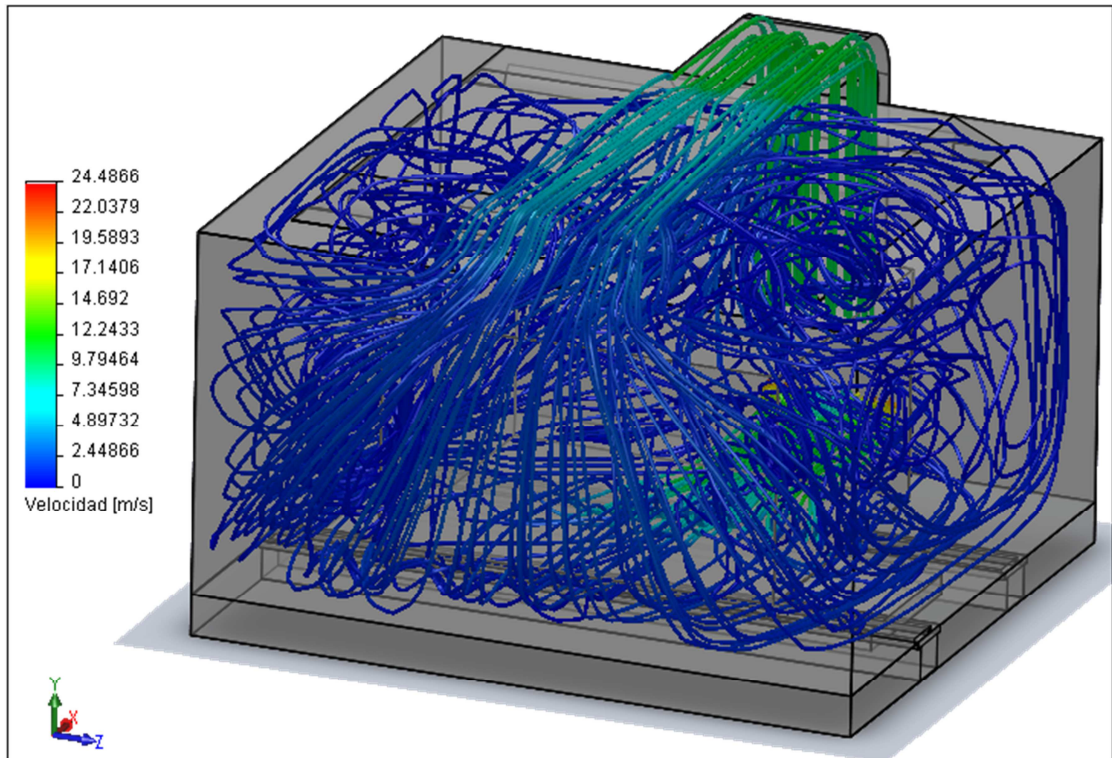


Figura 4. 33: Presentación de velocidades del flujo interior (vista trimétrica).

Fuente: Autores.

Se verifica que la velocidad al interior del horno se encuentra en el rango menor a 1 m/s que resulta correcto dado las indicaciones del análisis; y que la velocidad de entrada se encuentra en el rango que fue calculado sin haber tenido que ingresarlo como dato inicial al software; esto es aproximadamente 12.5 m/s.

Este complemento llamado “FloXpress” puede mostrar los datos de velocidad en el interior del horno pero está limitado para realizar el análisis térmico, por ello se hace necesario el apoyo de otro complemento llamado “Flow Simulation”.

Con este nuevo complemento es posible añadir opciones avanzadas al diseño, que mostrarán resultados que puedan ser comparados con respecto al funcionamiento térmico.

Para ello se puede seguir las instrucciones de un “Wizard” que guarda los datos acerca del diseño.

1. Nombre del proyecto y comentarios:

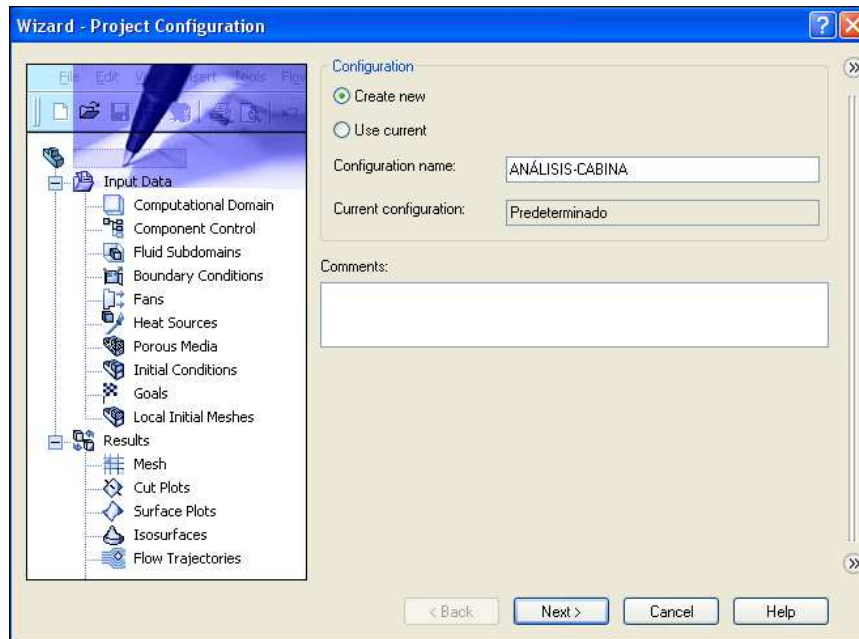


Figura 4. 34: Ingreso del título del diseño.

Fuente: Autores.

2. Definición del sistema de medidas y unidades:

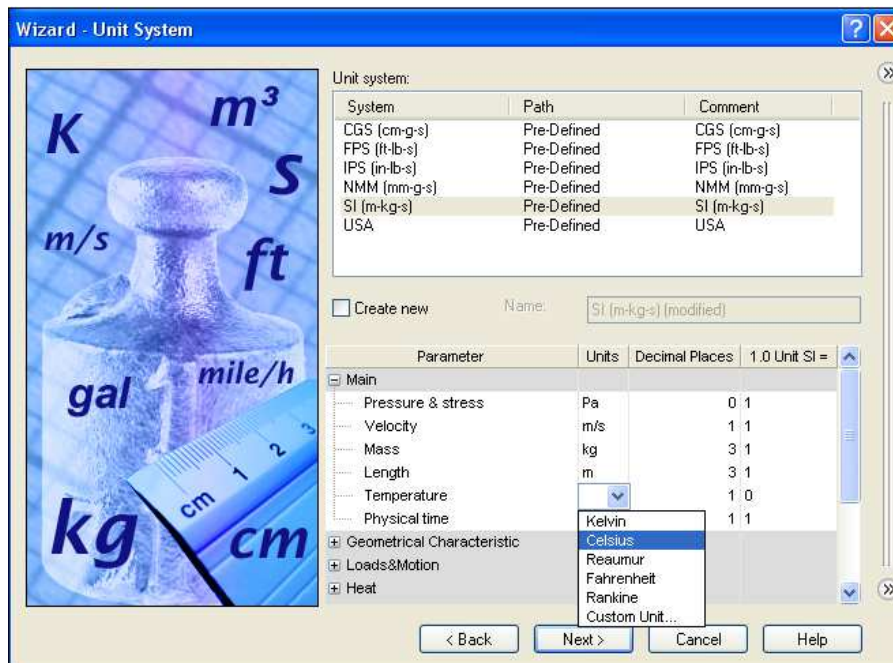


Figura 4. 35: Designación del sistema de unidades.

Fuente: Autores.

3. Tipo de análisis:

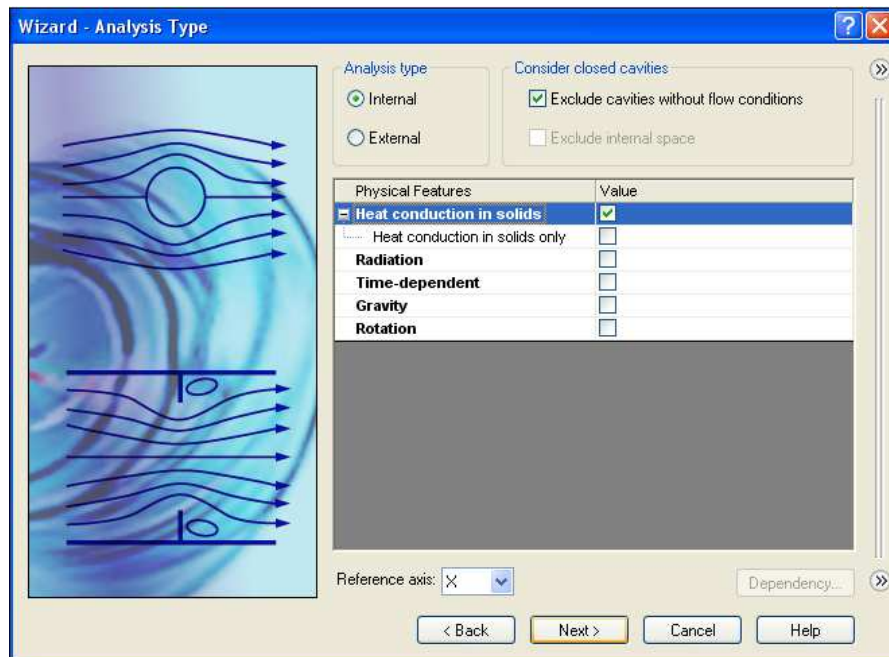


Figura 4. 36: Selección del tipo de análisis.
Fuente: Autores.

4. Fluido: AIRE.

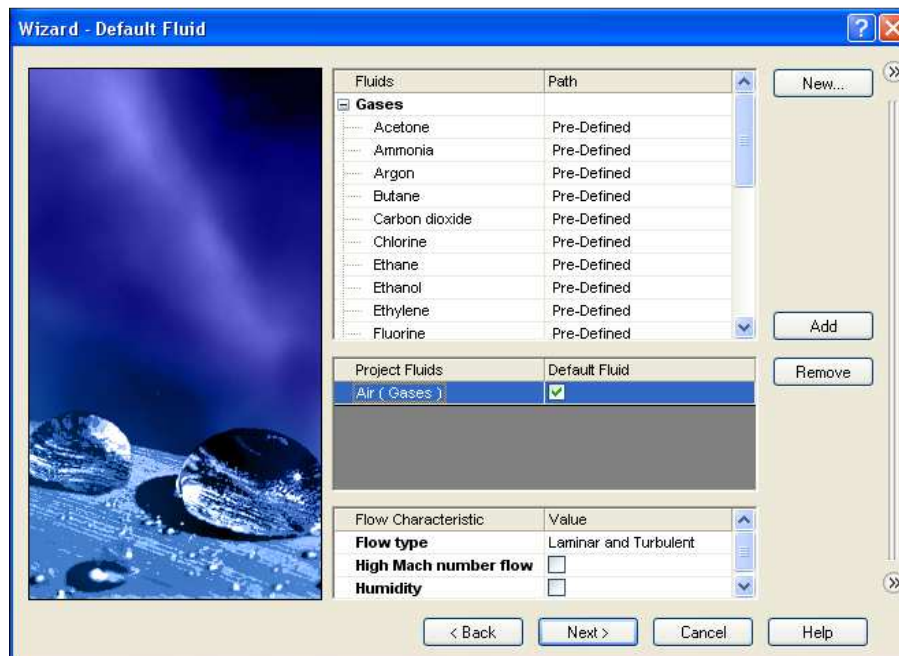


Figura 4. 37: Selección del fluido.
Fuente: Autores.

5. Material de las paredes del horno:

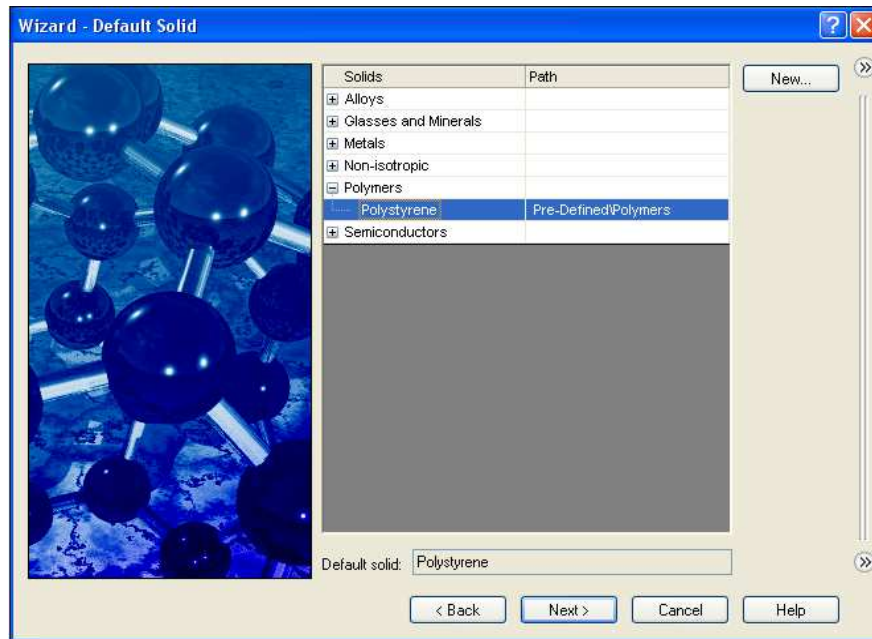


Figura 4. 38: Elección del material.

Fuente: Autores.

6. Condiciones de la pared: Temperatura exterior.

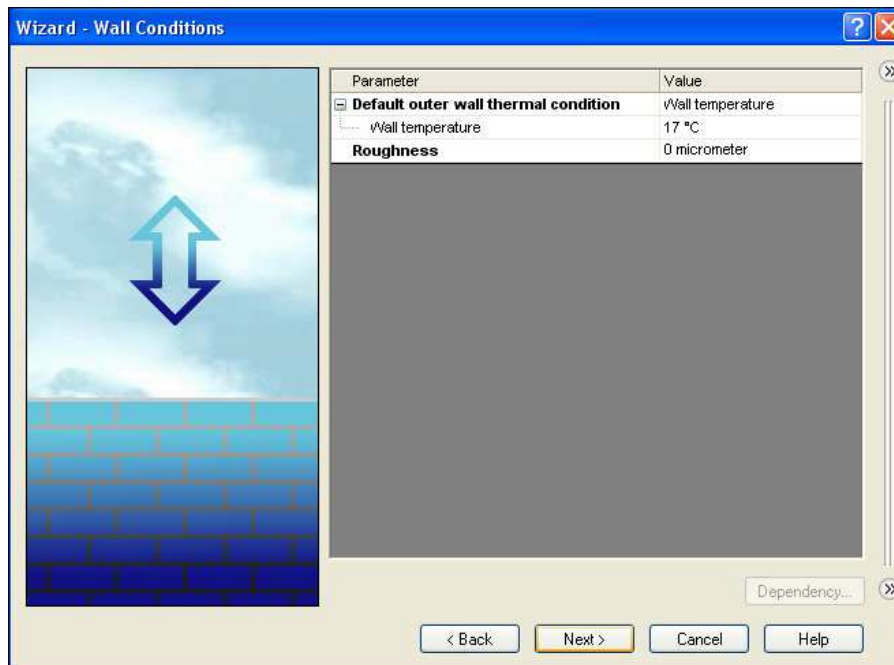


Figura 4. 39: Condiciones de la pared.

Fuente: Autores.

7. Condiciones iniciales: Presión y Temperatura.

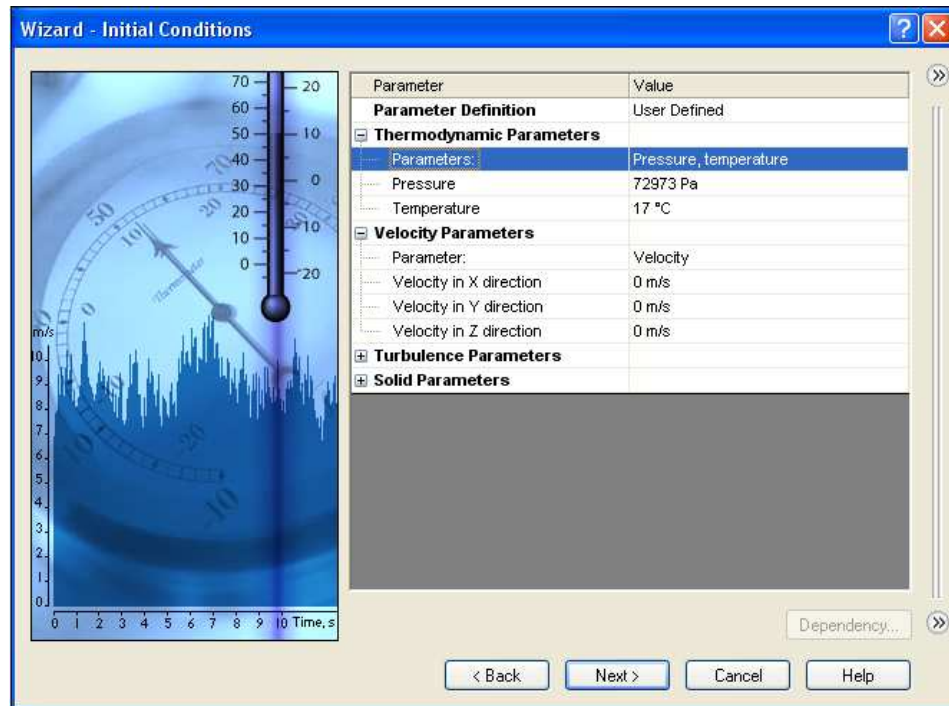


Figura 4. 40: Parámetros iniciales de presión y temperatura.

Fuente: Autores.

8. Especificación del espesor de pared: 2 pulgadas.

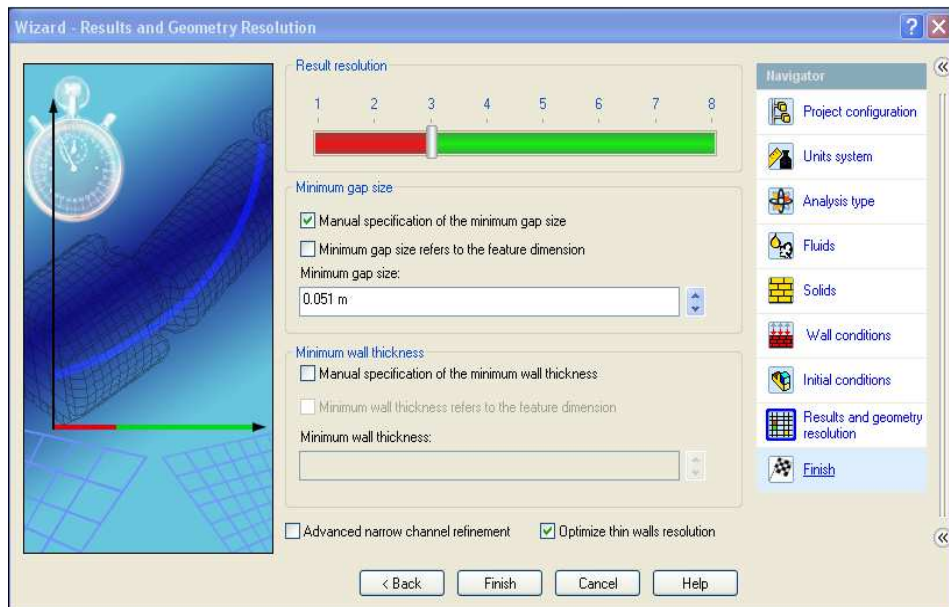


Figura 4. 41: Ingreso del espesor de pared.

Fuente: Autores.

Una vez realizada esta configuración, se procede a insertar datos que interesan para obtener el análisis completo, es decir en unión del ventilador con las resistencias eléctricas.

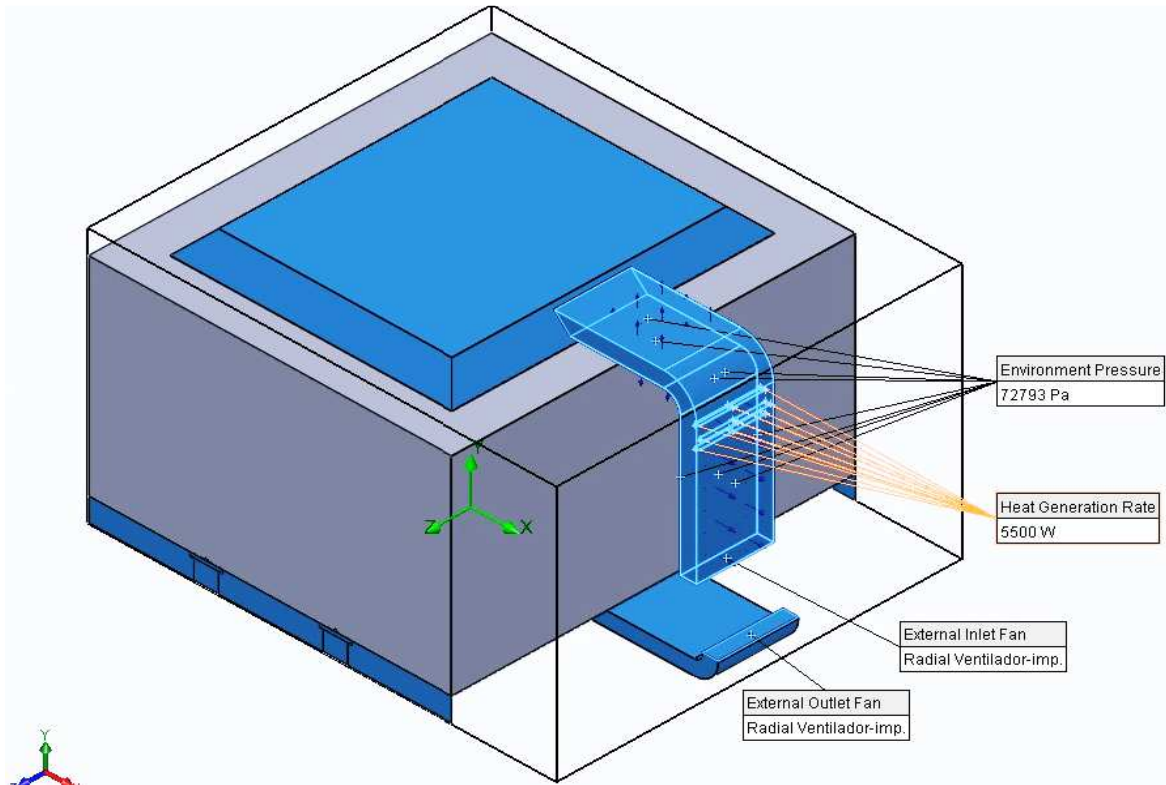


Figura 4. 42: Presentación del modelo con valores a analizar.

Fuente: Autores.

Se observa que se encuentran los datos y valores que se necesita analizar:

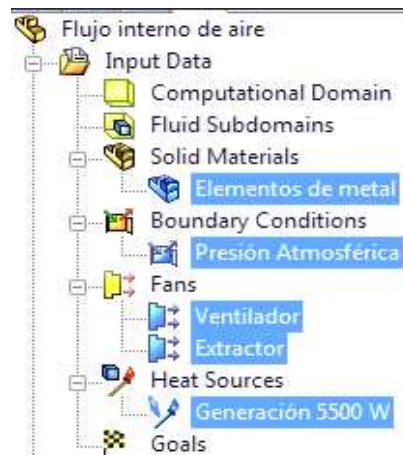


Figura 4. 43: Detalles de elementos de análisis.

Fuente: Autores.

En este caso se asignó el material como acero al ducto de entrada y salida, las resistencias, la placa de entrada que funciona con los datos insertados del ventilador y el techo; además se indica el flujo másico y los valores de presión. El ventilador insertado fue creado con la curva que se ha determinado para el sistema, y las resistencias simulan el valor Q de 5500 W que se calculó para el requerimiento de calor. Finalmente el programa puede correr.

Una vez terminado el proceso de cálculo de software se obtiene los siguientes resultados:

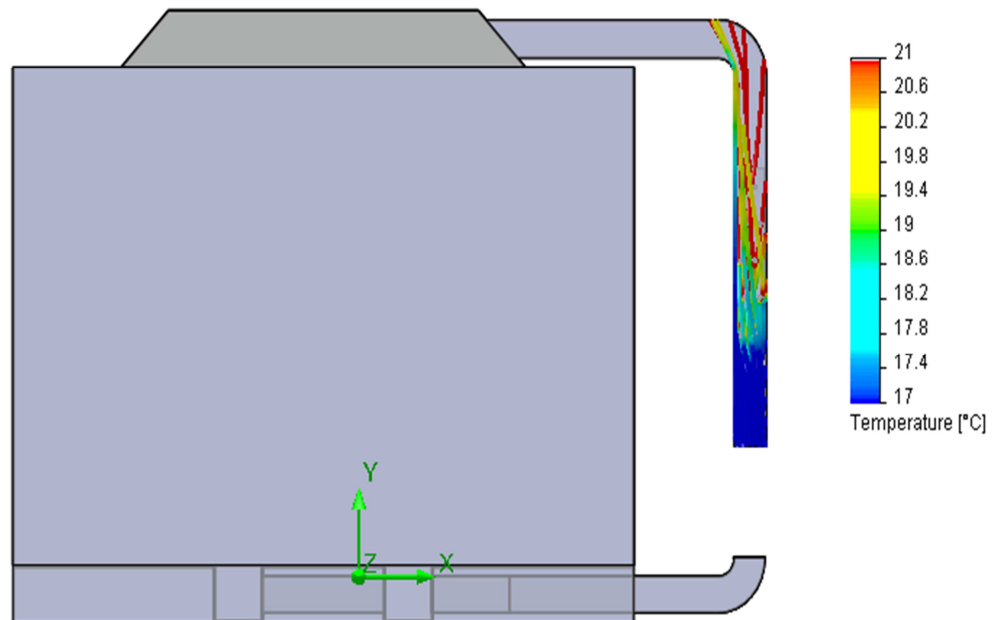


Figura 4. 44: Presentación de velocidades del flujo interior (vista frontal).

Fuente: Autores.

Con la variación de colores que presenta el programa se verifica que el aire que ingresa al ducto, realmente está siendo calentado hasta la temperatura deseada tras su paso por las resistencias eléctricas. En la parte inferior del ducto se tiene un azul intenso que demuestra que el aire que ingresa está a 17°C y que al llegar al codo superior ya ha variado en al menos tres grados Celsius. Es importante tomar en cuenta que en ningún momento se introdujo al programa valores de temperatura fuera de los requeridos en los exteriores de las paredes del horno.

Se puede verificar el cambio de la temperatura del fluido, en la sección del ducto en la que se alojan las resistencias.

Se aprecia en la figura 4.37 que: una vez que ha ingresado el fluido cruza las resistencias y que luego cambia su temperatura. En la escala se observa que el color verde se encuentra en un rango de entre 19 y 22 grados Celsius; lo que indica que no importa si variamos la escala de temperatura, la gama de colores se adecuará a la temperatura a la que este se encuentra.

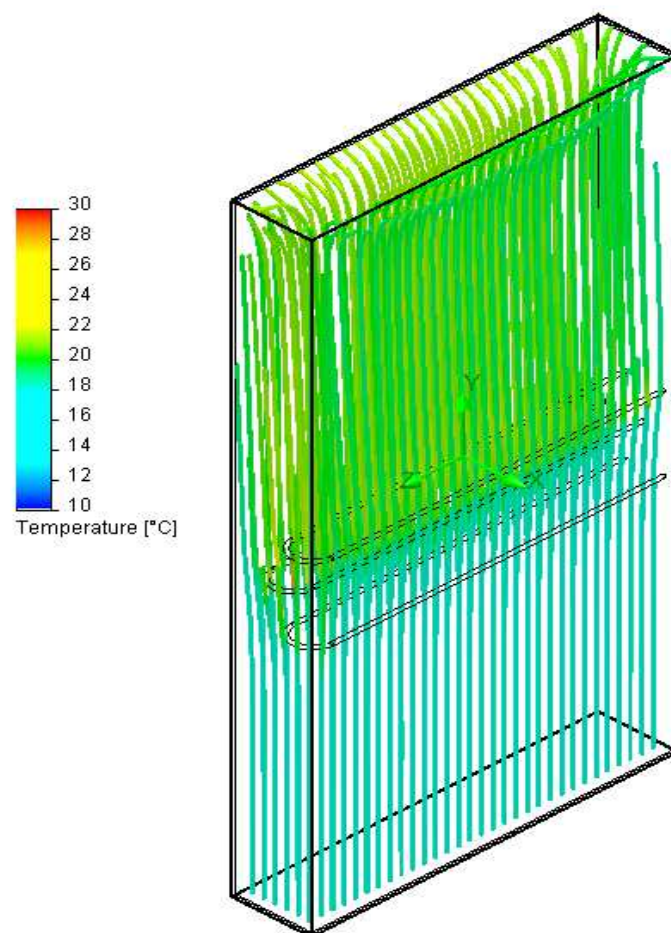


Figura 4. 45: Resultados de temperatura en escala ampliada.
Fuente: Autores.

Este efecto se puede verificar en la figura 4.38, usando la escala para saber la máxima temperatura a la que llegó el fluido luego de atravesar las resistencias.

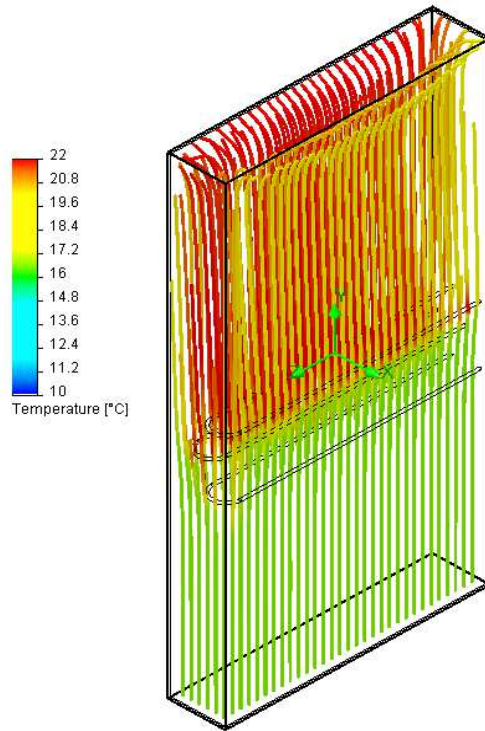


Figura 4. 46: Reducción de la escala para verificación de temperatura.
Fuente: Autores.

Finalmente se puede apreciar la presión al interior del horno.

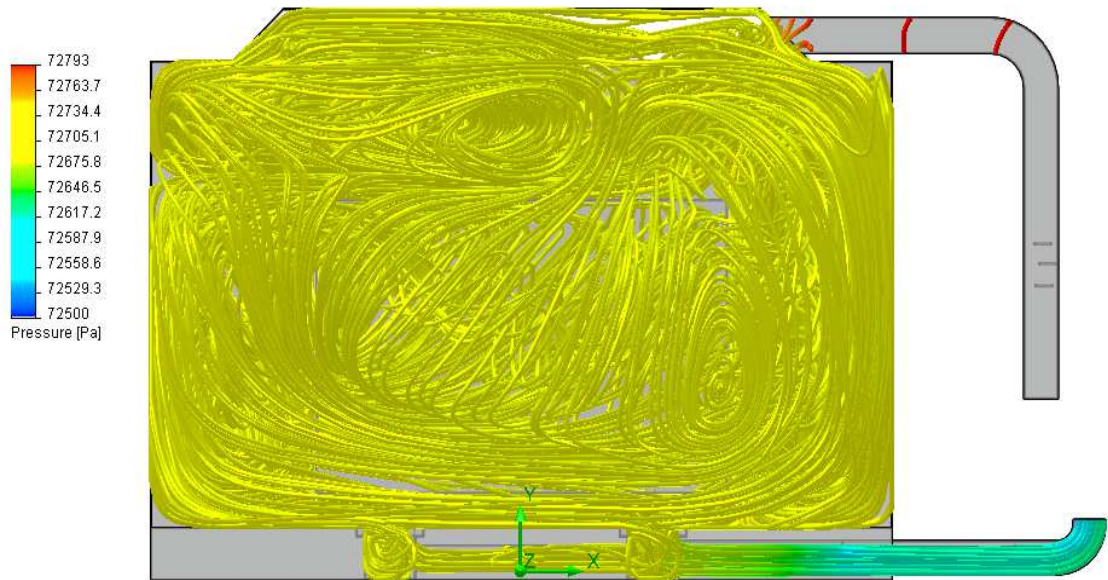


Figura 4. 47: Vista frontal escala de presión.
Fuente: Autores.

Vista tridimensional para el parámetro presión.

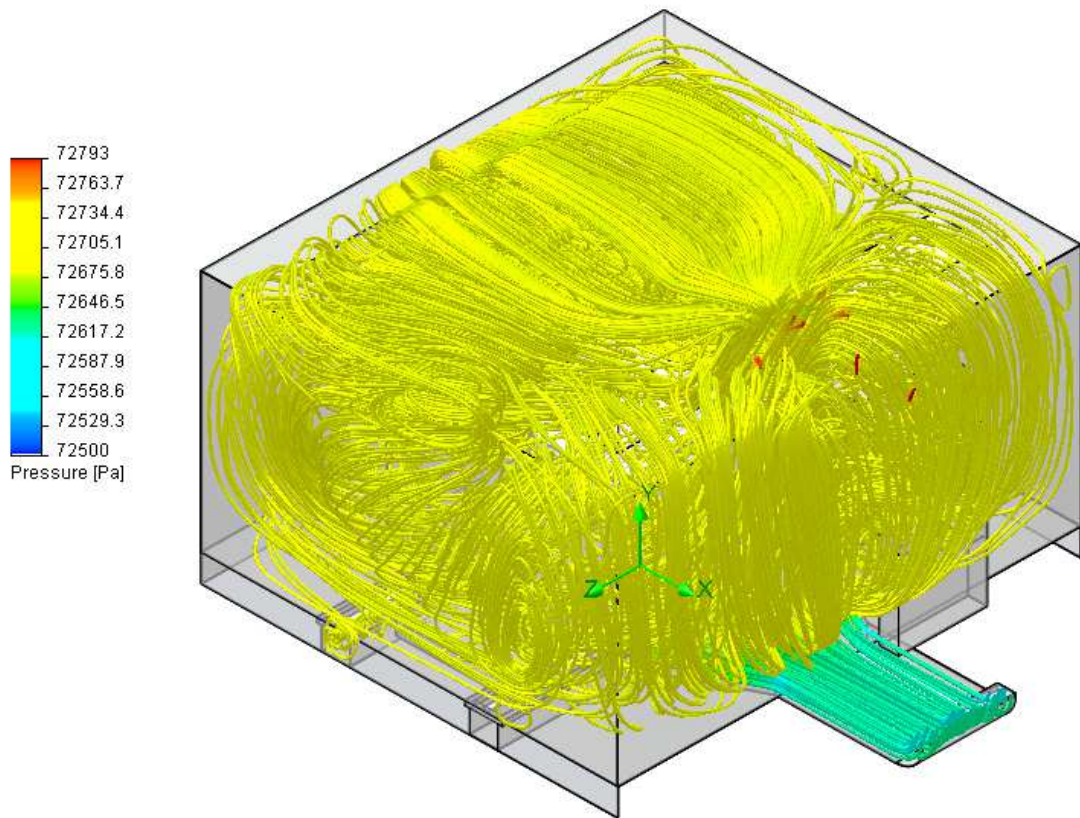


Figura 4. 48: Vista trimétrica líneas de presión.
Fuente: Autores.

4.3 SIMULACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL HORNO DE PINTURA

Con el uso del programa SAP 2000 se procederá de idéntica manera que con la simulación del puente grúa.

Lo que se necesita saber de esta estructura es que resista las cargas de los elementos, los paneles aislantes y el peso estimado para que el personal realice la instalación y mantenimiento.

Entonces se siguen estos pasos:

1. Diseño de la estructura en el programa:

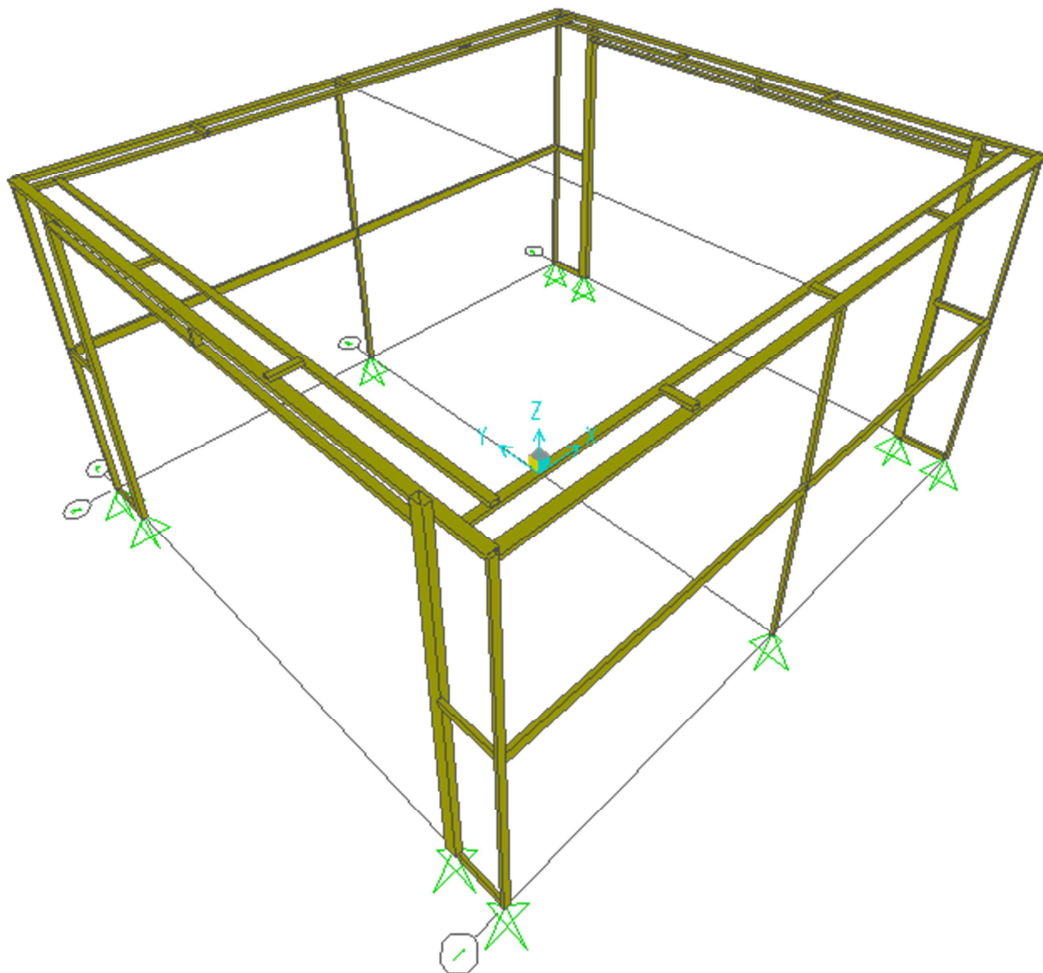


Figura 4. 49: Diseño estructural del horno.

Fuente: Autores.

2. Selección de los elementos de la estructura:

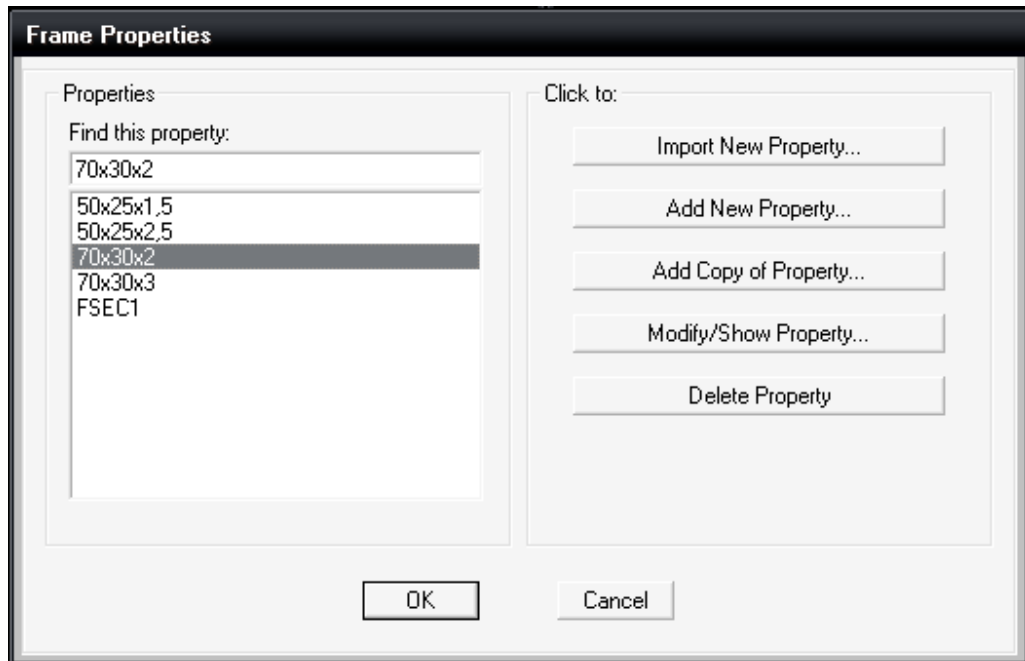


Figura 4. 50: Selección de los perfiles.
Fuente: Autores.

3. Definición del material:

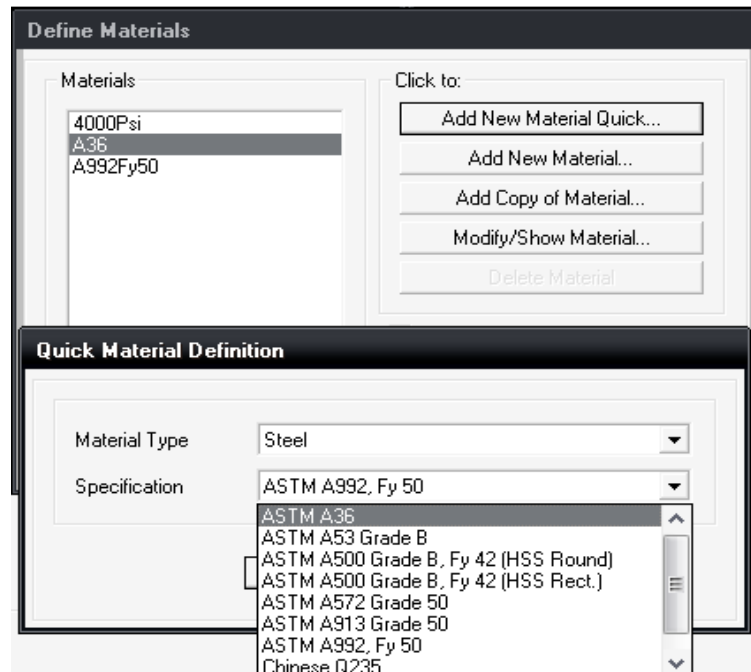


Figura 4. 51: Determinación de material según la norma.
Fuente: Autores.

4. Asignación de elementos:

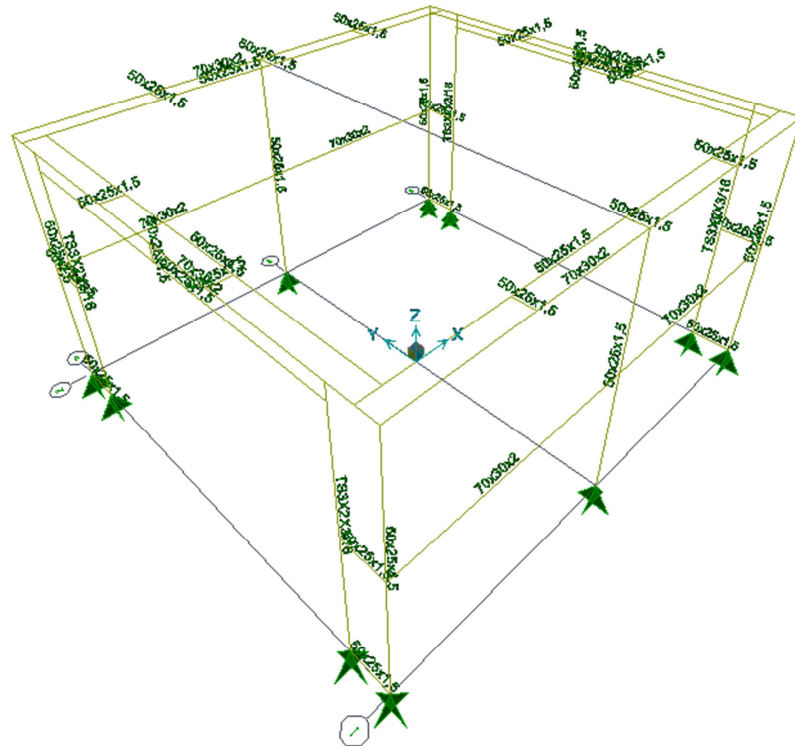


Figura 4. 52: Esquema con elementos asignados.
Fuente: Autores.

5. Asignación de carga distribuida y puntual:

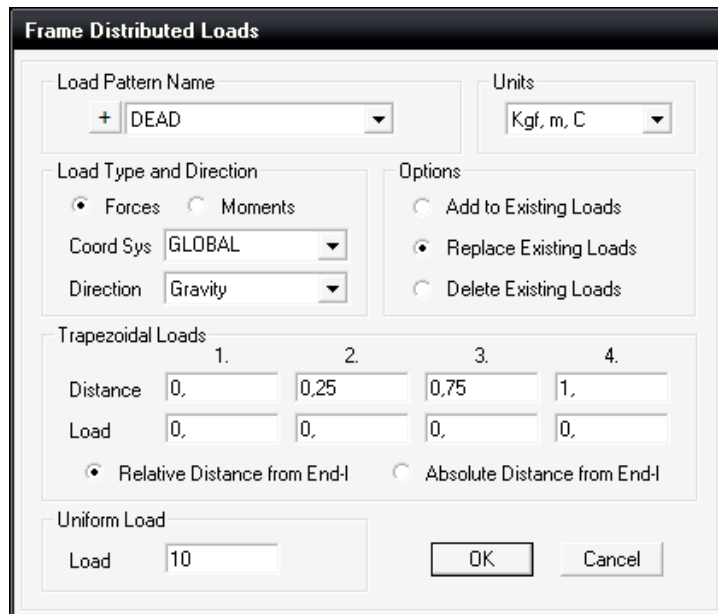


Figura 4. 53: Ingreso de valor de carga distribuida.
Fuente: Autores.

Frame Point Loads

Load Pattern Name: Units:

Load Type and Direction: Forces Moments
 Coord Sys:
 Direction:

Options: Add to Existing Loads
 Replace Existing Loads
 Delete Existing Loads

Point Loads:

	1.	2.	3.	4.
Distance	0,5	0,25	0,75	1,
Load	100	0,	0,	0,

Relative Distance from End-I Absolute Distance from End-I

OK Cancel

Figura 4. 54: Ingreso de valor de carga puntual.
 Fuente: Autores.

6. Muestra las cargas que se han colocada.

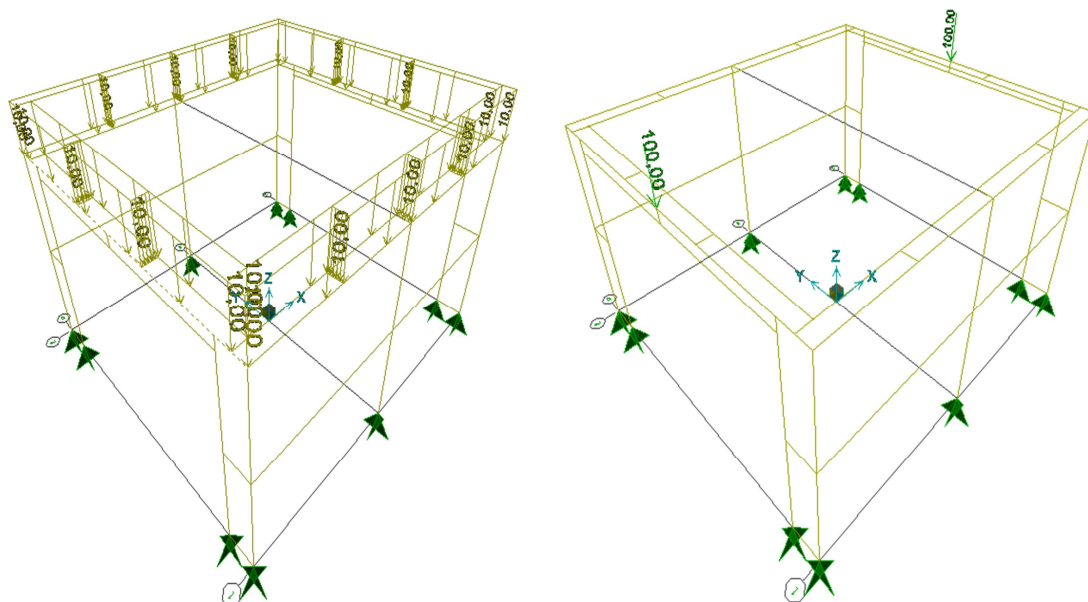


Figura 4. 55: Esquema con cargas asignadas.
 Fuente: Autores.

7. Se escoge la especificación para el análisis:

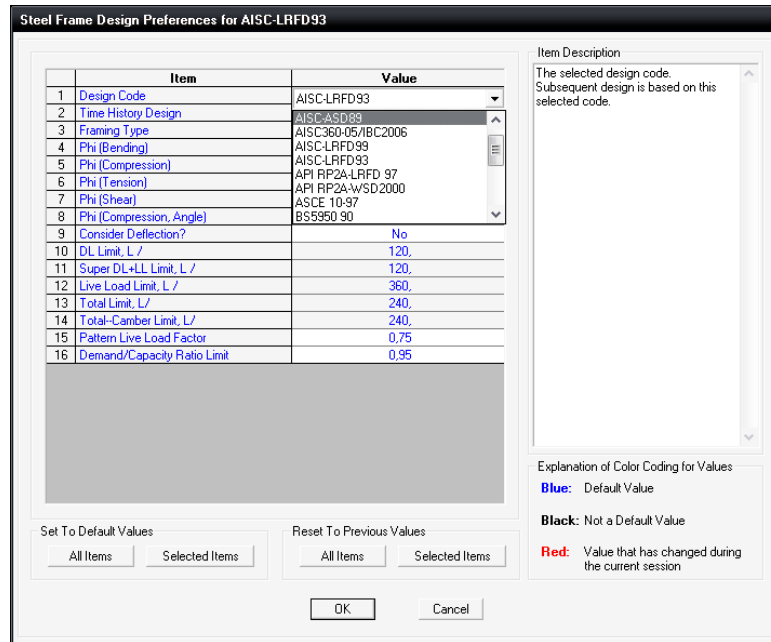


Figura 4. 56: Selección de la especificación ASD.

Fuente: Autores.

8. Se corre el programa y se obtiene la figura deformada:

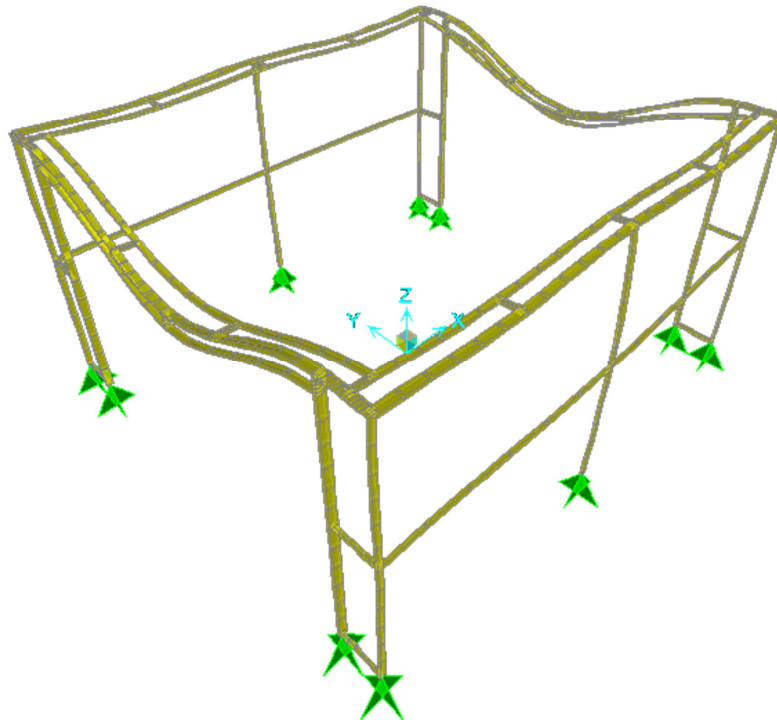


Figura 4. 57: Estructura deformada.

Fuente: Autores.

CAPÍTULO V

COSTOS

5.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se detalla los costos en los que incurrirá la empresa para implementar en su planta el sistema de pintura. Además se tendrá la información necesaria para tomar decisiones en cuanto a los factores que intervienen en este diseño, como lo son materiales, mano de obra, insumos entre otros.

El cálculo de costo es uno de los instrumentos más importantes para la toma de decisiones y se puede decir que no basta con tener conocimientos técnicos adecuados, sino que es necesario considerar la incidencia de cualquier decisión en este sentido y las posibles o eventuales consecuencias que pueda generar.

El cálculo de costo, por ende, es importante en la planificación de productos y procesos de producción, la dirección y el control de la empresa y para la determinación de los precios.¹⁹

Dentro de toda empresa uno de los objetivos más importantes es la rentabilidad, y a partir de este diseño la empresa podrá definir el valor de su inversión y el valor que adquiere su producto para ser vendido.

¹⁹ <http://www.infomipyme.com/Docs/GT/Offline/Empresarios/costos.htm>

5.2 TABLAS DE COSTOS

5.2.1 COSTOS DIRECTOS

Materiales para el puente grúa

Ítem	Descripción	Cantidad	Dimensiones (plg)	Precio (USD)	Observaciones
1	Placas base	6	9.4 x 9.4 x 0.625	150 \$	
2	Perfil W6 x 16	2	6.28 x 4.0 x 354.3	1870 \$	
3	Perfil W5 x 16	6	5.0 x 5.0 x 177.1	1950 \$	
4	Perfil W10 x 39	1	9.9 x 7.9 x 354.3	3652 \$	
5	Perfil M10 x 9	2	1.75 x 1.4 x 354.3	860 \$	
6	Placas superior	6	5.0 x 5.0 x 0.625	110 \$	

Materiales para la cabina de pintura

Ítem	Descripción	Cantidad	Dimensiones (mm)	Precio (USD)	Observaciones
1	Placas base	24	200 x 200 x 16	360 \$	
2	Tubo estructural cuadrado	2	100 x 4	140 \$	6 m c/u
3	Tubo estructural cuadrado	4	50 x 2	160 \$	6 m c/u
4	Tubo estructural cuadrado	8	20 x 2	176 \$	6 m c/u
5	Tubo estructural rectangular	5	70 x 30	225 \$	9 m c/u
6	Planchas de acero galvanizado	25	2440 x 122 x 1.2	1125 \$	
7	Ángulo	2	6000 x 50 x 5	90 \$	6 m c/u
8	Ventiladores	2	900 x 500 x 300	1350 \$	2200 W
9	Filtro techo	1	4500 x 4000 x 25	255 \$	Rollo
10	Filtro pintura	1	1000 x 200 x 50	200 \$	Rollo
11	Filtro entrada	1	1000 x 300 x 25	120 \$	Rollo
12	Fibra de vidrio (aislante)	10	2700 x 2500 x 30	1930 \$	Rollo
13	Resistencias eléctricas	3	Ø 10 x 800	1500 \$	

5.2.2.2 COSTO DE MANO DE OBRA

Contratación para construcción e instalación de puente grúa requiriendo los siguientes puestos:

- 2 Soldadores..... \$ 800.

(Contratación por obra, tiempo estimado de los trabajos: 40 horas, a un costo por hora de \$ 20).

- 1 Armador..... \$ 400.

(Contratación por obra cierta, tiempo estimado de los trabajos: 20 horas, con un costo por hora de \$ 20).

- 2 Ayudantes..... \$ 400.

(Contratación por obra cierta, tiempo estimado del trabajo: 40 horas, en múltiples actividades a un costo por hora de \$ 5).

- 1 Electricista..... \$ 300.

(Contratación por obra cierta, armado de circuitos eléctricos y conexiones con puesta en funcionamiento. Tiempo estimado 16 horas a un costo de \$ 18,75).

Contratación para construcción e instalación del horno de pintura y curado con los siguientes puestos:

- 1 Hojalatero trazador de calderería..... \$ 1000.

(Contratación por obra cierta, construcción del horno de pintura, tiempo estimado en 80 horas a un costo por hora de \$ 12,5).

- 2 Ayudantes..... \$ 800.

(Contratación por obra cierta, actividades múltiples, tiempo estimado del trabajo en 80 horas laborales a un costo por hora de \$ 5).

- 1 Electricista..... \$ 300

(Contratación por obra cierta, armado de circuitos eléctricos y conexiones puesta en funcionamiento tiempo estimado 16 horas laboras a un costo de \$ 18,75).

5.2.3 RESUMEN DE COSTOS

<i>Descripción</i>	<i>Valor total USD.</i>
Costos directos.	16862.2
Costos indirectos	770
Costo de mano de obra.	4100
TOTAL	21732.2

El costo total para la implementación del sistema del puente grúa y horno de pintura y curado es de **21732.20** dólares americanos, dicho precio no incluye impuestos, gastos adicionales e imprevistos.

CONCLUSIONES:

- Los fundamentos teóricos fueron esenciales en el diseño de este sistema, y aunque se presenta una base teórica, el desarrollo del tema abarca una amplia revisión de fórmulas y conceptos lo que da por resultado un minucioso estudio de los fenómenos que ocurren durante el procedimiento, para el discernimiento de los resultados.
- El análisis efectuado en este sistema de limpieza y pintura, incluyó el uso de fórmulas estudiadas en diferentes áreas de ingeniería mecánica, es decir, en el diseño de este proceso, se complementan entre sí varias ciencias como la estática, resistencia de materiales y diseño de estructuras para el caso del puente grúa; y mecánica de fluidos, termodinámica y transferencia de calor para el caso de la cabina de pintura y curado.
- Los software de diseño mecánico fueron fundamentales para obtener resultados preliminares, susceptibles de ser cotejados con la parte analítica. Dan además una visión anticipada del diseño real, siendo de gran ayuda en el ahorro de recursos toda vez que se realiza el análisis antes de proceder con la construcción del mismo.
- Los resultados obtenidos en la simulación son similares a los presentados en los cálculos. Dado que el sistema está sujeto a la exactitud de las suposiciones, éstas se ajustaron a los requerimientos estipulados por “RVR Transformadores”; teniendo como resultado un diseño en software que muestra los eventos suscitados en el proceso.
- Es factible presentar un modelo que muestra los fenómenos que ocurren tanto en el puente grúa, como en la cabina; dando una idea clara de los eventos a los que estará sometido el sistema durante el proceso de inmersión inicialmente y de pintado y curado del transformador luego.

RECOMENDACIONES:

- El diseño de un proyecto por el método de análisis y cálculos es de gran ayuda si se realizan las suposiciones adecuadas, es decir, si los parámetros del diseño son lo más cercanos posible al diseño real que el ingeniero mecánico pretende. Además se vuelve conveniente dado que no se requiere de recursos como sucede en un estudio experimental o físico.
- Para la realización de proyectos mecánicos es muy necesario complementar el análisis propuesto por diversas ciencias, como fluidos, la termodinámica, transferencia de calor, entre otros; ya que en procesos reales se involucran directa o indirectamente tales estudios.
- Cuando se realizan estudios de estructuras es de vital importancia diseñar con parámetros de seguridad, para evitar fallas en la misma, pero se debe tender también a optimizar los recursos, con ello evitamos el sobredimensionamiento de los elementos de la estructura.
- El horno cumple una doble función, la de fase de pintado y la de curado, por ello es necesario revisar los tiempos que cada unidad producida tiene para permanecer en el mismo. Para casos de producción con una gran cantidad de unidades se vuelve imprescindible la separación de estos dos procedimientos, es decir, un horno para pintado y otro para curado.
- Para la instalación del puente grúa y el horno de pintura, es indispensable utilizar personal capacitado y el uso de artículos de seguridad, puesto que se tiene grandes pesos, trabajos en altura, uso de herramientas y circulación de personas.
- Para prolongar la vida útil del puente grúa y la cabina de pintura se recomienda seguir el manual de mantenimiento, el cual contiene las principales guías de mantenimiento y limpieza de las partes del proceso.

BIBLIOGRAFÍA:

REFERENCIAS DISEÑO

- SHIGLEY, Diseño en Ingeniería mecánica, 8^{va} Edición, Editorial McGraw-Hill, EE.UU. 2006.
- Manual AISC (American Institute of Steel Construction), 9^{na} Edición.
- McCORMAC, Jack, Diseño de estructuras metálicas, 4^{ta} Edición, Editorial Alfaomega, México, 1999.

REFERENCIAS RESISTENCIA DE MATERIALES

- BEER Ferdinand, JOHNSTON Russell, Mecánica de materiales, 2da edición, McGraw Hill, Santa Fe de Bogotá – Colombia, 1999.
- GERE, James, Mecánica de materiales, 5ta. Edición, Editorial Thomson Learning, 2002.
- TIMOSHENKO, Resistencia de materiales – 5ta edición, Thompson, Madrid – España, 2002.

REFERENCIAS MECÁNICA DE FLUIDOS

- MATAIX, Claudio, Mecánica de Fluidos, 2^{da} Edición, Ediciones del Castillo, Madrid – España 1993.
- ESCODA, Salvador, Manual Práctico de ventilación, 2^{da} Edición, Editorial S&P, Barcelona – España.

REFERENCIAS TRANSFERENCIA DE CALOR

- CENGEL Yunus, BOLES Michael, Termodinámica – 4ta edición, McGraw Hill, México, 2003.
- HOLMAN J. P., Transferencia de calor - 8va edición, McGraw Hill, Madrid – España, 2002.
- KERN, Donald, Procesos de transferencia de calor, 1^{ra} Edición, Editorial Continental, NY- EE.UU.
- INKROPERA, Transferencia de calor. 2^{da} Edición, Editorial Continental, EE.UU.

ANEXO 2

DIMENSIONES NOMINALES DE AGUJEROS

Tabla 11-2 DIMENSIONES NOMINALES DE AGUJEROS

Diámetro del tornillo	Dimensiones de los agujeros			
	Estándar (diámetro)	Agrandados (diámetro)	De ranura corta (ancho × longitud)	De ranura larga (ancho × longitud)
$\frac{1}{2}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{9}{16} \times \frac{11}{16}$	$\frac{9}{16} \times 1\frac{1}{4}$
$\frac{5}{8}$	$\frac{11}{16}$	$\frac{13}{16}$	$\frac{11}{16} \times \frac{7}{8}$	$\frac{11}{16} \times 1\frac{9}{16}$
$\frac{3}{4}$	$\frac{13}{16}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{13}{16} \times 1$	$\frac{13}{16} \times 1\frac{7}{8}$
$\frac{7}{8}$	$\frac{15}{16}$	$1\frac{1}{16}$	$\frac{15}{16} \times 1\frac{1}{8}$	$\frac{15}{16} \times 2\frac{3}{16}$
1	$1\frac{1}{16}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{16} \times 1\frac{5}{16}$	$1\frac{1}{16} \times 2\frac{1}{2}$
$\geq 1\frac{1}{8}$	$d + \frac{1}{16}$	$d + \frac{5}{16}$	$(d + \frac{1}{16}) \times (d + \frac{3}{8})$	$(d + \frac{1}{16}) \times (2.5 \times d)$

Fuente: American Institute of Steel Construction, *Manual of Steel Construction Allowable Stress Design*, novena edición (Chicago: AISC, 1989), Tabla J3.1, pág. 5-71. Reimpreso con permiso del AISC.

ANEXO 3

DISTANCIAS MÍNIMAS A BORDES

Tabla 11-4 DISTANCIAS MINIMAS A BORDES PARA AGUJEROS ESTANDAR

Diámetro nominal del tornillo o remache (plg)	En bordes recortados mecánicamente	Bordes laminados de placas, perfiles, barras o bordes cortados con gas ^a
$\frac{1}{2}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{4}$
$\frac{5}{8}$	$1\frac{1}{8}$	$\frac{7}{8}$
$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{4}$	1
$\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{2}^b$	$1\frac{1}{8}$
1	$1\frac{3}{4}^b$	$1\frac{1}{4}$
$1\frac{1}{8}$	2	$1\frac{1}{2}$
$1\frac{1}{4}$	$2\frac{1}{4}$	$1\frac{5}{8}$
$> 1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{4} \times$ diámetro	$1\frac{1}{4} \times$ diámetro

Fuente: American Institute of Steel Construction, *Manual of Steel Construction Allowable Stress Design*, novena edición, (Chicago: AISC, 1989), tabla J3.5, pág. 5-76. Reimpreso con autorización del AISC.

Nota: Centro del agujero estándar al borde de la parte conectada. Véase la tabla 11-5 para agujeros agrandados o de ranura.

^a Todas las distancias al borde en esta columna pueden reducirse 1/8 plg cuando el agujero está en un punto en donde el esfuerzo no excede el 25% de la resistencia de diseño máxima del elemento.









^b Estos valores pueden ser 1 1/4 plg en los extremos de ángulos de conexión para vigas.

ANEXO 4

ESFUERZOS PERMISIBLES PARA PERNOS

Table 8-9

SAE Specifications for Steel Bolts

SAE Grade No.	Size Range Inclusive, in	Minimum Proof Strength,* kpsi	Minimum Tensile Strength,* kpsi	Minimum Yield Strength,* kpsi	Material	Head Marking
1	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Low or medium carbon	
2	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$ $\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	55	74	57	Low or medium carbon	
		33	60	36		
4	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Medium carbon, cold-drawn	
5	$\frac{1}{4}$ -1 $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	85	120	92	Medium carbon, Q&T	
		74	105	81		
5.2	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Low-carbon martensite, Q&T	
7	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	105	133	115	Medium-carbon alloy, Q&T	
8	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Medium-carbon alloy, Q&T	
8.2	$\frac{1}{4}$ -1	120	150	130	Low-carbon martensite, Q&T	

ANEXO 5

ESFUERZOS PERMISIBLES EN SOLDADURA

Tabla 13-1 ESFUERZOS PERMISIBLES EN SOLDADURAS

Tipo de soldadura y esfuerzo ^a	Esfuerzo permisible	Resistencia requerida de la soldadura ^{b,c}
Soldadura de ranura de penetración completa		
Tensión perpendicular al área efectiva	Igual a la del metal base	Debe usarse metal de soldadura compatible
Compresión perpendicular al área efectiva	Igual a la del metal base	Puede usarse metal de soldadura con resistencia igual o menor que la del metal de la soldadura compatible
Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura	Igual a la del metal base	
Cortante en el área efectiva	30% de la resistencia nominal a tensión del metal de soldadura (klb/plg ²)	
Soldadura de ranura de penetración parcial^d		
Compresión perpendicular al área efectiva	Igual a la del metal base	Puede usarse metal de soldadura con resistencia igual o menor que la del metal de la soldadura compatible
Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura ^e	Igual a la del metal base	
Cortante paralelo al eje de la soldadura	30% de la resistencia nominal a tensión del metal de soldadura (klb/plg ²)	
Tensión perpendicular al área efectiva	30% de la resistencia nominal a tensión del metal de soldadura (klb/plg ²), excepto que el esfuerzo de tensión en el metal base no excederá el 60% del esfuerzo de fluencia del metal base	
Soldadura de filete		
Cortante en el área efectiva	30% de la resistencia nominal a tensión del metal de soldadura (klb/plg ²)	Puede usarse metal de soldadura con resistencia igual o menor que la del metal de la soldadura compatible
Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura ^e	Igual a la del metal base	
Soldaduras de tapón y de muesca		
Cortante paralelo a las superficies de contacto (en el área efectiva)	30% de la resistencia nominal a tensión del metal de soldadura (klb/plg ²)	Puede usarse metal de soldadura con resistencia igual o menor que la del metal de la soldadura compatible

Fuente: American Institute of Steel Construction, *Manual of Steel Construction Allowable Stress Design*, novena edición (Chicago: AISC, 1989), tabla J2.5, pág. 5-70. Reimpreso con autorización del AISC.

Nota: El diseño del material conectado está regido por los capítulos D al G de las Especificaciones ASD. Véase también la sección J2.4 de los Comentarios.

^a Para la definición del área efectiva, véase la sección J2.

^b Para el metal de soldadura compatible, véase la tabla 4.1.1, AWS D1.1.

^c Se permitirá un metal de soldadura con un nivel de resistencia mayor que la del metal de la soldadura compatible.

^d Véase la sección J2.1b para una limitación en el uso de juntas con soldadura de ranura de penetración parcial.

^e La soldadura de filete y la soldadura de ranura de penetración parcial que unen los elementos componentes de miembros armados, tal como la unión del alma al patín, se podrán diseñar sin considerar el esfuerzo de compresión o de tensión en aquellos elementos paralelos al eje de la soldadura.

ANEXO 6

TAMAÑOS MÍNIMOS DE SOLDADURA DE FILETE

Tabla 13-2 TAMAÑOS MÍNIMOS DE SOLDADURAS DE FILETE

Espesor del material de la parte unida con mayor espesor (plg)	Tamaño mínimo de la soldadura de filete ^a (plg)
Hasta 1/4 inclusive	1/8
Mayor de 1/4, hasta 1/2 inclusive	3/16
Mayor de 1/2, hasta 3/4 inclusive	1/4
Mayor de 3/4	5/16

Fuente: American Institute of Steel Construction, *Manual of Steel Construction Allowable Stress Design*, novena edición (Chicago: AISC, 1989), tabla J2.4, pág. 5-67. Reimpreso con autorización del AISC.

^a Dimensión del lado de los filetes. Se deben usar soldaduras de paso sencillo.

ANEXO 7

ESFUERZO CORTANTE ADMISIBLE

Tabla 9-5

Esfuerzos permisibles por el Código AISC para metal de aporte

Tipo de carga	Tipo de soldadura	Esfuerzo permisible	n*
Tensión	A tope	0.60S _v	1.67
Aplastamiento	A tope	0.90S _v	1.11
Aplastamiento	A tope	0.60-0.66S _v	1.52-1.67
Compresión simple	A tope	0.60S _v	1.67
Cortante	A tope a de filete	0.30S _v [†]	

* El factor de seguridad n se ha calculado mediante la teoría de la energía de distorsión.

† El esfuerzo cortante en el metal base no debe exceder 0.40S_v del metal base.

Tabla 9-7

Cargas constantes permisibles y tamaños mínimos de soldadura de filete

Programa A: carga permisible para varios tamaños de soldadura de filete							Programa B: tamaño mínimo de soldadura de filete, h		
Nivel de resistencia del metal de aporte (EXX)									
	60*	70*	80	90*	100	110*	120		
τ =	18.0	21.0	24.0	27.0	30.0	33.0	36.0		
f _v =	12.73h	14.85h	16.97h	19.09h	21.21h	23.33h	25.45h		
Tamaño del cañete h, pulg	Fuerza unitaria permisible para varios tamaños de soldaduras de filete kip/pulg lineal								
1	12.73	14.85	16.97	19.09	21.21	23.33	25.45		
7/8	11.14	12.99	14.85	16.70	18.57	20.41	22.27		
3/4	9.55	11.14	12.73	14.32	15.92	17.50	19.09		
5/8	7.96	9.28	10.61	11.93	13.27	14.58	15.91		
1/2	6.37	7.42	8.48	9.54	10.61	11.67	12.73		
7/16	5.57	6.50	7.42	8.35	9.28	10.21	11.14		
3/8	4.77	5.57	6.36	7.16	7.95	8.75	9.54		
5/16	3.98	4.64	5.30	5.97	6.63	7.29	7.95		
1/4	3.18	3.71	4.24	4.77	5.30	5.83	6.36		
3/16	2.39	2.78	3.18	3.58	3.98	4.38	4.77		
1/8	1.59	1.86	2.12	2.39	2.65	2.92	3.18		
1/16	0.795	0.930	1.06	1.19	1.33	1.46	1.59		

* Hasta 1/4 inclusive

Mayor que 1/4 A 1/2

Mayor que 1/2 A 3/4

Mayor que 3/4 A 1 1/2

Mayor que 1 1/2 A 2 1/4

Mayor que 2 1/4 A 6

Mayor que 6

Tamaño de la soldadura, pulg

1/8

3/16

1/4

5/16

3/8

1/2

5/8

No se debe exceder el espesor de la parte más delgada.
[†] Para tamaño mínimo del filete de soldadura, el programa no va más allá de soldadura de filete de 5/16 pulg por cada 3/4 pulg de material.
 * El tamaño mínimo para aplicaciones en puentes no va más allá de 3/16 pulg.

† Los valores de filete se basan en el estándar de AISC 885, Ed. Corrosión, 1989, p. 1.

Fuente: Adaptado de Dine A. Bolger, ed.: *Steel Allowable Working Design*, D412, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, Cleveland, mayo, 1991, p. 1.

ANEXO 8

TABLA DE VELOCIDADES SEGÚN SU FINALIDAD.

Cálculos en climatización

Anexo

APLICACIÓN	FACTOR DE CONTROL DE RUIDO (conductos principales)	Conductos principales		Conductos derivados	
		Suministro	Retorno	Suministro	Retorno
Residencias	3	5	4	3	3
Apartamentos Dormitorios hotel Dormitorios hospital	5	7,5	6,5	6	5
Oficinas particulares Despachos dirección Bibliotecas	6	10	7,5	8	6
Salas cine/teatro Auditorios	4	6,5	5,5	5	4
Oficinas públicas Restaurantes Comercios Bancos	7,5	10	7,5	8	6
Comercios Cafeterías	9	10	7,5	8	6
Locales industriales	12,5	15	9	11	7,5

ANEXO 9

TABLA DE SECCIONES DE DUCTOS.

Cálculos en climatización

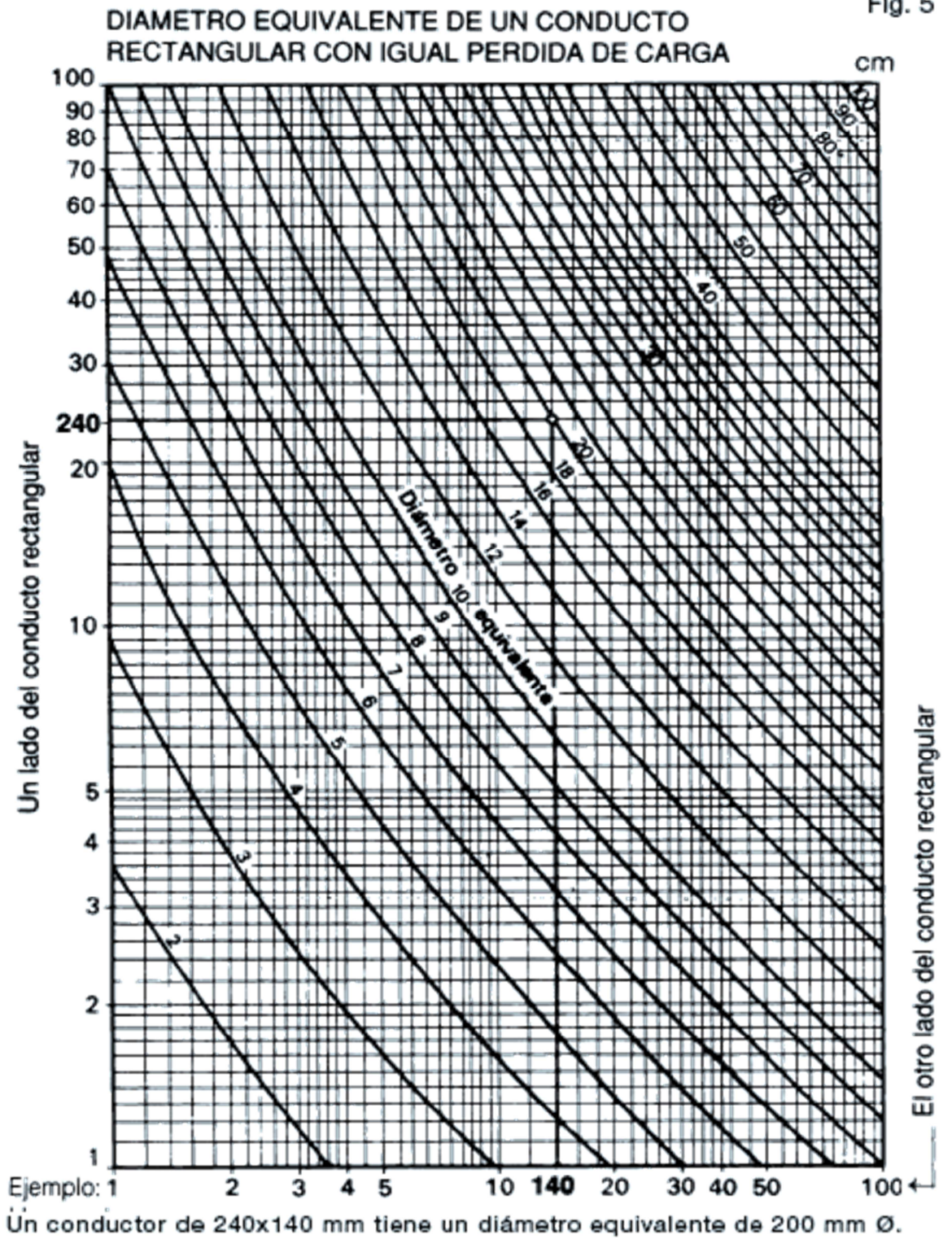
Anexo

CONDUCTO (mm.)	150		200		250		300		350	
	S	φ	S	φ	S	φ	S	φ	S	φ
250	0.036	213	0.048	249	0.060	287				
300	0.042	231	0.057	272	0.071	302	0.087	333		
350	0.043	249	0.067	292	0.084	328	0.103	367	0.119	389
400	0.055	264	0.075	308	0.094	348	0.115	384	0.134	414
450	0.061	280	0.084	328	0.106	368	0.129	407	0.151	439
500	0.067	292	0.092	343	0.117	384	0.142	427	0.163	460
550	0.072	305	0.100	358	0.128	404	0.156	447	0.184	485
600	0.078	315	0.107	377	0.139	422	0.169	465	0.193	503
650	0.032	326	0.118	384	0.149	435	0.182	483	0.214	524
700	0.083	335	0.123	396	0.158	450	0.193	498	0.229	541
750	0.093	346	0.130	409	0.168	465	0.205	514	0.244	559
800	0.099	356	0.137	479	0.179	478	0.218	529	0.260	576
850	0.105	366	0.148	432	0.188	490	0.230	544	0.274	592
900	0.109	374	0.153	442	0.198	504	0.242	556	0.288	607
950	0.113	381	0.160	452	0.208	516	0.255	572	0.303	622
1000	0.113	389	0.167	463	0.216	526	0.267	585	0.318	637
1050	0.123	396	0.172	470	0.225	536	0.276	595	0.330	650
1100	0.128	404	0.180	480	0.233	546	0.288	607	0.343	662
1150	0.132	412	0.188	488	0.242	556	0.293	618	0.359	678
1200	0.137	419	0.193	498	0.250	567	0.310	630	0.373	691
1250			0.196	506	0.260	577	0.320	641	0.384	701
1300			0.205	574	0.270	587	0.330	657	0.398	714
1350			0.212	521	0.276	595	0.343	664	0.410	724
1400			0.218	531	0.286	605	0.354	674	0.422	734
1450			0.225	636	0.296	676	0.365	684	0.434	744
1500			0.237	544	0.303	622	0.376	694	0.448	756
1600			0.244	559	0.320	640	0.392	709	0.472	778
1700					0.336	656	0.415	729	0.497	798
1800					0.355	674	0.436	746	0.527	820
1900					0.380	696	0.454	762	0.543	834
2000					0.384	701	0.478	782	0.570	854
2100							0.502	800	0.594	876
2200							0.517	813	0.615	887
2300							0.535	828	0.640	905
2400							0.546	839	0.650	920
2500									0.685	937
2600									0.704	951
2700									0.731	966
2800									0.750	981
2900										

ANEXO 10

DIÁMETRO EQUIVALENTE

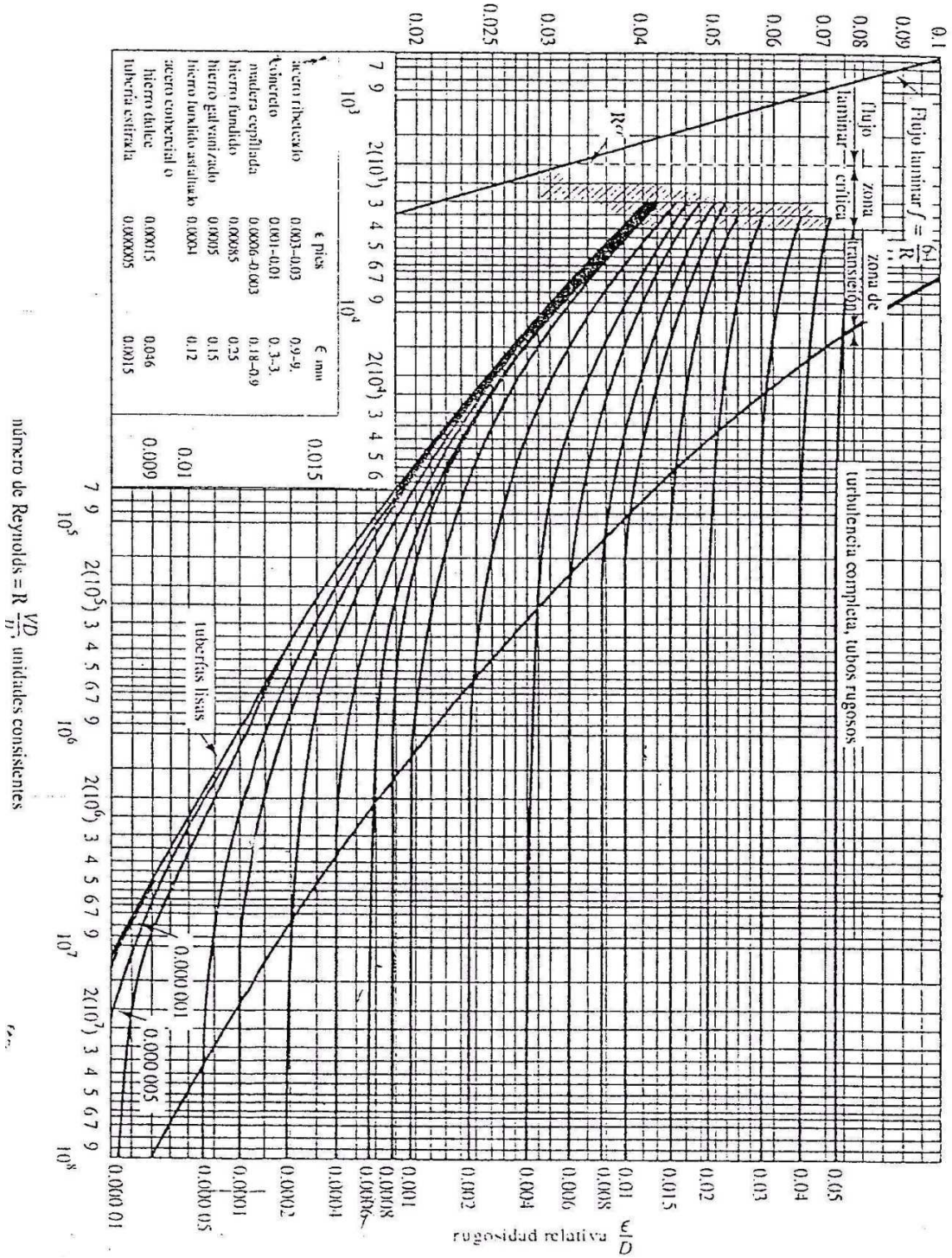
Fig. 5



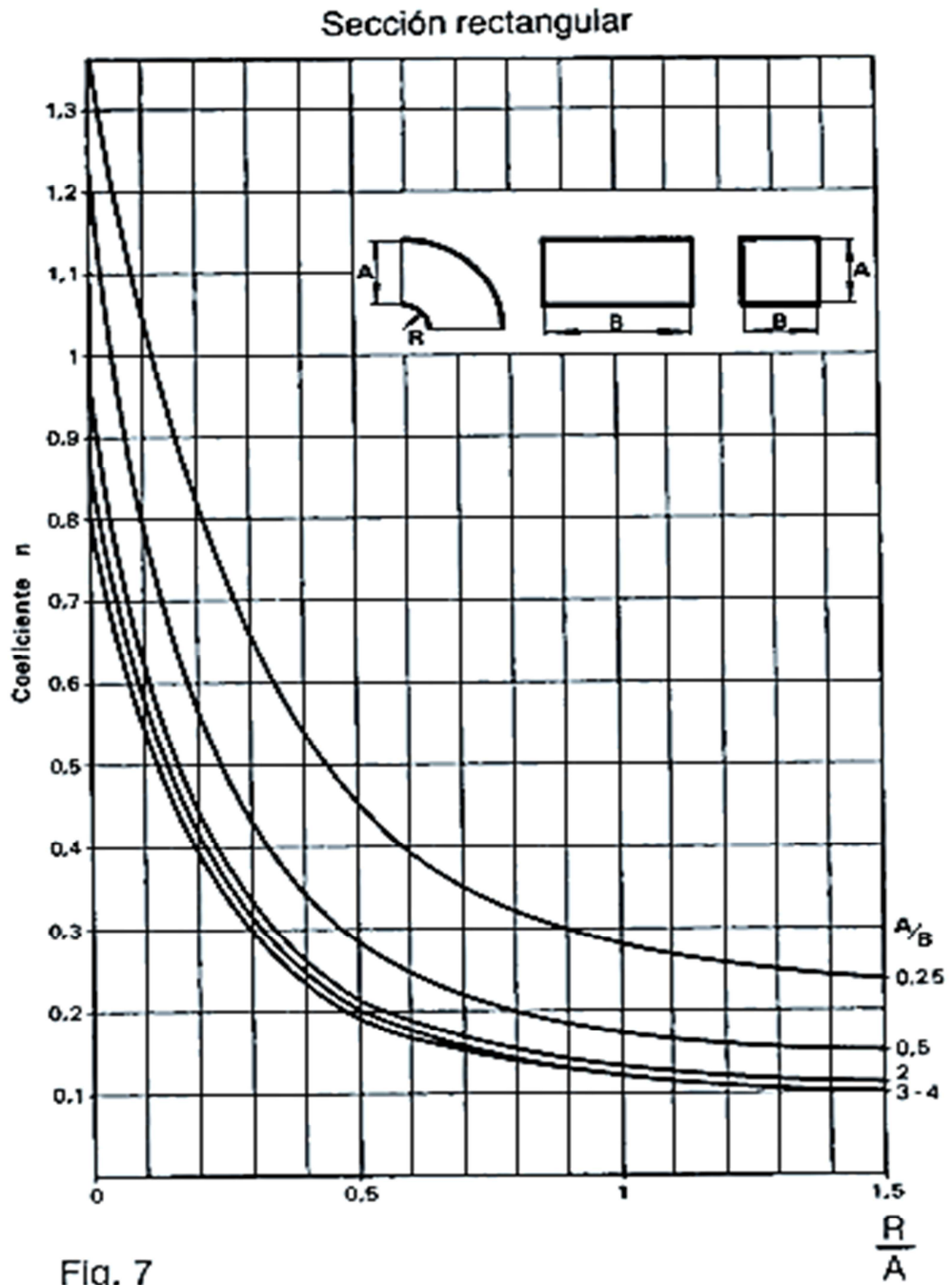
ANEXO 11

DIAGRAMA DE MOODY

$$\text{factor de fricción } f = \frac{h_f}{\frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}}$$



ANEXO 12
PÉRDIDAS EN LOS CODOS



ANEXO 13

VALORES DE CONDUCTIVIDAD, VISCOSIDAD Y CALOR ESPECÍFICO DEL AIRE.

Propiedades del aire a la presión atmosférica*.

Los valores de μ , k , c_p y Pr dependen poco de la presión y se pueden utilizar en un intervalo bastante amplio de presiones

T, K	$\rho, \text{kg/m}^3$	$c_p, \text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$	$\mu \times 10^6, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	$\nu \times 10^6, \text{m}^2/\text{s}$	$k, \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$	$\alpha \times 10^4, \text{m}^2/\text{s}$	Pr
100	3,6010	1,0266	0,6924	1,923	0,009246	0,02501	0,770
150	2,3675	1,0099	1,0283	4,343	0,013735	0,05745	0,753
200	1,7684	1,0061	1,3289	7,490	0,01809	0,10165	0,739
250	1,4128	1,0053	1,5990	11,31	0,02227	0,15675	0,722
300	1,1774	1,0057	1,8462	15,69	0,02624	0,22160	0,708
350	<u>0,9980</u>	<u>1,0090</u>	<u>2,075</u>	<u>20,76</u>	<u>0,03003</u>	<u>0,2981</u>	<u>0,697</u>
400	0,8826	1,0140	2,286	25,90	0,03365	0,3760	0,689
450	0,7833	1,0207	2,484	31,71	0,03707	0,4222	0,683
500	0,7048	1,0295	2,671	37,90	0,04038	0,5564	0,680
550	0,6423	1,0392	2,848	44,34	0,04360	0,6532	0,680
600	0,5879	1,0551	3,018	51,34	0,04659	0,7512	0,680
650	0,5430	1,0635	3,177	58,51	0,04953	0,8578	0,682
700	0,5030	1,0752	3,332	66,25	0,05230	0,9672	0,684
750	0,4709	1,0856	3,481	73,91	0,05509	1,0774	0,686
800	0,4405	1,0978	3,625	82,29	0,05779	1,1951	0,689
850	0,4149	1,1095	3,765	90,75	0,06028	1,3097	0,692
900	0,3925	1,1212	3,899	99,3	0,06279	1,4271	0,696
950	0,3716	1,1321	4,023	108,2	0,06525	1,5510	0,699
1.000	0,3524	1,1417	4,152	117,8	0,06752	1,6779	0,702

ANEXO 14

VALORES DE C y m

TABLA 6.4

Correlación de Grimson modificada para transferencia de calor en haces de tubos de 10 filas o más, para usar en la Ec. (6.17), de la Referencia 12.





$\frac{S_p}{d}$	$\frac{S_n}{d}$							
	1,25		1,5		2,0		3,0	
	C	n	C	n	C	n	C	n
En línea								
1,25	0,386	0,592	0,305	0,608	0,111	0,704	0,0703	0,752
1,5	0,407	0,586	0,278	0,620	0,112	0,702	0,0753	0,744
2,0	0,464	0,570	0,332	0,602	0,254	0,632	0,220	0,648
3,0	0,322	0,601	0,396	0,584	0,415	0,581	0,317	0,608
Al tresbolillo								
0,6	—	—	—	—	—	—	0,236	0,636
0,9	—	—	—	—	0,495	0,571	0,455	0,581
1,0	—	—	0,552	0,558	—	—	—	—
1,125	—	—	—	—	0,531	0,565	0,575	0,560
1,25	0,575	0,556	0,561	0,554	0,576	0,556	0,579	0,562
1,5	0,501	0,568	0,511	0,562	0,502	0,568	0,542	0,568
2,0	0,448	0,572	0,462	0,568	0,535	0,556	0,498	0,570
3,0	0,344	0,592	0,395	0,580	0,488	0,562	0,467	0,574

ANEXO 15

FACTOR DE CORRECCIÓN

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Relación para tubos al tresbolillo	0,68	0,75	0,83	0,89	0,92	0,95	0,97	0,98	0,99	1,0
Relación para tubos ea línea	0,64	0,80	0,87	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	0,99	1,0

ANEXO 16 RESISTENCIAS EN EL MERCADO

Producto	Materiales de la vaina	Temperaturas máximas de funcionamiento		Densidad de potencia máxima		
		°F	°C	W/in ²	W/cm ²	
	WATROD™	Incoloy®	1600	870	45	6.9
		Acero inoxidable	1200	650	60	9.3
		Acero	750	400	45	6.9
		Cobre	350	175	60	9.3
		Inconel® 600	1800	982	45	6.9
	Tubular de alta temperatura	Inconel® 600	1800	982	45	6.9
	MULTICOIL™	Incoloy®	1400	760	45	6.9
		Acero inoxidable 304	1200	650	45	6.9
		Acero inoxidable 316	1200	650	45	6.9
	FIREBAR®	Incoloy®	1400	760	60	9.3
		Acero inoxidable 304	1200	650	60	9.3

ANEXO 17

MANUAL DE MANTENIMIENTO

MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL PUENTE GRÚA

El mantenimiento de una grúa consiste en el conjunto de comprobaciones, actuaciones, sustituciones y ajustes que se realizan para que la misma mantenga un nivel de seguridad aceptable y como mínimo acorde con el prescrito en el marco normativo que le sea aplicable.

Una apropiada instalación, operación, inspección y mantenimiento de los puentes grúa son necesarios para asegurar el correcto funcionamiento del mismo y evitar paradas inesperadas.

INSTALACIÓN DE PUENTES GRÚA

Un buen mantenimiento comienza con una buena instalación. Antes, durante y después de la instalación del puente es prudente observar los siguientes puntos:

- Las vías deben estar derechas y convenientemente alineadas para asegurar la correcta “luz” entre ellas a lo largo de todo el recorrido.
- Asegurarse de que el puente es ensamblado de acuerdo a las instrucciones y los planos.
- Es de suma importancia que las vigas principales del puente estén escuadradas con las vigas carrileras y que estén paralelas entre sí.
- Se deben revisar los aprietes de todas las juntas que contengan arandelas de seguro u otro dispositivo similar.
- Lubricar todos los puntos que tengan una acción de desgaste por fricción o movimientos de rotación.
- Lubricar el cable de elevación de acuerdo al manual del fabricante.

- Asegurarse de que el cable de elevación esté correctamente colocado (que el cable no este montado, entrelazado o enredado).
- Revisar cualquier pérdida de aceite y grasa que pudiera haber ocurrido durante el montaje limpiar convenientemente, de la misma forma revisar por herramientas olvidadas en las pasarelas y/u otros materiales.

TAREAS RECOMENDADAS ANTES DE QUE EL PUENTE GRÚA ENTRE EN OPERACIÓN

1. Revisar todos los movimientos del puente grúa, traslación de carro y puente, subir y bajar del sistema de elevación, todos en alta y baja si existieran por posibles errores en la conexión eléctrica.
2. Revisar ajuste y operación de todos los frenos.
3. Revisar funcionamiento y ajustar límites superior e inferior del sistema de izaje, lo cual se debería realizar con el gancho sin carga.
4. Revisar otros límites y paradas de emergencia, sistemas anti- choque (si existen 2 puentes en la misma vía).
5. Operar el puente grúa en forma lenta a lo largo todos sus recorridos, puente, carro y sistema de elevación, revisando ruidos y posibles cruces.
6. En puentes nuevos o viejos en que su capacidad de carga haya sido cambiada, se deberá realizar un test de carga (la carga no deberá ser menos que el 100% de la capacidad de carga de trabajo y no más que 125% de la misma capacidad).

INSPECCIÓN DE LOS PUENTES GRÚA

La frecuencia de inspección y grado de mantenimiento de los puentes grúa varía según el tipo de servicio al cual está sujeto (ASME B3.17, especificadas a continuación).

Puentes usados permanentemente requerirán más atención que los usados esporádicamente o los que estén de respaldo.

Es recomendable realizar inspecciones periódicas (diarias y/o mensuales) que incluyan:

1. Inspección visual del cable por posibles roturas o daños en los alambres del mismo.
2. Inspección visual del gancho por posibles deformaciones, roturas o desgaste excesivo.
3. Operación de los límites de izaje (superior e inferior) y de desplazamiento.
4. Cualquier ruido o vibración anormal debe ser informada.

Estos últimos cuatro puntos se deberían hacer antes de que el puente grúa sea utilizado por el operario; en cada turno o jornada correspondiente dado que son consideraciones de seguridad.

Anualmente se deberán inspeccionar (servicio normal) por personal calificado:

1. Conexiones flojas, apriete de pernos, tuercas etc.
2. Rotura, desgaste, deformación o corrosión en bridas de vigas, rieles, ruedas etc.
3. Rotura, desgaste o deformación mecánica en ejes, cojinetes, piñones, cadenas etc.
4. Desgaste en los frenos.
5. Tambor de arrollamiento, poleas, verificar desgaste.
6. Verificar correcto funcionamiento de motores y desgaste en sistema de troles (carros y carbones).
7. Verificación del gancho y sus accesorios por fisuras mediante partículas magnetizables y/o tintas penetrantes.

8. Límites de seguridad, límites de carga.

9. Sistema eléctrico (desgaste en contactos de relés, contactores, etc., excesivo “pitting” por conmutación).

Los puentes grúa que están en stand-by o respaldo requerirán una inspección semestral al menos (más si se encuentran en un ambiente agresivo).

Todos los elementos críticos, especialmente los elementos de izaje, deberían tener un historial escrito en el sistema de mantenimiento que se contare para poder seguir su evolución.

Inspección frecuente: Verificación visual por el operador (sin registros)

Servicio normal: mensual.

Servicio pesado: semanal o mensual.

Servicio severo: diario o semanal.

Inspección periódica: inspección visual del equipamiento dirigida por una persona designada para tal fin con confección de registros.

Servicio normal: anual

Servicio pesado: anual o semestral

Servicio severo: cada 3 meses

PLAN DE MANTENIMIENTO DE PUENTES GRÚA

Un programa de mantenimiento preventivo debería ser establecido en base a las recomendaciones del fabricante o la experiencia de personal calificado.

Es recomendable usar repuestos originales para asegurar la intercambiabilidad de los mismos y el correcto funcionamiento de las partes.

El plan de mantenimiento preventivo debe identificar las partes que se deberían tener en stock para reemplazar las piezas sometidas a desgaste o piezas críticas que se identifiquen como tal.

FRENOS DE PUENTE Y CARRO

Los frenos para los movimientos de traslación del puente y carro deberán respetar la siguiente capacidad de frenado:

Deberán tener una capacidad de torque suficiente para detener el movimiento del puente dentro de una distancia en metros igual al 10% de la velocidad de traslado en m/min, cuando esté transportando la máxima carga.

Deberán tener una capacidad de torque para impedir el movimiento horizontal del puente contra una fuerza horizontal igual al 1% de la combinación del peso del puente, carro, sistema de izaje y la carga máxima cuando el puente esté estacionado.

LÍMITES DE SEGURIDAD

Estos se deben controlar haciendo subir el gancho en velocidad baja o a impulsos breves hasta su posición más alta comprobando el corte. Lo mismo realizar con el límite inferior hacia abajo.

CONTACTORES Y APARATOS DE MANIOBRA

Los contactos eléctricos de los contactores deberán ser cambiados si se verifica que uno o más de ellos están quemados o chispeados. De no hacerlo, cuando se pierda la superficie de contacto del mismo ocasionará que el contactor se “pegue” con las consecuencias del caso y peligro potencial de accidente.

LA RUEDAS DEL PUENTE Y CARRO

Deberán ser revisadas para controlar excesivo desgaste, si esto se comprueba se debe proceder a cambiarlas. Este desgaste si es anormal debe investigarse puesto que puede ser que el puente se está cruzando o hay problemas de alineación de las vías.

LUBRICACIÓN

Un plan de lubricación debe ser efectuado regularmente de acuerdo a las indicaciones del fabricante en cuanto a tipos de grasa y aceite para reductores a utilizar.

Los períodos de lubricación generalmente y bajo condiciones de operación normales son los que indica la carta de lubricación del fabricante pudiéndose modificar ésta dependiendo de las condiciones en que opera el puente.

En general los niveles de aceite en reductores se revisan cada 6 meses y el cambio una vez al año. Esto puede cambiar si se realizan análisis de aceite (predictivo) para chequear acidez/viscosidad y partículas que nos evidencien desgastes.

GANCHO Y CABLE DE ACERO

Las deformaciones que puede presentar un gancho son usualmente un signo de sobrecarga o mal uso del mismo. Si estas deformaciones aparecen se deberá revisar minuciosamente todo el elemento de izaje. Ganchos con apertura excesiva, fisuras, roturas o deformaciones en el plano original (torcido) deberá ser una razón suficiente para proceder a su cambio inmediato.

Ganchos con desgaste excesivo (aplastamiento) en el sector de carga, también deberá ser razón para su cambio.

Con respecto al cable de acero, este requiere especial atención. En puentes grúa con servicio continuo el cable de acero deberá ser inspeccionado visualmente por el operador antes de iniciar su tarea. De acuerdo con la clasificación de inspecciones (que está de acuerdo con el tipo de servicio) una inspección por personal calificado llevando registros escritos deberá realizarse entre 1 y 3 meses.

Cualquier deterioro en el cable, que podría resultar en apreciable pérdida de las características originales del cable debería ser cuidadosamente anotado e informado.

Condiciones como las que siguen son razón suficiente para proceder al cambio del cable:

- Retorcimiento, deformación, corte de secciones del cable.
- Rotura, desgaste, corrosión de los alambres constitutivos del cable principal.
- Reducción del diámetro del cable debido a pérdida del alma, corrosión o desgaste, como se muestra en el siguiente registro.

0,4 mm para cables de 5/16" ó más pequeños

0,8 mm para cables de 3/8" a 1/2"

1,2 mm para cables de 9/16" a 3/4"

1,6 mm para cables de 7/8" a 1-1/8"

2,4 mm para cables de 1-1/4" a 1-1/2"

- El cambio del cable deberá realizarse por personal calificado y debería usarse el mismo tamaño, diámetro, grado y construcción del cable original especificado por el fabricante del puente grúa. Los cables deberán estar correctamente lubricados para reducir la fricción interna y prevenir corrosión.

SEGURIDAD EN EL MANTENIMIENTO DEL PUENTE GRÚA

Antes de efectuar cualquier trabajo de revisión, reparación o mantenimiento de puentes grúa, este deberá colocarse en un lugar adecuado que no moleste a otras grúas o equipos, ni al resto de operarios y labores.

El puente grúa deberá ser desconectado de la red eléctrica, y su interruptor bloqueado para que no pueda ser puesto en marcha de forma accidental. Además de esta, deberán cumplirse el resto de normas establecidas por ley para equipos y operarios, no comenzando las tareas de mantenimiento y reparación hasta no disponer de todos los elementos que sean necesarios para garantizar la seguridad de los técnicos de mantenimiento y del resto de operarios de la ubicación del equipo.

MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL HORNO DE PINTURA

- Debido a un uso continuo de la cabina de pintura se depositan en todo el entorno interior, es decir, paredes, puertas, techo; partículas que reducen la luminosidad para un adecuado proceso de pintado; por lo cual se debe limpiar las paredes interiores dos veces al mes y pintar cada tres meses.

Si se encuentra dentro de las posibilidades del propietario se puede aplicar laca pelable sobre la pintura para que sea retirada cuando se encuentre sucio, de otro modo tendrá que realizar un pintado a fondo nuevamente.

- Debido también a las partículas de pintura se reduce la intensidad del haz de luz por lo que para esta limpieza se necesita utilizar un estropajo en los recubrimientos de las lámparas una vez al mes.
- Las rieles por las que se desplaza el transformador al interior de la cabina necesita limpiarse cada mes para el ingreso del mismo sea suave. Esto debido a que las partículas de polvo y pintura se mezclan y se depositan en la parte inferior de la cabina provocando una película que puede ser molesta a la hora de trasladar el transformador a través de la cabina.
- El filtro inferior de la cabina se impregna de partículas de pintura, por lo que se necesita una buena limpieza con líquido removedor cada mes y deberá ser reemplazado trimestralmente. El filtro inferior es el más expuesto a ensuciarse debido a la extracción de las partículas más gruesas por ese ducto.
- Los motores de los ventiladores deberán ser revisados mensualmente, para medir su consumo normal de corriente y voltaje, de este modo se evitará fallos en los ciclos de pintado, que podrían causar un gasto extra para la empresa al tener que reemplazarlos.

Adicional a ello se requiere que se realice la limpieza con una aspiradora de polvo trimestralmente y con ello no reducir la vida útil de los motores debido a la suciedad ahí localizada.

- Las correas del motor ventilador requieren revisión periódica para conocer su estado y desgaste y en caso de ser necesario se deben cambiar.
- El filtro que se encuentra en el techo de la cabina requiere una limpieza periódica y un cambio cada año o 1200 horas de trabajo. Los prefiltros también necesitan una limpieza regular y su sustitución cada 800 horas de trabajo.
- Finalmente se requiere una revisión visual constante de la cabina por su parte interior y exterior para evitar que ella tenga fugas en sus uniones con las puertas, las paredes aislantes o los ductos de ventilación y extracción.

ANEXO 18
FOTOGRAFÍAS DE LOS TRNSFORMADORES



Vista interna de un transformador



Transformador sin antes de la limpieza



Apreciación de dimensiones de un transformador



Apreciación de dimensiones de un transformador



Transporte de transformadores terminados



Transporte de transformadores terminados