



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

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

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL  
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA EL PROCESO DE  
LAMINACIÓN DE MEMBRANA SIN ARMADURA EN LA LÍNEA  
DE PRODUCCIÓN N°2 DE LA PLANTA CHOVA DEL  
ECUADOR S.A”**

**AUTORA: MELÉNDEZ VILLEGAS MARÍA JOSÉ**

**DIRECTOR: ING. POZO, JAVIER**

**CODIRECTOR: ING. VILLAVICENCIO, ANGELO**

**SANGOLQUÍ**

**2015**

## CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE MEMBRANA SIN ARMADURA EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN N°2 DE LA PLANTA CHOVA DEL ECUADOR S.A” fue realizado en su totalidad por María José Meléndez Villegas, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.



---

Ing. Javier Pozo  
DIRECTOR



---

Ing. Ángelo Villavicencio  
CODIRECTOR

Sangolquí, Mayo del 2015

## AUDITORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **MARÍA JOSÉ MELÉNDEZ VILLEGAS**

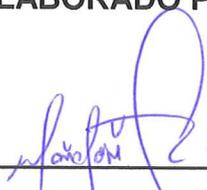
**DECLARO QUE:**

La tesis/proyecto de grado titulado: **“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE MEMBRANA SIN ARMADURA EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN N°2 DE LA PLANTA CHOVA DEL ECUADOR S.A”** ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando los derechos intelectuales de terceros, conforme las citas y notas que constan en los párrafos correspondientes, cuyas fuentes se añaden en la respectiva bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis/proyecto de grado en mención.

**Sangolquí, Mayo del 2015**

**ELABORADO POR:**



---

**María José Meléndez Villegas**

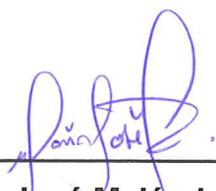
**1804363511**

## AUTORIZACIÓN

**Yo, MARÍA JOSÉ MELÉNDEZ VILLEGAS**

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE, la publicación en la biblioteca virtual de la institución el proyecto de grado titulado: **“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE MEMBRANA SIN ARMADURA EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN N°2 DE LA PLANTA CHOVA DEL ECUADOR S.A”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad y autoría.

**Sangolquí, Mayo del 2015**



---

**María José Meléndez Villegas**

**1804363511**

## **DEDICATORIA**

Dedico este gran esfuerzo a mis padres que gracias a su enorme sacrificio he logrado cumplir una de mis metas, a ellos les debo todo lo que soy.

A mi hermana Belén a pesar de todas las peleas y dificultades que hemos tenido en nuestra convivencia diaria, siempre nos hemos estado apoyando, te admiro mucho.

De igual manera a toda mi familia por estar pendiente siempre de mí.

María José Meléndez Villegas.

## **AGRADECIMIENTOS**

La culminación de mi carrera es fruto de un largo y arduo sacrificio que no lo podría haber cumplido sin la guía y protección de Dios.

Gracias a mis padres por todo el apoyo que me han brindado durante toda mi carrera universitaria, a mi hermana Belén por inculcar en mí el amor hacia la ingeniería mecánica

Quiero agradecer al Ing. Javier Pozo, por darme la apertura de poder realizar mi proyecto de grado en Chova del Ecuador S.A, muchas gracias por la confianza deposita hacia mí, de igual manera al Ing. Ángelo Villavicencio por su guía a lo largo de la realización de este tema de tesis, de igual manera al Ing. Patricio Crespo por toda la ayuda brindada a lo largo del proyecto y a todas las personas que ayudaron en la construcción, montaje e implementación de mi proyecto.

Gracias a todos mis amigos que estuvieron conmigo a lo largo de mi carrera universitaria, agradeciéndoles su apoyo incondicional.

María José Meléndez Villegas.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>i</b>
<b>AUDITORÍA DE RESPONSABILIDAD .....</b>	<b>ii</b>
<b>AUTORIZACIÓN .....</b>	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>xiv</b>
<b>LISTA DE ANEXOS .....</b>	<b>xvi</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS .....</b>	<b>xx</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xxi</b>
 <b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES DE CHOVA DEL ECUADOR S.A .....	1
1.2. MARCO INSTITUCIONAL .....	2
1.2.1. Misión.....	2
1.2.2. Visión .....	2
1.2.3. Política de la calidad .....	2
1.2.4. Objetivos de la calidad .....	2
1.2.5. Planta “El Inga” .....	3
1.3. ANTECEDENTES.....	4
1.3.1. Sistema de laminación actual (Planta de Cashapamba) .....	4
1.3.2. Descripción del nuevo sistema de laminación.....	7
1.4. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	8
1.5. OBJETIVOS.....	9

1.5.1. Objetivo general .....	9
1.5.2. Objetivos específicos: .....	9
1.6. ALCANCE DEL PROYECTO .....	9
1.7. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	10

## **CAPÍTULO 2**

MARCO TEÓRICO .....	11
2.1. GENERALIDADES DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR .....	11
2.1.1. Mecanismos de transferencia de calor .....	11
2.2. LÁMINAS ASFÁLTICAS.....	23
2.2.1. Productos de membrana sin armadura.....	24

## **CAPÍTULO 3**

DISEÑO DEL SISTEMA .....	27
3.1. CONDICIONES Y PARÁMETROS PARA EL DISEÑO .....	27
3.1.1. Parámetros de decisión .....	27
3.2. ALTERNATIVAS DE DISEÑO Y MATRICES DE PONDERACIÓN	28
3.2.1. Para la estructura.....	28
3.2.2. Tipo de unión de la estructura.....	29
3.2.3. Sistema de transmisión de potencia.....	30
3.2.4. Selección de chumaceras y rodamientos para rodillos internos	31
3.3. MATRIZ TOMA DE DECISIONES .....	34
3.3.1. Para la estructura .....	34
3.3.2. Tipo de unión en la estructura.....	36
3.3.3. Sistema de transmisión de potencia.....	37
3.4. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS .....	39
3.5. DISEÑO ESTRUCTRAL .....	42
3.5.1. Bastidor.....	42

3.5.2. Cuarto de mantenimiento .....	58
3.5.3. Gradadas .....	59
3.5.4. Cubierta para el sistema de enfriamiento.....	60
3.6. DISEÑO MECÁNICO.....	61
3.6.1. Juntas empernadas .....	61
3.6.2. Rodamientos y chumaceras.....	63
3.6.3. Sistema de tracción.....	68
3.7. DISEÑO TÉRMICO.....	75
3.7.1. Parámetros de diseño.....	75
3.7.2. Cálculo de la temperatura a la salida del sistema.....	76
3.7.3. Cálculo de la temperatura a la salida del sistema antiguo .....	83
3.7.4. Comentario.....	87
3.7.5. Sistema de agua .....	88
3.8. DISEÑO ELÉCTRICO.....	91
3.8.1. Control .....	91
3.8.2. Sistema eléctrico .....	91
<b>CAPÍTULO 4</b>	
CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN .....	92
4.1. PLANOS DEL SISTEMA .....	92
4.2. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA .....	92
4.2.1. Lista de materiales y herramientas .....	93
4.2.2. Construcción del sistema.....	96
<b>CAPÍTULO 5</b>	
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....	120
5.1. PROTOCOLO DE PRUEBAS .....	120
5.1.1 Parámetros de evaluación.....	120

5.2. ANÁLISIS DE DATOS .....	122
5.3. MANUAL DE OPERACIÓN .....	122
<b>CAPÍTULO 6</b>	
ANÁLISIS ECONÓMICO .....	123
6.1. COSTOS DIRECTOS.....	123
6.1.1. Costos de materiales .....	123
6.1.2. Costo de accesorios .....	124
6.1.3. Costo de consumibles.....	125
6.1.3. Costo de mano de obra directa.....	125
6.2. COSTOS INDIRECTOS .....	126
6.2.1. Materiales indirectos .....	126
6.2.2. Costo de misceláneos.....	126
6.3. COSTOS TOTALES.....	127
6.4. ESTUDIO ECONÓMICO .....	128
<b>CAPÍTULO 7</b>	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	132
7.1. CONCLUSIONES.....	132
7.2. RECOMENDACIONES .....	133
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>134</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>137</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Disposición requerida nueva planta El Inga.....	3
Figura 2. Sistema de laminación actual .....	4
Figura 3. Sistema de enfriamiento actual.....	7
Figura 4. Sistema de laminación para la línea N°2 .....	7
Figura 5. Conducción de calor a través de una pared plana .....	12
Figura 6. Transferencia de calor a través de una pared plana.....	14
Figura 7. Circuito térmico equivalente para una pared plana.....	15
Figura 8. Circuito térmico equivalente para una pared compuesta .....	16
Figura 9. Diferencia entre convección natural y convección forzada. ....	17
Figura 10. Absorción de la radiación incidente sobre una superficie .....	22
Figura 11. Lámina asfáltica termofusible sin membrana [ASFALUM] .....	24
Figura 12. Lámina asfáltica autoadhesiva sin membrana [ALUMBAND] .....	25
Figura 13. Lámina asfáltica modificada [5k] .....	26
Figura 14. Sistema de enfriamiento procesos sin armadura (Opción A).....	28
Figura 15. Sistema de enfriamiento procesos sin armadura (Opción B) .....	29
Figura 16. Unión permanente .....	29
Figura 17. Unión no permanente .....	30
Figura 18. Sistema de transmisión por bandas.....	30
Figura 19. Sistema de transmisión por cadenas .....	31
Figura 20. Rodamiento rígido de bolas .....	33
Figura 21. Rodamiento de rodillos cilíndrico .....	34
Figura 22. Forma escogida para la estructura .....	39
Figura 23. Tipo de uniones en la estructura metálica .....	40
Figura 24. Isometría de la estructura metálica escogida.....	40
Figura 25. Sistema de transmisión por cadenas .....	41
Figura 26. Rodamiento rígido de bolas de una hilera. ....	41
Figura 27. Disposición tubo cuadrado de 100 X 4 mm .....	42
Figura 28. Diferentes tamaños de perfil cuadrado ASTM A-36.....	44
Figura 29. Vigas del bastidor a analizarse .....	45
Figura 30. Diagrama de reacciones Viga 1 .....	45
Figura 31. Diagramas de fuerzas Viga 1 .....	46

Figura 32. Diagrama de momentos Viga 1 .....	46
Figura 33. Esfuerzo de Von Mises Viga 1 .....	47
Figura 34. Esfuerzo de corte Viga 1 .....	47
Figura 35. Deformación total Viga 1 .....	48
Figura 36. Diagrama de reacciones Viga 2 .....	48
Figura 37. Diagrama de fuerzas Viga 2 .....	49
Figura 38. Diagrama de momentos Viga 2 .....	49
Figura 39. Esfuerzo de Von Mises Viga 2 .....	50
Figura 40. Esfuerzo de corte Viga 2 .....	50
Figura 41. Deformación máxima Viga 2 .....	51
Figura 42. Diagrama de reacciones Viga 3 .....	51
Figura 43. Diagrama de fuerzas Viga 3 .....	52
Figura 44. Diagrama de momentos Viga 3 .....	52
Figura 45. Esfuerzo de Von Mises Viga 3 .....	53
Figura 46. Esfuerzo de corte Viga 3 .....	53
Figura 47. Deformación total Viga 3 .....	54
Figura 48. Diagrama de reacciones Viga 4 .....	54
Figura 49. Diagrama de fuerzas Viga 4 .....	55
Figura 50. Diagrama de momentos Viga 4 .....	55
Figura 51. Esfuerzo de Von Mises Viga 4 .....	56
Figura 52. Esfuerzo de corte Viga 4 .....	56
Figura 53. Deformación total Viga 4 .....	57
Figura 54. Disposición del tubo cuadrado de 50 X 3 mm .....	58
Figura 55. Normas para la construcción de escaleras industriales. ....	60
Figura 56. Placas empernadas (Vista frontal) .....	62
Figura 57. Placas empernadas (Vista superior) .....	62
Figura 58. Sistema de tracción .....	68
Figura 59. Conexión entre piñones .....	71
Figura 60. Entrada y salida de la lámina de la piscina .....	75
Figura 61. Sistema de tubería de agua .....	88
Figura 62. Paredes del sistema de enfriamiento .....	89
Figura 63. Distribución de presión sobre una pared .....	89

Figura 64. Sub partes del sistema de enfriamiento.....	92
Figura 65. Materiales para la elaboración del sistema de enfriamiento .....	96
Figura 66. Verificación de medidas y trazado en perfiles.....	96
Figura 67. Corte de los perfiles .....	97
Figura 68. Elaboración de placas empernadas.....	97
Figura 69. Verificación de nivel del perfil con respecto al suelo.....	97
Figura 70. Verificación de partes antes de ensamblar .....	98
Figura 71. Ensamble de columnas y vigas principales del bastidor .....	98
Figura 72. Comprobación de medidas en el ensamble .....	98
Figura 73. Medición y trazado en columnas del bastidor .....	99
Figura 74. Punteada de placas empernadas del bastidor.....	99
Figura 75. Colocación de placas empernadas en el bastidor .....	99
Figura 76. Refuerzo en la soldadura con electrodos 6010/7018.....	100
Figura 77. Eliminación de rebabas en el bastidor .....	100
Figura 78. Bastidor del sistema de enfriamiento .....	101
Figura 79. Elaboración de los cuartos de máquinas .....	101
Figura 80. Refuerzo en la soldadura en los cuartos de máquinas .....	101
Figura 81. Bastidor y cuartos de máquinas.....	102
Figura 82. Vista lateral del bastidor y dos cuartos de máquinas.....	102
Figura 83. Trazado de soportes de chumaceras en el bastidor .....	103
Figura 84. Colocación de soportes de chumaceras en el bastidor .....	103
Figura 85. Reforzada en la soldadura en los soportes de chumaceras .....	103
Figura 86. Limpieza y quite de rebabas en los soportes de chumaceras ...	104
Figura 87. Elaboración de gradas de acceso externas .....	104
Figura 88. Elaboración de gradas de acceso internas .....	105
Figura 89. Estructura del sistema de enfriamiento.....	105
Figura 90. Limpieza de la estructura por medio de gasolina.....	106
Figura 91. Base anticorrosiva (fondo) en toda la estructura .....	106
Figura 92. Estructura metálica pintada con pintura anticorrosiva .....	106
Figura 93. Pintura en las gradas de acceso externo.....	107
Figura 94. Pintura final en las gradas de acceso externas .....	107
Figura 95. Gradas de acceso externas finales.....	107

Figura 96. Armada del piso para el sistema de enfriamiento .....	108
Figura 97. Soldadura de plancha naval piso .....	108
Figura 98. Piso para el sistema de enfriamiento .....	108
Figura 99. Suelda lado reverso del piso.....	109
Figura 100. Prueba del piso en el sistema de enfriamiento .....	109
Figura 101. Comprobación del piso en el sistema de enfriamiento.....	110
Figura 102. Pintura naval en el piso.....	110
Figura 103. Pintura naval en el sistema de enfriamiento .....	110
Figura 104. Colocación planchas de acero galvanizado en el sistema.....	111
Figura 105. Paredes del sistema de enfriamiento.....	111
Figura 106. Suelda interna en el sistema de enfriamiento .....	111
Figura 107. Sistema de enfriamiento cubierto.....	112
Figura 108. Refuerzo en las paredes del sistema de enfriamiento .....	112
Figura 109. Pintura interior del sistema de enfriamiento.....	113
Figura 110. Sellado de posibles fugas de agua .....	113
Figura 111. Piñones del sistema enfriamiento piscina de Cashapamba .....	114
Figura 112. Limpieza de piñones y engranes. ....	114
Figura 113. Preparación de la superficie (Limpieza de la superficie).....	115
Figura 114. Colocación del galvanizado en frío. ....	115
Figura 115. Sistema de enfriamiento con el galvanizado en frío.....	116
Figura 116. Limpieza del rodillo .....	116
Figura 117. Pintura del rodillo .....	117
Figura 118. Verificación del rectificado de los rodillos .....	117
Figura 119. Instalación de rodillos en el sistema de enfriamiento.....	118
Figura 120. Rodillos en el sistema de enfriamiento .....	118
Figura 121. Colocación del sistema de tubería .....	119
Figura 122. Instalación del sistema de transmisión .....	119

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Grupos adimensionales relacionados con la transferencia.....	19
Tabla 2. Matriz combinada para la estructura metálica.....	35
Tabla 3. Matriz toma de decisiones para la estructura metálica .....	35
Tabla 4. Valoración de toma de decisiones para la estructura .....	36
Tabla 5. Matriz combinada para el tipo de unión en la estructura.....	36
Tabla 6. Matriz de toma de decisiones para la unión en la estructura .....	37
Tabla 7. Valoración del tipo de unión en la estructura .....	37
Tabla 8. Matriz combinada para el tipo de sistema de transmisión.....	38
Tabla 9. Matriz de toma de decisiones para el sistema de transmisión .....	38
Tabla 10. Valoración del sistema de transmisión.....	38
Tabla 11. Especificaciones del tubo cuadrado de 100X4 mm .....	42
Tabla 12. Propiedades del acero estructural ASTM A-36 .....	43
Tabla 13. Peso de los elementos del bastidor .....	44
Tabla 14. Reacciones encontradas Viga 1 .....	45
Tabla 15. Momentos encontrados Viga 1 .....	46
Tabla 16. Reacciones encontradas Viga 2 .....	48
Tabla 17. Momentos encontrados Viga 2 .....	49
Tabla 18. Fuerzas encontradas Viga 3 .....	51
Tabla 19. Momentos encontrados Viga 3 .....	52
Tabla 20. Fuerzas encontradas Viga 4 .....	54
Tabla 21. Momentos encontrados Viga 4 .....	55
Tabla 22. Análisis de vigas del bastidor.....	58
Tabla 23. Especificaciones tubo cuadrado de 50 X 3 mm .....	59
Tabla 24. Propiedades del acero galvanizado .....	61
Tabla 25. Especificaciones perno SAE GRADO 8.....	62
Tabla 26. Cálculo del factor $f_o$ .....	65
Tabla 27. Cálculo de factores e, X, Y.....	65
Tabla 28. Horas de funcionamiento de acuerdo a la máquina utilizada.....	67
Tabla 29. Características de las chumaceras utilizadas .....	68
Tabla 30. Información técnica del motor del sistema de enfriamiento .....	70
Tabla 31. Conexión entre piñones .....	72

Tabla 32. Especificaciones cadena piscina .....	73
Tabla 33. Temperatura de laminación para los productos sin armadura .....	75
Tabla 34. Materiales utilizados para la construcción del sistema.....	93
Tabla 35. Lista de materiales utilizados para la construcción .....	94
Tabla 36. Tabulación de datos del sistema de enfriamiento .....	121
Tabla 37. Tabulación de datos del sistema de enfriamiento .....	123
Tabla 38. Costo de materiales directos fabricación de la estructura.....	124
Tabla 39. Costo de accesorios.....	124
Tabla 40. Costo de consumibles.....	125
Tabla 41. Costo de mano de obra directa.....	125
Tabla 42. Costo de materiales indirectos.....	126
Tabla 43. Costo de misceláneos.....	126
Tabla 44. Costos directos .....	127
Tabla 45. Costos Indirectos .....	127
Tabla 46. Costo Total.....	127
Tabla 47. Inversión del sistema de enfriamiento.....	128
Tabla 48. Desperdicios año 2014 .....	128
Tabla 49. Costo total de desperdicios.....	129
Tabla 50. Reducción del producto defectuoso .....	129
Tabla 51. Análisis económico proyectado a 10 años.....	130
Tabla 53. Resultado de índices económicos/financieros .....	130

## **LISTA DE ANEXOS**

**ANEXO A:** PLANO DE LAMINADORA SIN ARMADURA BOATO

**ANEXO B:** PLANOS DEL SISTEMA DE TUBERÍA

**ANEXO C:** PLANOS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

**ANEXO D:** SISTEMA DE AGITACIÓN DE AGUA

**ANEXO E:** REPORTE TÉCNICO DE LAS PRUEBAS REALIZADAS

**ANEXO F:** MANUAL DE OPERACIÓN

## NOMENCLATURA

SIMBOLOGÍA	DEFINICIÓN	UNIDADES
$W.F$ =	Weighting factors “Matriz de valor” para la matriz combinada	-
$R.F$ =	Rating factors “Factores de calificación” para la matriz combinada	-
$T_S$ =	Temperatura de superficie de la lámina a la entrada de la piscina	°C
$T_\infty$ =	Temperatura del flujo libre de agua inicial	°C
$T_F$ =	Temperatura de película	°C
$\alpha$ =	Absortividad	-
$\varepsilon$ =	Emisividad de la lámina	-
$P_{sat}$ =	Presión de saturación	KPa
$\rho_{agu}$ =	Densidad del agua a una temperatura determinada	Kg/m <sup>3</sup>
$\rho_{lámi}$ =	Densidad de la lámina a una temperatura determinada	Kg/m <sup>3</sup>
$C_p$ =	Calor específico	J/Kg °K
$k$ =	Conductividad térmica	W/m °K
$\mu$ =	Viscosidad dinámica	Kg/ms
$\nu$ =	Viscosidad cinemática	m <sup>2</sup> /s
$Bi$ =	Número de Biot	-
$Bi_m$	Número de Biot para la transferencia de masa	-
$Bo$ =	Número de Bond	-
$C_f$ =	Coefficiente de fricción	-
$Ec$ =	Número Eckert	-
$Fo$ =	Número de Fourier	-
$Fo_m$ =	Número de Fourier para la transferencia de masa	-
$f$ =	Factor de fricción	-
$Gr_L$ =	Número de Grashof	-
$j_H$ =	Factor j de Coulburn	-
$Ja$ =	Número de Jakob	-
$Le$ =	Número de Lewis	-
$Pe_L$ =	Número de Peclet	-
$Sc$ =	Número de Schmidt	-
$Sh_L$ =	Número de Sherwood	-
$St$ =	Número de Stanton	-

CONTINÚA →

$We$	=	Número de Weber	-
$Pr$	=	Número de Prandtl	-
$Re$	=	Número de Reynolds	-
$Nu$	=	Número de Nusselt	-
$V_{flui}$	=	Velocidad del fluido	$m/s$
$V_{lámi}$	=	Velocidad de la lámina	$m/s$
$L$	=	Longitud total de la lámina	$m$
$h$	=	Coefficiente de transferencia de calor por convección	$W/m^2 \text{ } ^\circ K$
$As$	=	Área de superficie	$m^2$
$Ac$	=	Área de contacto	$m^2$
$\dot{Q}_{con}$	=	Transferencia de calor por convección	$W$
$\dot{Q}_{alre}$	=	Transferencia de calor por radiación	$W$
$\sigma$	=	Constante de Stefan Boltzmann	$W/m^2 \text{ } ^\circ K^4$
$T_{alre}$	=	Temperatura de los alrededores	$^\circ C$
$\dot{Q}_{TOT}$	=	Transferencia de calor total	$W$
$\dot{m}_{lám}$	=	Masa que sale laminado por unidad de tiempo	$Kg/s$
$T_2$	=	Temperatura de salida de la lámina bajo condiciones establecidas	$^\circ C$
$L_{viga}$	=	Longitud de la viga	$m$
$R_A$	=	Reacción en el punto A	$N$
$R_B$	=	Reacción en el punto B	$N$
$M_A$	=	Momento en el punto A	$Nm$
$M_B$	=	Momento en el punto A	$Nm$
$\sigma_{viga}$	=	Esfuerzo normal en la viga	$Pa$
$\tau_{viga}$	=	Esfuerzo cortante en la viga	$Pa$
$\delta_{viga}$	=	Deflexión en la viga	$m$
$F.S$	=	Factor de seguridad en la viga	$m$
$I_{xx}$	=	Inercia en el eje $x - x'$	$cm^4$
$S_y$	=	Esfuerzo de fluencia del material	$Pa$
$P$	=	Carga dinámica equivalente del rodamiento	$kN$
$F_r$	=	Carga radial real del rodamiento	$kN$
$F_a$	=	Carga axial radial del rodamiento	$kN$
$X$	=	Factor de carga radial del rodamiento	-
$Y$	=	Factor de carga axial del rodamiento	-

CONTINÚA 

$e$	=	Valor límite para $F_a/F_r$	-
$f_o$	=	Factor de cálculo para encontrar la relación de carga axial en el rodamiento	-
$C_o$	=	Capacidad de carga estática	$kN$
$L_{10}$	=	Vida nominal del rodamiento	<i>millones rev</i>
$L_{10h}$	=	Vida nominal del rodamiento	<i>horas func</i>
$C$	=	Capacidad de carga dinámica	$kN$
$P$	=	Carga dinámica equivalente del rodamiento	$kN$
$n$	=	Velocidad de giro	<i>r.p.m</i>
$p$	=	Exponente de la ecuación de la vida nominal	-
$F_{tM}$	=	Fuerza tangencial del motor	$N$
$\mu_T$	=	Coefficiente de fricción de marcha	-
$\mu_r$	=	Coefficiente de fricción de marcha sobre rodillo	-
$m_{5k}$	=	Masa de la lámina de 5k	$kg$
$m_r$	=	Masa de los rodillos de 540 mm	$kg$
$P_m$	=	Potencia del motor	$H.P$
$F_{tM}$	=	Fuerza tangencial del motor	$N$
$n_m$	=	Eficiencia del motor	-
$u_l$	=	Velocidad de la lámina	$m/s$
$F_{r_{ag}}$	=	Fuerza resultante del agua	$N$
$p_{prom}$	=	Presión promedio	$N/m^2$
$\gamma$	=	Gravedad específica	$N/m^3$
$d$	=	Profundidad total del fluido	$m$

---

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

<b>CALOR</b>	Es la energía cinética total de todos los átomos o moléculas de una sustancia.
<b>TEMPERATURA</b>	La temperatura es una medida de la energía cinética promedio de los átomos y moléculas individuales de una sustancia.
<b>CALOR ESPECÍFICO</b>	El calor específico es la cantidad de calor que se necesita por unidad de masa para elevar la temperatura un grado Centígrado.
<b>PESO ESPECÍFICO</b>	El peso específico es la relación entre el peso de una sustancia y su volumen.
<b>DENSIDAD</b>	Es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia.
<b>DENSIDAD RELATIVA</b>	La densidad relativa es una comparación de la densidad de una sustancia con la densidad de otra que se toma como referencia.
<b>VOLUMEN ESPECÍFICO</b>	Es el volumen ocupado por unidad de masa de un material. Es inverso a la densidad.
<b>HUMEDAD</b>	Agua u otro líquido que impregna la superficie o el interior de un cuerpo, o presente en el aire en forma de vapor.
<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	Porcentaje de la masa de vapor de agua contenida en un volumen de aire y la que tendría si tuviera saturado.

## RESUMEN

Dado el crecimiento acelerado que ha experimentado Chova del Ecuador en los últimos años, se ha visto en la necesidad de construir una nueva planta industrial con tecnología de punta, la misma que se encuentra ubicada en el sector de Pintag, en la provincia de Pichincha. En el presente proyecto se ha diseñado, construido e implementado un sistema de enfriamiento para el proceso de laminación de membrana sin armadura. En la planta de Cashapamba se tenía un solo sistema para el proceso de laminación, para la nueva planta se decidió dividir los procesos teniendo un solo sistema para los productos de membrana sin armadura (ASFALUM, ALUMBAND, 5K). El sistema ha sido construido tomando en cuenta las necesidades y requerimientos de la planta anterior como son: profundidad de la piscina de enfriamiento, temperatura máxima del agua, temperatura de la lámina a la salida de la piscina de enfriamiento, recorrido total de la lámina. En el diseño del sistema de enfriamiento se obtuvieron varias propuestas, que cumplieran con los requerimientos deseados, pero fue necesario realizar una matriz de decisión para poder construir la más adecuada. El sistema está diseñado para una temperatura de ingreso de la lámina de 160°C, a la salida de la piscina de enfriamiento la temperatura de la lámina máxima es de 40°C y la temperatura apropiada del agua es la temperatura ambiente de 20°C, teniendo una recirculación constante del agua.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **SISTEMA DE ENFRIAMIENTO**
- **PROCESO DE LAMINACIÓN**
- **MEMBRANAS SIN ARMADURA**
- **CIRCULACIÓN DE AGUA**
- **CHOVA DEL ECUADOR S.A**

## **ABSTRACT**

Given the rapid growth experienced Chova of Ecuador S.A in recent years has seen the need to create a new industrial plant technology, the same that is located in the Pintag, in the province of Pichincha. In the present project has been designed, built and implemented a cooling system for membrane lamination process without armor. On the ground of Cashapamba one system to the lamination process for the new plant was decided to divide the processes having a single system for membrane products unarmored (ASFALUM, ALUMBAND, 5K) be had. The system has been built taking into account the needs and requirements of the previous plant such as: depth of the pool cooling, high water temperature, temperature of the sheet at the exit of the cooling pool, total length of the sheet. In the design of the cooling system several proposals that met the desired requirements were obtained, but it was necessary to make a decision matrix to build the best. It should be noted that the system is designed for an inlet temperature of 160 ° C film, just off the pool cooling the maximum temperature is 40 ° C and the appropriate water temperature is the ambient temperature of 20 ° C, having a constant water recirculation.

### **KEYWORDS:**

- **COOLING SYSTEM**
- **ROLLING PROCESS**
- **MEMBRANES WITHOUT ARMOR**
- **WATER CIRCULATION**
- **CHOVA OF ECUADOR S.A**

# CAPÍTULO 1

## GENERALIDADES

### 1.1. ANTECEDENTES DE CHOVA DEL ECUADOR S.A

Chova del Ecuador S.A, se funda en el año de 1979, iniciando con la producción de láminas asfálticas Impernylon, Imperglass, teja Shingle, Asfalum, pegamentos e imprimantes de base asfáltica con solventes.

Chova del Ecuador en sus primeros años, tuvo gran resistencia del mercado hacia el consumo de sus productos, debido a la falta de cultura de impermeabilización asfáltica en el medio, pero gracias a su sistema de gestión de calidad ha logrado permanecer en el mercado sólidamente. El tema de innovación ha sido fundamental en Chova del Ecuador, mejorando enormemente el producto, y de igual manera creando nuevos productos.

El principal componente de fabricación es el asfalto, que es provisto por la empresa nacional Petroecuador, adicionalmente cuenta con proveedores del exterior de materias primas que no se producen en el país como son el polímero, foil de aluminio, armaduras de poliéster y fibra de vidrio. A partir del año 2009, comienzan los estudios de pre factibilidad para la construcción de la nueva planta industrial en el sector El Inga

Los productos que se elaboran en Chova del Ecuador son los siguientes:

- Láminas impermeabilizantes para cubiertas.
- Láminas para cubiertas ecológicas.
- Revestimientos líquidos para impermeabilización.
- Tejas para cubiertas.
- Emulsiones y productos asfálticos para construcciones viales.
- Paneles aislantes prefabricados para la construcción.
- Canales metálicos y bajantes de agua lluvia.

## 1.2. MARCO INSTITUCIONAL

### 1.2.1. Misión<sup>1</sup>

Ser los mejores.

### 1.2.2. Visión<sup>2</sup>

Ser una empresa líder en la región de la costa del pacifico sur, en el desarrollo, la fabricación y comercialización de productos y sistemas innovadores para la construcción.

### 1.2.3. Política de la calidad<sup>3</sup>

La política de la calidad de Chova del Ecuador S.A, tiene como finalidad:  
**“Cumplir con las expectativas del cliente.”**

- Entregando productos fabricados bajo especificaciones, para atender al sector de la construcción, vial y automotriz.
- Comprometiéndonos con el mejoramiento continuo.
- Ejerciendo prácticas éticas de comercio.

### 1.2.4. Objetivos de la calidad<sup>4</sup>

Los objetivos de la calidad de Chova del Ecuador S.A, están dados por el cumplimiento de las siguientes expectativas:

- Ser identificado como una empresa que innova y mejora continuamente sus procesos y sus productos.
- Mantener vigente un Sistema de Calidad acorde a normativas internacionales.
- Generar un ambiente de trabajo que fomente la creatividad, el trabajo en equipo, la toma de decisiones que implican riesgo y una atmósfera caracterizada por un ánimo pro-activo.
- Lograr una disminución constante de los reclamos de los clientes.
- Lograr un crecimiento sostenido de las ventas y una rentabilidad que satisfaga las expectativas de los accionistas.

---

<sup>1</sup> <http://www.imptek.com/index.php/mision-y-vision>

<sup>2</sup> <http://www.imptek.com/index.php/mision-y-vision>

<sup>3</sup> <http://www.imptek.com/index.php/mision-y-vision>

<sup>4</sup> <http://www.imptek.com/index.php/mision-y-vision>

- Incrementar las ventas de Exportación.
- Mantener el liderazgo en la participación del mercado de la impermeabilización en el Ecuador.

### 1.2.5. Planta “El Inga”

Para fines del presente año se pretende tener en pleno funcionamiento la planta en el sector industrial El Inga, con la construcción de nuevas máquinas industriales que satisfagan el mercado actual.

La planta del Inga se encuentra ubicada en el sector de Pintag, en la figura 1, se observa la disposición requerida de las instalaciones y de las maquinarias.

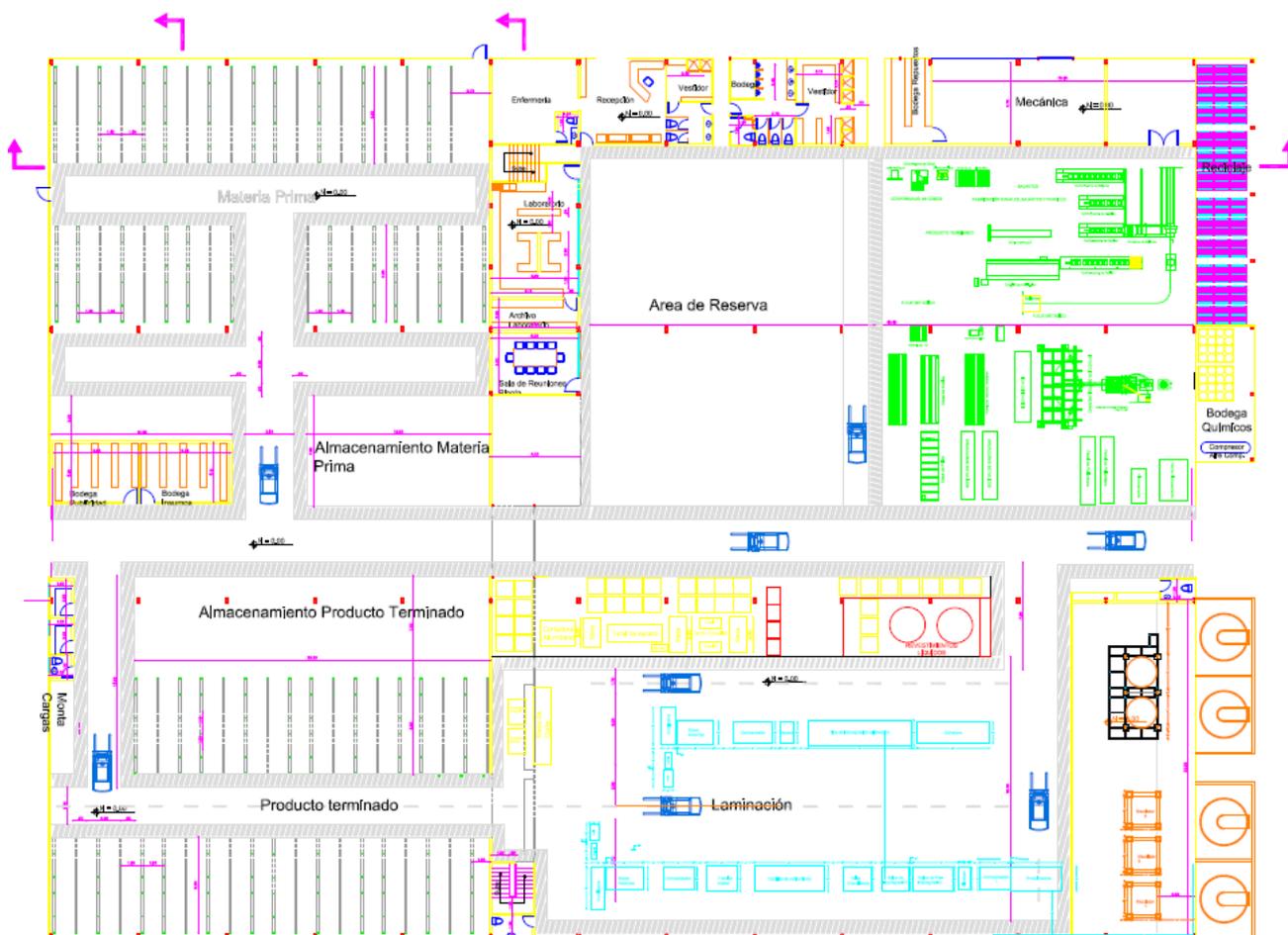


Figura 1. Disposición requerida nueva planta El Inga

### 1.3. ANTECEDENTES

Dado el crecimiento acelerado que ha tenido CHOVA del Ecuador S.A, se ha planteado como objetivo la construcción de una nueva planta industrial, la misma que contará con nuevos equipos y maquinarias, asegurando el abastecimiento en el mercado nacional e internacional; además se ha considerado una división en cada proceso, es decir los productos de laminación sin armadura tendrán un solo sistema que los elabore.

Para finales del presente año, se tiene como objetivo la operación completa en la nueva planta en el Inga, así como la nueva línea de laminación de membrana sin armadura.

#### 1.3.1. Sistema de laminación actual (Planta de Cashapamba)

La planta de Cashapamba cuenta con una sola línea de laminación para los productos impermeabilizantes como se puede observar en la figura siguiente:



Figura 2. Sistema de laminación actual

**Fuente:** Samaniego C. "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA LA EMPRESA CHOVA DEL ECUADOR S.A. PLANTAS INGA Y CASHAPAMBA." Tesis de Pregrado en Ingeniería Mecánica, ESPE, Sangolquí

El proceso de fabricación inicia con los rollos de poliéster o fibra de vidrio que conforman la denominada armadura de la lámina. La armadura sigue a un proceso de impregnación de asfalto modificado, el cual es una mezcla de asfalto con polímeros elastómeros SBS. Dependiendo del tipo de producto que se esté fabricando, este proceso se realiza por sumersión en un tanque

de agua o simplemente por un proceso de convección con el aire circundante, para el proceso de laminación de membranas sin armadura el proceso se realiza mediante la sumersión del tanque lleno de agua, proveniente de una piscina adyacente a la planta.

El producto terminado pasa a un acumulador para finalmente ser enrollado para su almacenamiento y posterior comercialización.

El sistema de laminación cuenta con los siguientes elementos:

- **Desenrollador:** Formado por una estructura capaz de soportar dos rollos simultáneamente. Permite el bobinado de los carretes con la materia prima de la armadura, la cual puede ser de poliéster o fibra de vidrio, esto en función del producto que se esté fabricando.
- **Empalmadora:** En esta estación se une los dos rollos de materia prima montados en el desenrollador. Esto se realiza, mediante la aplicación de presión y calor, cuando uno de los dos rollos está por terminar.
- **Acumulador de armadura:** El acumulador es una estructura que consta de un juego de rodillos unidos mediante cadenas a un contrapeso. La función de esta estación es la asegurar la continuidad de alimentación de armadura en el proceso.
- **Balsa de impregnación:** Aquí la armadura es rociada de asfalto modificado. El asfalto se mantiene caliente mediante un sistema de intercambiador de calor con aceite térmico. Para asegurar la saturación de las fibras de la armadura con el asfalto, la balsa cuenta con un par de rodillos tangentes con separación ajustable (depende del espesor requerido).
- **Aplicación de gránulos minerales:** La estación de aplicación de gránulos cuenta con estructura la cual soporta una tolva y una banda dosificadora que permite aplicar uniformemente la cantidad de material requerido. El gránulo se adhiere a una de las caras de lámina con asfalto modificado, el cual se encuentra caliente. La otra cara de la lámina es cubierta con polietileno de alta densidad termofusible.

- **Enfriador:** Esta estación consta de un tanque de agua de 5 metros de longitud con una profundidad de 3 metros. Dentro del mismo, se encuentran rodillos con un diámetro de 540 milímetros. La lámina es sumergida en el agua por medio de estos rodillos. Antes del enfriador se ubica un sistema de aplicación de láminas de polietileno de alta densidad. Dichas láminas suministradas por dos rollos, son adheridas al mismo tiempo tanto en la cara inferior como superior de la armadura recubierta por el asfalto modificado.
- **Acumulador de producto terminado:** Esta estación se encarga de acumular el producto terminado, antes de ser enrollado. Cuenta con los mismos elementos del acumulador de armadura.
- **Enrolladora:** La membrana es enrollada gracias al torque de un eje controlado por un embrague que regula la tensión de enrollado. Este eje es conducido por un motor de corriente alterna con velocidad variable.

El corte de la lámina es transversal y se realiza con una cuchilla controlada por un sistema neumático.

En la planta actual (Cashapamba), se observa que uno de los peligros latentes está dado por la profundidad que tiene el sistema de enfriamiento ya que representa un peligro para los empleados, al momento de realizar el mantenimiento. Chova del Ecuador S.A, desea disminuir esas situaciones peligrosas con la elaboración de un nuevo sistema de enfriamiento exclusivo para el proceso de laminación de membranas sin armaduras.

La empresa internacional BOATO radicada en Italia, se encarga de la elaboración de estos sistemas de enfriamiento, pero debido a su costo excesivo y tiempos de entrega no aptos para Chova del Ecuador. S.A, la misma ha decidido elaborar su propio sistema de enfriamiento cumpliendo con todas las necesidades requeridas por producción.

En la figura 3, se puede observar como es el sistema de enfriamiento actual (Planta de Cashapamba), para el proceso de laminación de membrana sin armadura.



Figura 3. Sistema de enfriamiento actual

### 1.3.2. Descripción del nuevo sistema de laminación

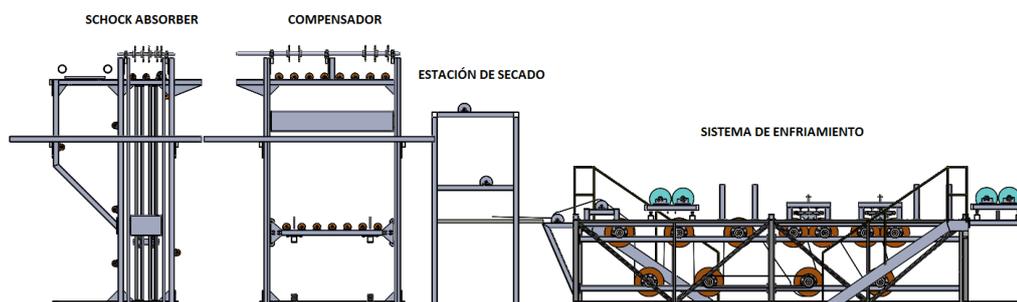


Figura 4. Sistema de laminación para la línea N°2

Este sistema como se observa en la figura N°4, es un sistema totalmente diferente al que existe en la planta de Cashapamba, los productos que se elaboran no requieren un sistema tan complejo como el que existía.

A través de una tubería el asfalto modificado, se forma la lámina en los rodillos y pasa por la piscina para enfriar las láminas asfálticas de una manera drástica la temperatura de entrada de la mezcla es de aproximadamente 160°C y con el presente sistema de enfriamiento a elaborar se plantea que la salida de las láminas asfálticas borde de 20 a 40°C.

A continuación pasa por la estación de secado, en donde el objetivo es de eliminar todo exceso de agua y a través de un soplador, retirar el exceso de agua, la lámina pasa por el compensador para, finalmente terminar por el shock absorber, las dos últimas estaciones cumplen con la función de absorber el impacto, para evitar que la lámina se rompa.

#### **1.4. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

En la nueva línea de laminación en la planta el Inga, se tiene planeado producir tanto láminas con armaduras, así como también láminas sin armadura. En la línea de producción actual (Cashapamba), la estación de enfriamiento representa un gran problema, ya que no posee un sistema de enfriamiento apropiado y la temperatura de salida de las láminas es mayor que la temperatura requerida. La temperatura de salida del agua para el proceso de laminación de membrana sin armadura bordea actualmente los 65°C lo que ocasiona grandes problemas en el proceso de enrollado, la temperatura de salida del agua óptima para poder trabajar sin inconvenientes debe estar entre 20 a 40 °C.

Otro inconveniente que sufre la línea de producción actual, es el tiempo de trabajo ya que el sistema de enfriamiento trabaja con las condiciones establecidas durante un turno de trabajo, para los turnos posteriores, las condiciones cambian ya no se puede trabajar de la misma forma. Además a través de la implementación del sistema de enfriamiento para el proceso de

laminación de membrana sin armadura se desea mejorar la producción ya que en la línea actual (Cashapamba) comparte el mismo juego de rodillos tanto para el enfriamiento de las láminas con armadura como para el enfriamiento de las láminas sin armadura. Por esta razón es necesario limpiar los gránulos minerales que caen en el tanque en el proceso de producción de las láminas sin armadura, antes de proceder con la producción.

Además se observa que uno de los peligros constantes está dado por la profundidad que tiene el sistema de enfriamiento, al momento de realizar el mantenimiento por parte de los empleados, se desea disminuir esas situaciones peligrosas con la elaboración de un nuevo sistema de enfriamiento exclusivo para el proceso de laminación de membranas sin armaduras.

## **1.5. OBJETIVOS**

### **1.5.1. Objetivo general**

Realizar el diseño, construcción e implementación del sistema de enfriamiento para el proceso de laminación de membrana sin armadura en la línea de producción N°2, de la planta CHOVA del Ecuador S.A

### **1.5.2. Objetivos específicos:**

- Definir la alternativa de selección más apropiada para el sistema.
- Realizar el diseño térmico para el proceso de laminación.
- Realizar el diseño mecánico del sistema.
- Realizar el análisis económico y financiero del proyecto.

## **1.6. ALCANCE DEL PROYECTO**

El presente proyecto tiene como alcance definir las condiciones y parámetros de diseño, definir las distintas alternativas de diseño y matrices de ponderación, elaboración de la matriz de toma de decisiones, realización del diseño estructural, diseño mecánico, y diseño térmico, además de la construcción e implementación del sistema, realización de las pruebas de funcionamiento, análisis de los datos, realización del análisis económico del proyecto, y la presentación de las conclusiones y recomendaciones.

El proyecto, se elaborará por la creación de una nueva planta industrial, además porque se prevé un gran crecimiento comercial y es necesario que cada línea de producción cuente con su propia maquinaria, debido a la demanda del producto, con la creación del proyecto se quieren eliminar en lo máximo posible las pérdidas por productos defectuosos.

Además se entregará los planos del sistema, y el respectivo manual de operación.

### **1.7. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

La temperatura a la salida del enfriamiento en la línea actual de Cashapamba representa un gran problema al momento de enrollar el producto terminado ya que generalmente se adhiere consigo mismo, lo que genera producto inconforme que finalmente no puede ser comercializado, generando grandes pérdidas económicas a CHOVA del Ecuador.

Implementar un tanque similar al actual en la nueva línea representaría un alto costo, debido a las dimensiones del mismo, así como un peligro para el personal de producción. Es por esto que el presente proyecto pretende implementar una estación de enfriamiento específico para el proceso de laminación de membrana sin armadura, en donde el enfriamiento se va a realizar mediante agua a través del uso de bombas.

## CAPÍTULO 2

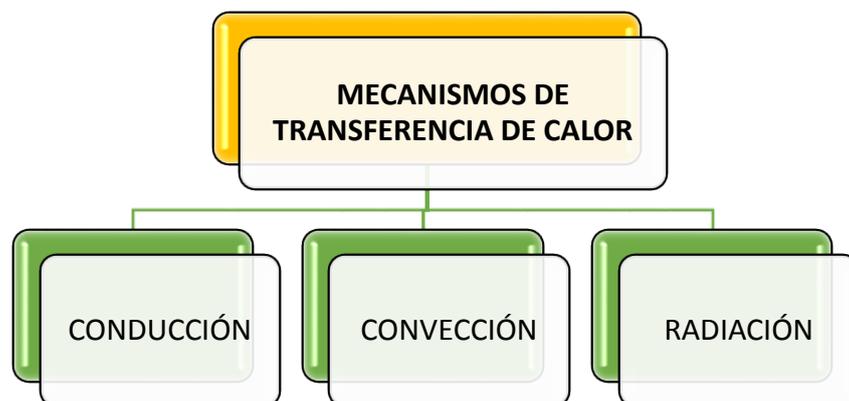
### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. GENERALIDADES DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor es la energía de tránsito debido a una diferencia de temperaturas. Ocurre de tal manera que el cuerpo y su entorno alcancen el equilibrio térmico, la transferencia de calor acontece desde un cuerpo más caliente a uno más frío, como resultado de la segunda ley de la termodinámica.

##### 2.1.1. Mecanismos de transferencia de calor

El calor se puede transferir por tres métodos diferentes: conducción, convección y radiación; y todos estos métodos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja.



### 2.1.1.1. Conducción

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia, como resultado de las iteraciones de estas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y en los líquidos la conducción se da a través de las colisiones y la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se da a partir de las combinaciones de vibraciones de sus moléculas. La transferencia de energía por conducción debe ocurrir en la dirección de la temperatura decreciente. La rapidez o razón de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de éste, su espesor y el material del que esté hecho, de igual forma depende de la diferencia de temperatura a través de él.

Para un volumen de espesor  $\Delta x$ , con un área de sección transversal  $A$  y cuyas caras opuestas se encuentran a diferentes  $T_1$  y  $T_2$ , con  $T_1 > T_2$ , se encuentra que el calor transferido en un tiempo  $\Delta t$  fluye del extremo caliente al frío como se muestra en la figura siguiente.

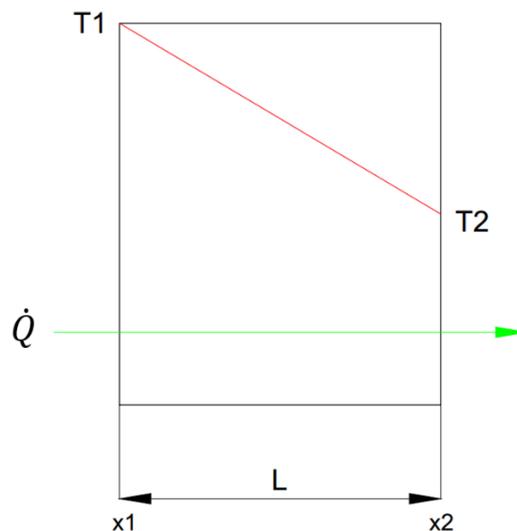


Figura 5. Conducción de calor a través de una pared plana

Se denomina  $\dot{Q}$  (en  $W$ ) a la cantidad de calor transferido por unidad de tiempo, la razón de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperaturas a través de ésta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de la capa es decir:

$$\text{Razón de conducción de calor} \propto \frac{(\text{Área})(\text{Diferencia de temperatura})}{\text{Espesor}}$$

$$\dot{Q}_{cond} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (W) \quad (2-1)$$

En donde  $k$  es la **Constante de conductividad térmica del material**, que es una medida de la capacidad de un material para conducir calor. En el caso que  $\Delta x \rightarrow 0$ , la ecuación reduce de forma diferencial

$$\dot{Q}_{cond} = kA \frac{dT}{dx} \quad (W) \quad (2-2)$$

A esta ecuación se la conoce como **“Ley de Fourier”**

## CONDUCCIÓN UNIDIMENSIONAL DE ESTADO ESTABLE

- **Pared plana:** En la conducción unidimensional, la temperatura es una función de la coordenada  $X$ , transfiriéndose el calor solo en esa dirección. Como se observa en la figura 5 el traspaso de calor en una pared plana, donde la transferencia de calor empieza mediante convección desde la temperatura del fluido caliente  $T_{\infty}$  hacia la superficie de la pared  $T_{s,1}$  y luego por conducción hacia  $T_{s,2}$  y terminar nuevamente por convección hacia  $T_{s,2}$

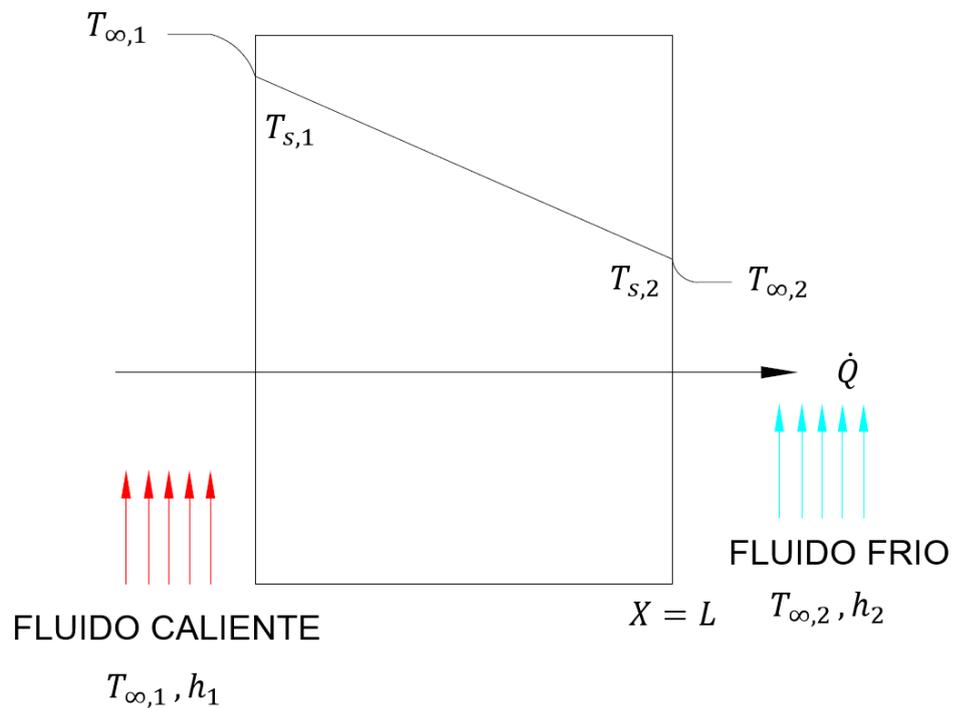


Figura 6. Transferencia de calor a través de una pared plana

Existe una analogía entre la difusión del calor y la carga eléctrica, es decir se asocia la resistencia térmica con la conducción del calor, de la misma manera que la resistencia eléctrica con la conducción de la electricidad. La resistencia eléctrica para la conducción y para la convección son los siguientes:

$$R_{t, cond} = \frac{L}{kA} \quad (2-3)$$

$$R_{t, cond} = \frac{L}{hA} \quad (2-4)$$

Para pared plana el circuito térmico equivalente con condiciones de convección superficial es como se muestra a continuación:

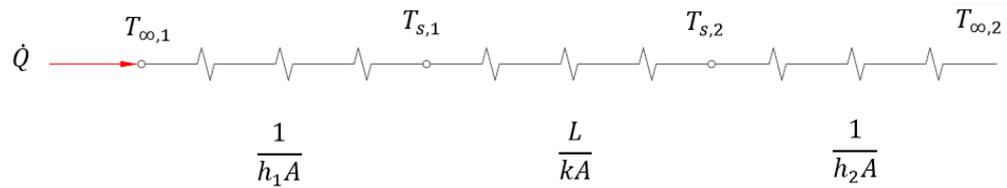


Figura 7. Circuito térmico equivalente para una pared plana

Las resistencias se encuentran en serie de acuerdo a la analogía de Ohm, por lo tanto la resistencia total es igual a:

$$R_{tot} = \frac{1}{h_1 A} + \frac{L}{k A} + \frac{1}{h_2 A} \quad (2-5)$$

Siendo la transferencia de calor para una pared plana:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{tot}} \quad (2-6)$$

- **PARED COMPUESTA:** Para desarrollar una pared compuesta se debe utilizar el mismo procedimiento que en la pared plana, debido a que existen resistencias en serie y en paralelo.

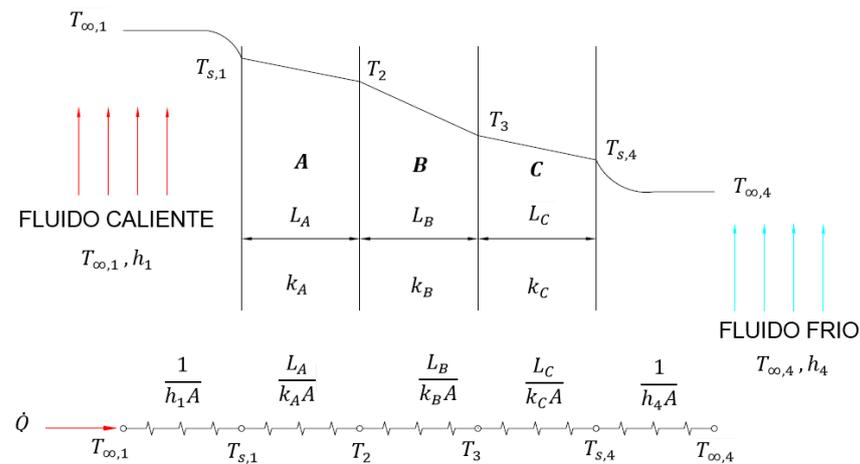


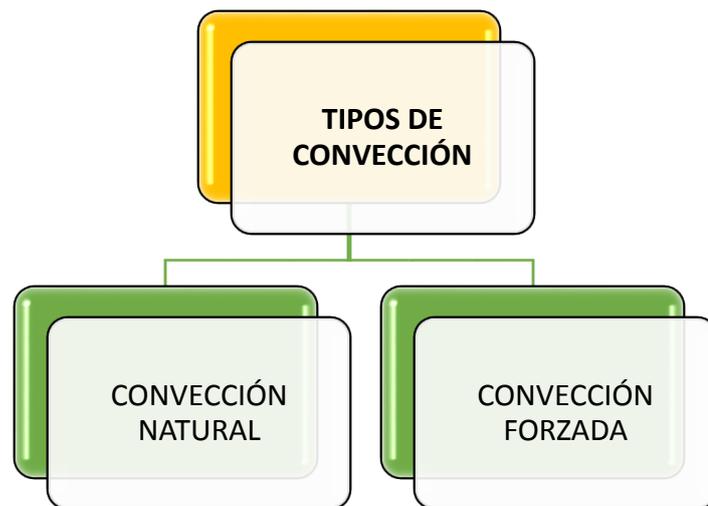
Figura 8. Circuito térmico equivalente para una pared compuesta

La transferencia del calor puede expresarse mediante:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 4}}{\sum R_{tot}} \quad (2-7)$$

### 2.1.1.2. Convección

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



**Convección forzada:** Se denomina convección forzada si el fluido es forzada a subir sobre la superficie mediante medios externos como un ventilador, una bomba o el viento

**Convección natural:** Se denomina convección natural si el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje que son inducidas por las diferencias de densidad debidas a la variación de temperatura de ese fluido.

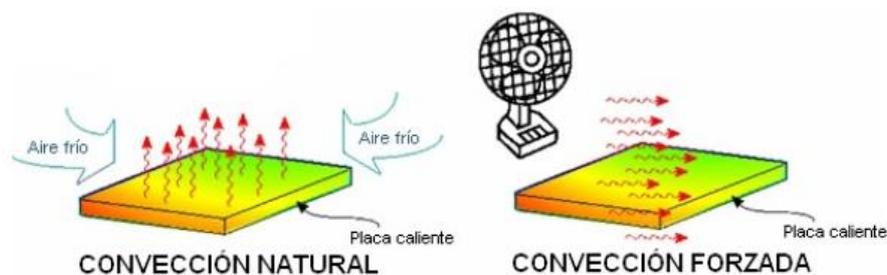


Figura 9. Diferencia entre convección natural y convección forzada.

Fuente: <http://www.sergioariasfernandez.com/2014/05/conveccion-termica.html>

Se concluye que la transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa mediante la “**Ley de enfriamiento de Newton**” como:

$$\dot{Q}_{conv} = h * A_s(T_s - T_{\infty}) \quad (2-8)$$

En donde  $h$  es el coeficiente de transferencia de calor por convección y se expresa en  $w/m^2 \text{ } ^\circ K$ ,  $A_s$  es el área superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor por convección,  $T_s$  es la temperatura de la superficie y  $T_{\infty}$  es la temperatura del fluido.

Tabla 1. Grupos adimensionales relacionados con la transferencia de calor y masa

## NÚMEROS ADIMENSIONALES RELACIONADOS CON LA TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA

GRUPO	DEFINICIÓN	INTERPRETACIÓN
Número de Biot ( $Bi$ )	$\frac{hl}{k_s}$	Razón de la resistencia térmica interna de un sólido a la resistencia térmica de la capa límite.
Número de Biot para la transferencia de masa ( $Bi_m$ )	$\frac{h_m L}{D_{AB}}$	Razón de la resistencia interna de transferencia de especies a la resistencia de transferencia de especies de la capa límite.
Número de Bond ( $Bo$ )	$\frac{g(\rho_l - \rho_v)L^2}{\sigma}$	Razón de las fuerzas gravitacional y de tensión superficial.
Coeficiente de fricción ( $C_f$ )	$\frac{\tau_s}{\rho V^2/2}$	Esfuerzo cortante superficial adimensional.
Número de Eckert ( $Ec$ )	$\frac{V^2}{C_p(T_s - T_\infty)}$	Energía cinética del flujo en relación con la diferencia de entalpías de la capa límite.
Número de Fourier ( $Fo$ )	$\frac{\alpha t}{L^2}$	Razón de la rapidez de conducción de calor a la rapidez de almacenamiento de energía térmica en un sólido, tiempo adimensional.

CONTINÚA  $\longrightarrow$

Número de Fourier para transferencia de masa ( $Fo_m$ )	$\frac{D_{AB}^t}{L^2}$	Razón de la rapidez de difusión de especies a la rapidez de almacenamiento de especies, tiempo adimensional.
Factor de fricción ( $f$ )	$\frac{\Delta p}{\left(\frac{L}{D}\right) \left(\frac{\rho u_m^2}{2}\right)}$	Caída de presión adimensional para flujo interno.
Número de Grashof ( $Gr_L$ )	$\frac{g\beta(T_s - T_{\infty})L^3}{\nu^2}$	Razón de las fuerzas de empuje a las viscosas.
Factor $j$ de Colburn ( $J_H$ )	$StPr^{\frac{2}{3}}$	Coefficiente de transferencia de calor adimensional
Número de Jakob ( $Ja$ )	$\frac{C_p(T_s - T_{sat})}{h_{fg}}$	Razón de la energía sensible a latente absorbida durante el cambio de fase líquido-vapor
Número de Lewis ( $Le$ )	$\frac{\alpha}{D_{AB}}$	Razón de las difusividades térmicas y de masa.
Número de Nusselt ( $Nu_L$ )	$\frac{hl}{k_f}$	Gradiente de temperatura adimensional en la superficie.
Número de Peclet ( $Pe_L$ )	$\frac{VL}{\alpha} = Re_L Pr$	Parámetro de transferencia de calor independiente adimensional.
Número de Prandtl ( $Pr$ )	$\frac{C_p u}{k} = \frac{\nu}{\alpha}$	Razón de las difusividades de momento y térmica.
Número de Reynolds ( $Re_L$ )	$\frac{VL}{\nu}$	Razón de las fuerzas de inercia y viscosas.

CONTINÚA  $\longrightarrow$

Número de Schmidt ( $Sc$ )	$\frac{\nu}{D_{AB}}$	Razón de las difusividades de momento y de masa.
Número de Sherwood ( $Sh_L$ )	$\frac{h_m L}{D_{AB}}$	Gradiente de concentración adimensional en la superficie.
Número de Stanton ( $St$ )	$\frac{h}{\rho V C_p} = \frac{Nu_L}{Re_L Pr}$	Número de Nusselt modificado.
Número de Weber ( $We$ )	$\frac{\rho V^2 L}{\sigma}$	Razón de las fuerzas de inercia a las de tensión superficial.

### 2.1.1.3. Radiación

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultados de los cambios en las configuraciones electrónicas en los átomos o moléculas, a diferencia de la conducción y la convección la radiación no necesita un medio interventor. Se puede considerar a la radiación como un fenómeno volumétrico de todos los sólidos, líquidos y gases ya que emiten, absorben o transmiten radiación en diversos grados, pero se supone un fenómeno superficial para los sólidos que son opacos a la radiación térmica, como los metales, la madera y las rocas. La razón máxima de la radiación que se puede emitir desde una superficie a una temperatura termodinámica  $T_s$  en °K, está expresada por la ley de Stefan-Boltzmann como:

$$\dot{Q}_{emitida,max} = \tau * A_s * T_s^4 \quad (W) \quad (2-9)$$

Donde  $\tau = 5,67 \times 10^{-8} W/m^2 \text{ } ^\circ K$ , es la constante de Stefan-Boltzmann.

La radiación emitida por todas las superficies reales es menor que la emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura y se expresa como:

$$\dot{Q}_{emitida} = \varepsilon * \tau * A_s * T_s^4 \quad (W) \quad (2-10)$$

En donde  $\varepsilon$  es la emisividad de la superficie y cuyo valor está en un intervalo  $0 \leq \varepsilon \leq 1$ , y esta es una medida que indica cuan próxima esta una superficie de ser un cuerpo negro, para lo cual  $\varepsilon = 1$ .

Otra importante propiedad relativa de la radiación es la absorptividad  $\alpha$ , la cual es la fracción de energía incidente sobre una superficie que es absorbida por esta, su valor está en el intervalo  $0 \leq \alpha \leq 1$ . Tanto  $\varepsilon$  y  $\alpha$  de una superficie dependen de la temperatura de longitud de onda de la radiación. “**La ley de Kirchhoff**” de la radiación afirma que la emisividad y la absorptividad de una superficie a una temperatura y longitud de onda dadas son iguales.

$$\dot{Q}_{absorbida} = \alpha \dot{Q}_{incidente} \quad (W) \quad (2-11)$$

Donde  $\dot{Q}_{incidente}$  es la razón a la cual la radiación incide sobre la superficie y  $\alpha$  es la absorptividad de la superficie, para las superficies opacas (no transparentes), la parte de la radiación incidente no absorbida por la superficie se refleja.

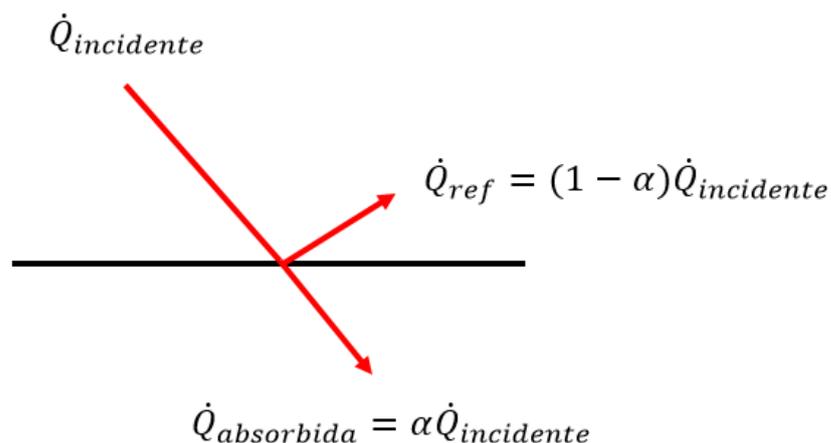


Figura 10. Absorción de la radiación incidente sobre una superficie

La diferencia entre las razones de la radiación emitida por la superficie y la radiación absorbida es la transferencia neta de calor por radiación.

Si la razón de absorción  $>$  que la de emisión  $\rightarrow$  **Superficie está ganando energía por radiación.**

Si la razón de absorción  $<$  que la de emisión  $\rightarrow$  **Superficie está perdiendo energía por radiación.**

Cuando una superficie de emisividad  $\varepsilon$  y un área superficial  $A_s$  a una temperatura termodinámica  $T_s$  está completamente encerrada por una superficie mucho más grande (o negra) a una temperatura termodinámica  $T_{alred}$  separada por un gas (como el aire) que no interfiere con la radiación, la razón neta de la transferencia de calor por radiación entre estas dos superficies se da por:

$$\dot{Q}_{radiación} = \varepsilon * \sigma * A_s (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad (W) \quad (2-12)$$

En este caso la emisividad y el área superficial de la superficie circundante no tienen efecto sobre la transferencia de calor por radiación.

## 2.2. LÁMINAS ASFÁLTICAS

Las láminas asfálticas son láminas impermeables compuestas por sustancias bituminosas derivadas del asfalto que generalmente se utilizan en la impermeabilización de cubiertas aplicándoles calor.

### 2.2.1. Productos de membrana sin armadura



**Asfalum:** Son láminas prefabricadas, a base de asfaltos modificados con polímeros elastoméricos tipo SBS y cargas minerales. Contiene en la cara inferior polietileno antiadherente y termofusible para la aplicación con soplete a gas, y en la cara superior contiene foil de aluminio de 80 micras que actúa como autoprotección de la lámina a la exposición de la radiación ultravioleta del sol.



1. Protección de foil de aluminio gofrado
2. Asfalto modificado con polímeros
3. Polietileno termofusible

Figura 11. Lámina asfáltica termofusible sin membrana [ASFALUM]

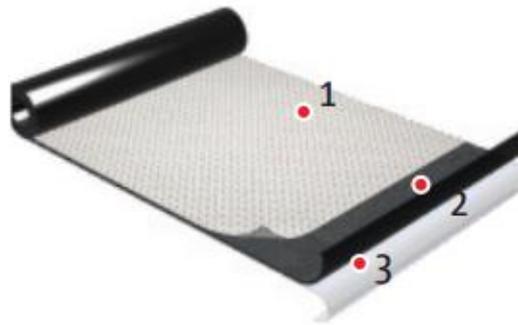
**Fuente:** <http://imptek.com/index.php/catalogos/impermeabilizacion/laminas-asfalticas/autoprotegidas/asfalum>

Sus principales usos son los siguientes:

- Impermeabilizar todo tipo de techos y terrazas.
- Reducir ruido de cubiertas metálicas.

- Reducir la temperatura interior de las edificaciones.

**Alumband:** Son láminas prefabricadas, a base de asfaltos modificados con polímeros elastoméricos tipo SBS autoadhesivos y otros aditivos nafténicos. Contiene en la cara inferior polietileno antiadherente desprendible para la aplicación directa luego de una adecuada imprimación, y en la cara superior contiene foil de aluminio de 60 micras que actúa como autoprotección de la lámina a la exposición de la radiación ultravioleta del sol.



1. Protección de foil de aluminio
2. Asfalto modificado con polímeros
3. Polietileno desprendible

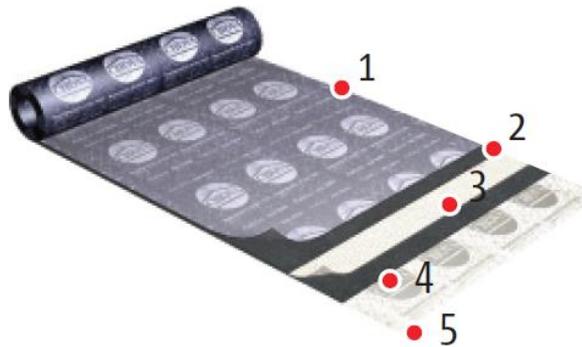
Figura 12. Lámina asfáltica autoadhesiva sin membrana [ALUMBAND]

**Fuente:** <http://imptek.com/index.php/catalogos/impermeabilizacion/laminas-asfalticas/autoprotegidas/alumband-rollo-10m2>

Sus principales usos son los siguientes:

- Tapa goteras.
- Tapa fisuras.
- Tapa hendijas.
- Producto completamente impermeable.
- Reduce la temperatura interior de la edificación.

**5K:** Son láminas prefabricadas, a base de asfaltos modificados con polímeros elastoméricos tipo SBS, aditivos y cargas minerales. Reforzado con una armadura central de film de polietileno de densidad  $90 \text{ gr/m}^3$ , homogénea y sin uniones. Contiene en las caras superior e inferior polietileno antiadherente y el mismo que es termofusible para la aplicación con soplete a gas, requiere protección ante la exposición de radiación ultravioleta del sol.



1. Polietileno termofusible
2. Mástico asfáltico
3. Armadura de polietileno de alta densidad
4. Mástico asfáltico
5. Polietileno termofusible

Figura 13. Lámina asfáltica modificada [5k]

**Fuente:** <http://imptek.com/index.php/catalogos/impermeabilizacion/laminas-asfalticas/sin-autoproteccion/5k>

Sus principales usos son los siguientes:

- Impermeabilizar cubiertas planas con protección pesada.
- Impermeabilización de cimientos, muros, zócalos, piscinas, cuartos de baño y puntos críticos de toda la edificación.

## CAPÍTULO 3

### DISEÑO DEL SISTEMA

#### 3.1. CONDICIONES Y PARÁMETROS PARA EL DISEÑO

Para realizar el sistema de enfriamiento para el proceso de laminación de membrana sin armadura, primero se consideró necesario realizar un estudio de las condiciones actuales de la planta de Chova del Ecuador S.A ubicada en Cashapamba para plantear una mejora tecnológica de acuerdo a las condiciones requeridas.

Limitaciones del sistema de enfriamiento:

- La altura total del sistema no debe superar los 2 metros de altura.
- La temperatura máxima de entrada de la lámina es de 160°C y al salir del sistema de enfriamiento no debe superar los 40°C.
- Considerar el máximo recorrido posible de la lámina.

##### 3.1.1. Parámetros de decisión

El sistema de enfriamiento cuenta con varias alternativas de diseño, por lo cual se va a proceder a seleccionar la mejor de acuerdo a los parámetros de decisión establecidos:

##### **Parámetros técnicos:**

- Eficiencia de enfriado
- Dimensiones y espacio

##### **Parámetros económicos:**

- Costo de materiales
- Costo de fabricación
- Costo de mantenimiento

## 3.2. ALTERNATIVAS DE DISEÑO Y MATRICES DE PONDERACIÓN

Al observar el sistema de enfriamiento en la planta actual de Cashapamba se plantearon varias alternativas de diseño que cumplen de acuerdo a las limitaciones requeridas.

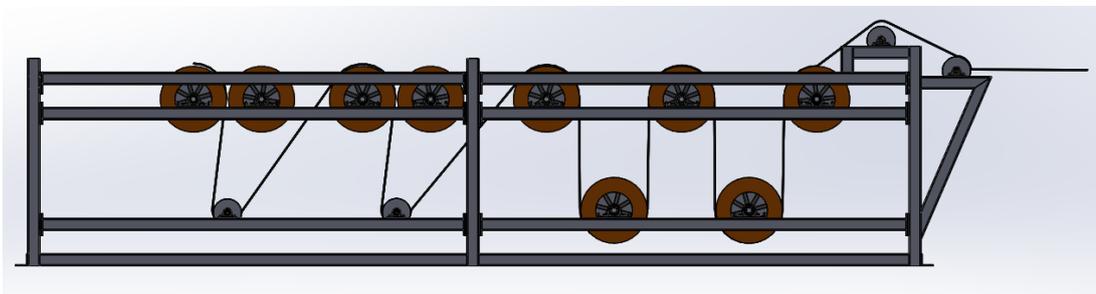
### 3.2.1. Para la estructura

La estructura a proponerse además debe cumplir con:

- Ser ergonómica.
- Ser estética.
- Ser de acceso fácil para el operador.
- Proporcionar las seguridades necesarias al operador.

#### OPCIÓN A:

Este sistema tiene una estructura bastante simple pero resistente, su costo de fabricación y de mantenimiento sería mucho menor.



*Figura 14. Sistema de enfriamiento procesos sin armadura (Opción A)*

#### OPCIÓN B:

Este sistema al poseer una altura del sistema más considerable, el recorrido de la lámina es mucho mayor, por lo que permite que la lámina este mucho más tiempo en la piscina.

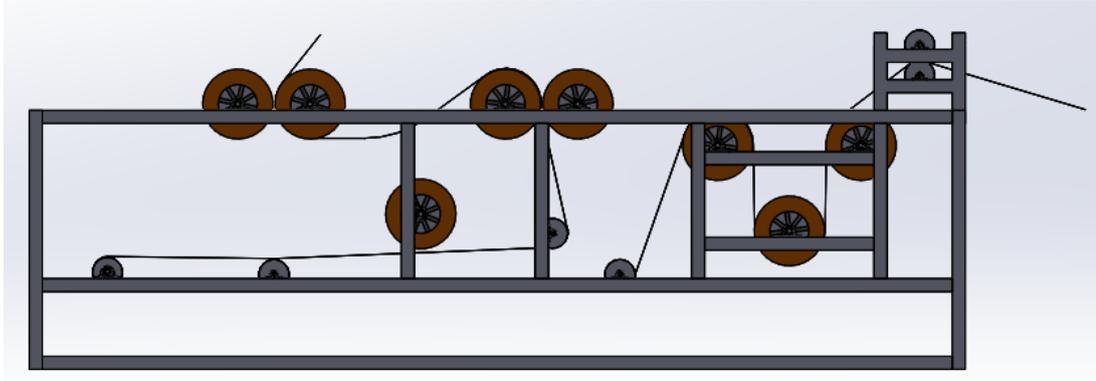


Figura 15. Sistema de enfriamiento procesos sin armadura (Opción B)

### 3.2.2. Tipo de unión de la estructura

**Unión permanente (Soldadura):** La soldadura es un proceso de unión de materiales en la cual se funden las superficies de contacto de dos (o más) partes mediante la aplicación conveniente de calor o presión.

- La unión soldada puede ser más fuerte que los materiales originales.
- La soldadura es una forma más económica de unir componentes, es términos de uso de materiales y costos de fabricación.



Figura 16. Unión permanente

**Unión no permanente (Pernos y tuercas):** Conformadas por las uniones que en general no van a desmontarse con frecuencia, pero se deja abierta la posibilidad de hacerlo.

- Las operaciones de ensamble no permanente tienen un costo mayor a las permanentes, por lo que se recomienda que se utilice operaciones no permanente solo donde sea estrictamente necesario.



*Figura 17. Unión no permanente*

### **3.2.3. Sistema de transmisión de potencia**

**Bandas:** Es una tira fabricada de caucho, goma o nylon que, en su cara interior tiene un estriada para acoplarse a las poleas.



*Figura 18. Sistema de transmisión por bandas*

**Fuente:** <http://aprendemostecnologia.org/2008/08/28/sistema-simple-de-poleas-con-correa/>

**Cadenas:** Es una cadena metálica de eslabones, las cadenas a diferencia de las bandas trabajan con ruedas dentadas llamadas catarinas.

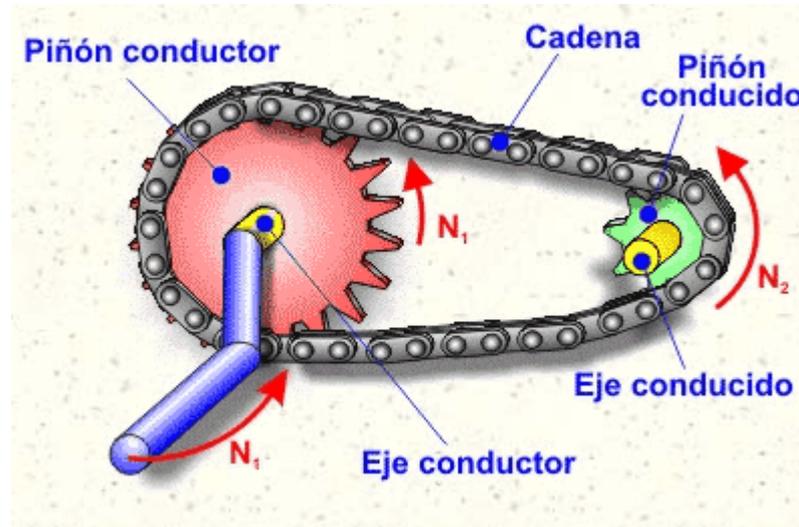


Figura 19. Sistema de transmisión por cadenas

**Fuente:** [http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec\\_cadena-pinion.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_cadena-pinion.htm)

BANDAS	CADENAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al ser una banda de un material gomoso, es mucho menos ruidosa que una cadena</li> <li>• El costo de fabricación de una correa es hasta un 60% inferior que de una cadena</li> <li>• Potencia que se puede transmitir es limitada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es muy poco probable que se llegue a romper, lo que evita una de las averías más graves que se pueden producir en un motor.</li> <li>• La duración con respecto a las bandas es mucho mayor.</li> </ul>

### 3.2.4. Selección de chumaceras y rodamientos para rodillos internos

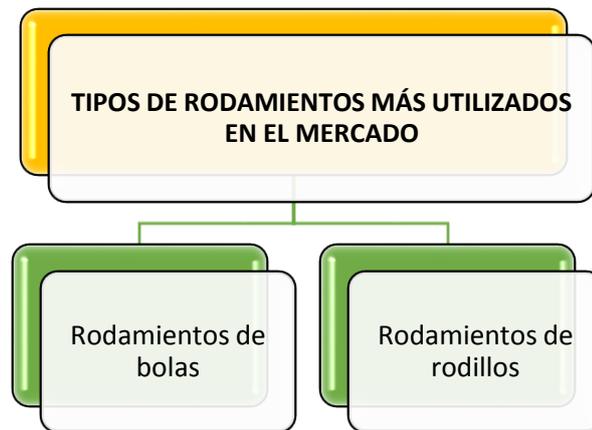
Las condiciones de trabajo de las chumaceras son tales que deben tener requisitos muy estrictos con respecto a los materiales que van a usarse. Algunas de las propiedades que debe tener un buen material para la chumacera son los siguientes:

- Debe tener una buena conformabilidad, está es una medida de la disposición para ajustarse a un mal alineamiento o algunos errores geométricos. Los materiales que tienen un bajo módulo de elasticidad, generalmente tienen buena conformidad.
- El material debe tener una buena resistencia a la fatiga, debido a que muchas aplicaciones en chumaceras tienen cambios en las direcciones de las cargas.
- El material debe ser resistente a la corrosión para aquellas aplicaciones en donde el aceite lubricante usado pueda oxidar, y por lo tanto corroer a la chumacera.

### **Consideraciones en el diseño:**

Los parámetros más importantes ha tomar en cuenta en el diseño de una chumacera son los siguientes:

- **Lubricantes:** Estos pueden ser sólidos, líquidos o gases, estos basan su elección sobre factores tales como: tipo de máquina, método de suministro del lubricante y características de la carga.
- **Carga en la chumacera:** Se debe especificar la carga que actúa sobre la chumacera, tomando en cuenta que para una menor carga se tendrá una chumacera de mayor duración.
- **Claro radial:** Se usan valores adecuados del claro radial en chumaceras dependiendo de factores tales como: materiales, precisión en la fabricación, capacidad para soporte de carga, claro mínimo de película, flujo de aceite, temperatura de la película, etc. El problema que se tiene es que claros grandes permiten fácilmente el paso de materiales extraños a la chumacera, el incremento de flujo reduce la temperatura de la película, y por lo tanto aumenta la vida de la chumacera, pero también un claro grande dará como resultado chumaceras con pérdidas, ruido y una disminución resultante en el espesor de la película.



**Rodamientos de bolas:** Son usados en una gran variedad de aplicaciones, son capaces de operar en muy altas velocidades y requieren poca atención o mantenimiento en servicio.

- Apropriados para velocidades de giro muy altas
- Muy apropiados para cargas radiales y axiales medias-altas en una o ambas direcciones
- Diversas obturaciones y variantes de grasa disponibles para diferentes condiciones de funcionamiento
- Numerosas clases de juegos y tolerancias disponibles para diferentes condiciones de funcionamiento

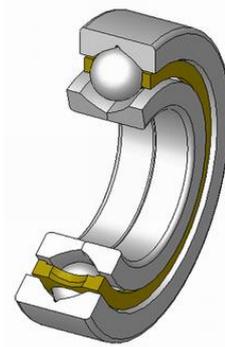


Figura 20. Rodamiento rígido de bolas

**Fuente:** [http://es.wikipedia.org/wiki/Rodamiento#Rodamientos\\_de\\_rodillos\\_c.C3.B3nicos](http://es.wikipedia.org/wiki/Rodamiento#Rodamientos_de_rodillos_c.C3.B3nicos)

**Rodamiento de rodillos cilíndrico:** Tienen la misma función que los rodamientos rígidos de bolas, es decir, absorber cargas puramente radiales. No obstante, su capacidad de carga es mucho más elevada. Son desmontables y existe una gran variedad de tipos, siendo la mayoría de ellos de una sola hilera de rodillos con jaula.

- Alta capacidad de carga radial y axial
- Con retén de doble labio integrado

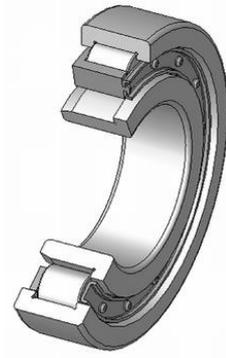


Figura 21. Rodamiento de rodillos cilíndrico

**Fuente:** [http://es.wikipedia.org/wiki/Rodamiento#Rodamientos\\_de\\_rodillos\\_c.C3.B3nicos](http://es.wikipedia.org/wiki/Rodamiento#Rodamientos_de_rodillos_c.C3.B3nicos)

### 3.3. MATRIZ TOMA DE DECISIONES

El proceso de toma de decisiones se lo realiza a través de la matriz combinada, tomando en cuenta factores de ponderación. Para ponderar estos parámetros se utiliza:

- 1 → *Factor más importante*
- 0.5 → *Igual de importante*
- 0 → *De menor importancia*

#### 3.3.1. Para la estructura

Los parámetros más importantes para la construcción de la estructura se han ubicado de la siguiente manera:

- Temperatura de enfriamiento.
- Recorrido de la lámina.

- Volumen de agua del sistema.
- Costo de fabricación.
- Mantenimiento.
- Disponibilidad de materiales.

Tabla 2. Matriz combinada para la estructura metálica

### MATRIZ COMBINADA

ORDEN	PARÁMETROS DE DECISIÓN	1	2	3	4	5	6	7	SUM	ÍNDICE	W.F
1	Temperatura de enfriamiento	0	1	1	1	1	1	1	6	0.2459016	0.25
2	Recorrido de la lámina	0.5	0	1	1	1	1	1	5.5	0.2254098	0.23
3	Volumen de agua del sistema		0.5	0	1	1	1	1	4.5	0.1844262	0.18
4	Costo de fabricación		0.5	0.5	0	1	1	1	4	0.1639344	0.16
5	Mantenimiento		0.5	0.5	0.5	0	1	1	3.5	0.1434426	0.14
6	Disponibilidad de materiales						0	1	1	0.0409836	0.04
									24.5	1	1.00

Tabla 3. Matriz toma de decisiones para la estructura metálica

### MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES

ORDEN	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	WF	A		B	
			RF	VA	RF	VB
1	Temperatura de enfriamiento	0.25	9	2.25	9	2.25
2	Recorrido de la lámina	0.23	8	1.84	9	2.07
3	Volumen de agua del sistema	0.18	8	1.44	9	1.62
4	Costo de fabricación	0.16	10	1.6	7	1.12
5	Mantenimiento	0.14	10	1.4	7	0.98
6	Disponibilidad de materiales	0.04	8	0.32	8	0.32
	$\Sigma$	1.00	53	8.85	49	8.36

Tabla 4. Valoración de toma de decisiones para la estructura

**VALORACIÓN**

<b>OPCIÓN A</b>	<b>8.85</b>
OPCIÓN B	8.36

**3.3.2. Tipo de unión en la estructura**

Los parámetros a considerar para el ensamble de la estructura son los siguientes:

- Funcionalidad.
- Mantenimiento.
- Costo de materiales.
- Costo de fabricación.

Tabla 5. Matriz combinada para el tipo de unión en la estructura

**MATRIZ COMBINADA**

ORDEN	PARÁMETROS DE DECISIÓN	1	2	3	4	5	SUM	ÍNDICE	W.F
1	Funcionalidad	0	1	1	1	1	4	0.32	0.32
2	Mantenimiento	0	0	1	1	1	3	0.24	0.24
3	Costo de materiales	0.5	0.5	0	1	1	3	0.24	0.24
4	Costo de fabricación	0.5	0.5	0.5	0	1	2.5	0.20	0.20
							12.5	1	1.00

Tabla 6. Matriz de toma de decisiones para el tipo de unión en la estructura

### MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES

ORDEN	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	WF	A		B	
			RF	VA	RF	VB
1	Funcionalidad	0.32	8	2.56	9	2.88
2	Mantenimiento	0.24	8	1.92	9	2.16
3	Costo de materiales	0.24	9.5	2.28	8	1.92
4	Costo de fabricación	0.20	9	1.8	8	1.6
$\Sigma$		1.00	34.5	8.56	34	8.56

Tabla 7. Valoración del tipo de unión en la estructura

### VALORACIÓN

OPCIÓN A	8.56
OPCIÓN B	8.56

### 3.3.3. Sistema de transmisión de potencia

Los parámetros a considerar para el sistema de transmisión de potencia son los siguientes:

- Eficiencia mecánica.
- Mantenimiento.
- Costo de materiales.
- Costo de fabricación.
- Ruido.

Tabla 8. Matriz combinada para el tipo de sistema de transmisión

## MATRIZ DE COMBINADA

ORDEN	PARÁMETROS DE DECISIÓN	1	2	3	4	5	6	SUM	ÍNDICE	W.F
1	Eficiencia mecánica	0	1	1	1	1	1	5	0.2857	0.29
2	Mantenimiento	0	0	1	1	1	1	4	0.2285	0.23
3	Costo de materiales		0.5	0	1	1	1	3.5	0.2	0.20
4	Costo de fabricación		0.5	0.5	0	1	1	3	0.1714	0.17
5	Ruido		0	0	1	0	1	2	0.1142	0.11
								17.5	1	1.00

Tabla 9. Matriz de toma de decisiones para el sistema de transmisión

## MATRIZ DE TOMA DE DECISIONES

ORDEN	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	WF	A		B	
			RF	VA	RF	VB
1	Eficiencia mecánica	0.29	7	2.03	10	2.9
2	Mantenimiento	0.23	8	1.84	8	1.84
3	Costo de materiales	0.20	9	1.8	8	1.6
4	Costo de fabricación	0.17	9	1.53	8	1.36
5	Ruido	0.11	9	0.99	8	0.88
$\Sigma$		1.00	42	8.19	34	8.56

Tabla 10. Valoración del sistema de transmisión

## VALORACIÓN

OPCIÓN A	8.19
OPCIÓN B	8.56

### 3.4. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Forma de la estructura: Opción A

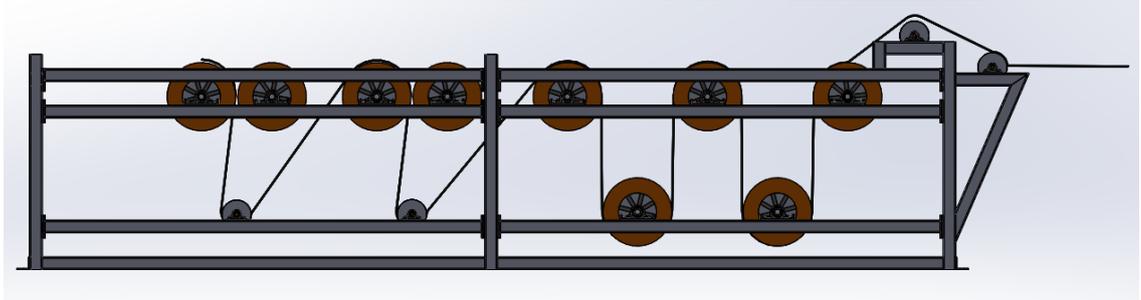


Figura 22. Forma escogida para la estructura

En donde:

- La altura máxima de la estructura es de 1,7 metros.
- El ancho máximo de la estructura es de 1,5 metros.
- El largo máximo de la estructura es de 7,3 metros.
- El recorrido total de la lámina es de 12 metros.
- El volumen de agua total dentro de la estructura es de 35000 litros.

**Tipo de unión:** Al realizar la matriz de toma de decisiones no fue posible obtener una respuesta concreta, por lo que se decidió que serán solo desmontables las vigas en donde se colocaran los rodillos y el resto de la estructura será soldada, como se muestra a continuación.

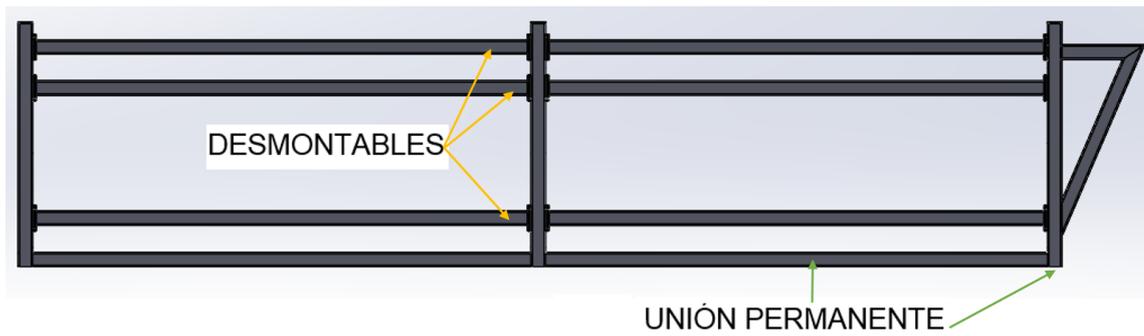


Figura 23. Tipo de uniones en la estructura metálica

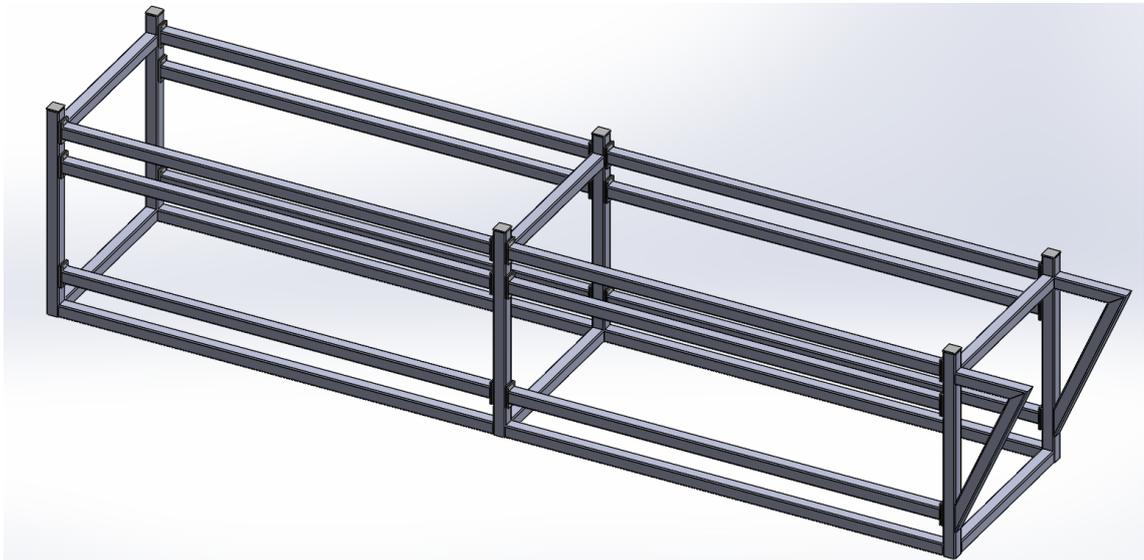


Figura 24. Isometría de la estructura metálica escogida

**Sistema de transmisión:** El sistema de transmisión escogido son las CADENAS, sus características principales son:

- Capacidad de transmisión es elevada por la gran resistencia de las cadenas.
- Facilidad de instalación.
- Larga duración debido a que el desgaste se ve reducido a través de la distribución de la carga sobre el número de dientes de ruedas
- Cadenas engrasadas soportan bien las condiciones ambientales adversas.



*Figura 25. Sistema de transmisión por cadenas*

**Fuente:** <http://www.motorpasionmoto.com/tecnologia/transmisiones-por-cadena-correa-dentada-o-cardan-para-gustos-los-colores>

**Rodamientos para rodillos internos:** Se eligió los rodamientos rígidos de bolas de una forma directa, al ser de diseño sencillo y además de poseer características como las siguientes:

- Son muy resistentes al momento del funcionamiento.
- Son fáciles de obtener.
- No son costosos.
- Escaso ruido de funcionamiento gracias a la calidad mejorada de las bolas.
- Reducido momento de rozamiento.
- Elevada rentabilidad con menores costes de energía gracias al reducido rozamiento
- Larga duración de vida de la grasa debida a la escasa sollicitación de la misma.



*Figura 26. Rodamiento rígido de bolas de una hilera.*

Fuente: <http://www.ronupe.com/promociones.html>

### 3.5. DISEÑO ESTRUCTURAL

#### 3.5.1. Bastidor

El material utilizado para la construcción del bastidor son tubos cuadrados de  $100 \times 4 \text{ mm}$  con las siguientes características:

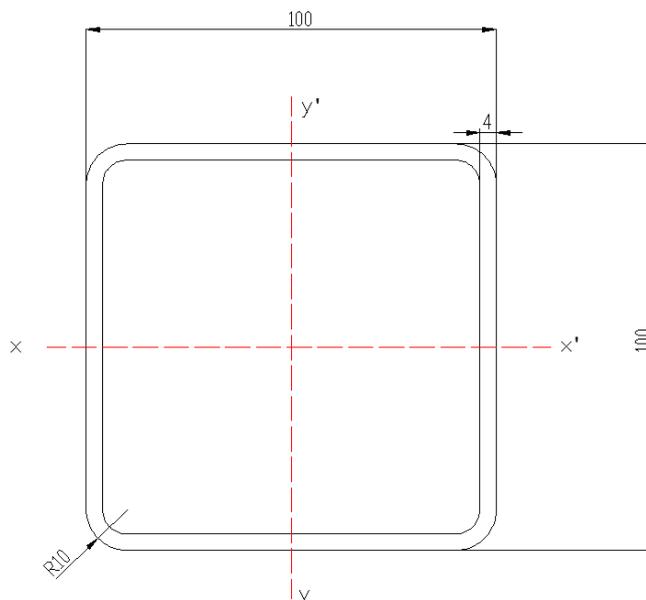


Figura 27. Disposición tubo cuadrado de  $100 \times 4 \text{ mm}$

Tabla 11. Especificaciones del tubo cuadrado de  $100 \times 4 \text{ mm}$

TUBO CUADRADO $100 \times 4 \text{ mm}$		
PARÁMETROS	UNIDAD	DIMENSIÓN
Peso	$kg/m$	12,13
Área	$cm^2$	14,95
$I_{xx}$	$cm^4$	226,09

Fuente: [http://www.dipacmanta.com/images/pdf/descargas/catalogo\\_tuberia.pdf](http://www.dipacmanta.com/images/pdf/descargas/catalogo_tuberia.pdf)

El tubo cuadrado especificado anteriormente es un acero estructural ASTM A-36, que posee las siguientes propiedades:

Tabla 12. Propiedades del acero estructural ASTM A-36

<b>ACERO ESTRUCTURAL ASTM A-36</b>		
<b>PROPIEDAD</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>VALOR</b>
Densidad	$kg/m^3$	7850
Módulo de elasticidad	$MPa$	207
Coefficiente de Poisson	-	0.3
Límite de fluencia	$MPa$	250-280
Resistencia a la tensión	$MPa$	400-550
Punto de fusión	$^{\circ}C$	1538
Elongación	%	20

*Fuente: Ciencia de materiales, Selección y Diseño”, de Pat L. Mangonon*

### **Ventajas del acero estructural ASTM A-36**

- Alta resistencia del acero por unidad de peso.
- Posee una gran ductilidad, ya que soporta grandes deformaciones sin falla, alcanzando grandes esfuerzos de tensión.
- Posee una gran tenacidad, ya que tiene la capacidad de absorber grandes cantidades de energía en deformación.
- Permite una buena mecanización antes de recibir un tratamiento térmico.
- Se pueden soldar con mayor facilidad.
- Posible re utilización después de desmontar una estructura.

### **Desventajas del acero estructural ASTM A-36**

- La corrosión es la mayor desventaja del acero estructural, ya que el hierro se oxida con suma facilidad incrementando su volumen y provocando grietas superficiales que posibilitan el progreso de la oxidación hasta que se consume la pieza por completo, por lo que deben cubrirse con esmaltes anticorrosivos.

- Alto costo de mantenimiento.
- Puede sufrir pandeo elástico debido a su alta resistencia con respecto al peso empleado de perfiles lisos sujetos a compresión.

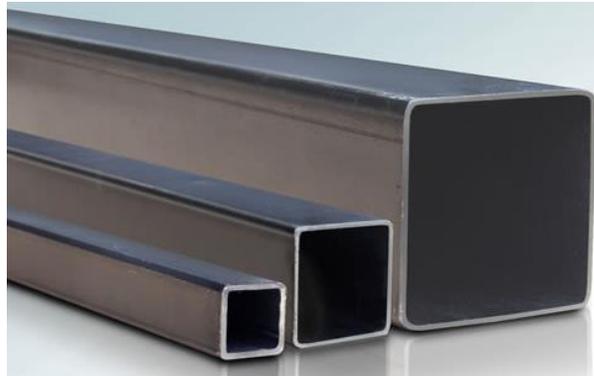


Figura 28. Diferentes tamaños de perfil cuadrado ASTM A-36

Fuente: <http://www.ipac-acero.com/productos.php>

### PESO DE LOS ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN EL BASTIDOR

N°	DESCRIPCIÓN	MASA [Kg]
1	Tubo estructural	12.13 [Kg/m]
2	Rodillo de $\varnothing = 540 \text{ mm}$	365
3	Rodillo de $\varnothing = 230 \text{ mm}$	200
4	Motor reductor	30
5	Piñón 17 dientes	3.5
6	Piñón 24 dientes	5.5
7	Cadena	2.5 [Kg/m]
8	Operador	80

Tabla 13. Peso de los elementos del bastidor

Para la estructura del bastidor se analizó las vigas que soportan los rodillos, ya que estas son las que soportan el mayor esfuerzo.

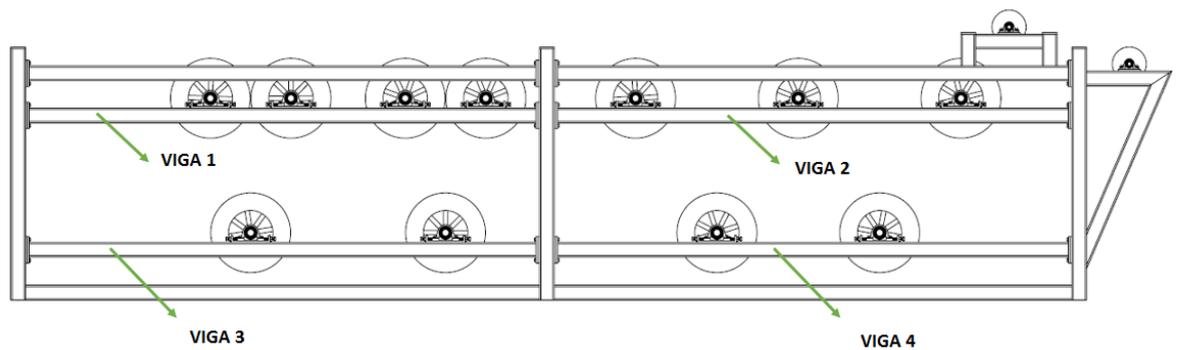


Figura 29. Vigas del bastidor a analizarse

Para el correspondiente análisis, se ha calculado: las reacciones, momentos, diagramas de fuerzas y diagrama de momentos; estos han sido calculados en la aplicación ForceEffect de AUTODESK (Software libre), así mismo el esfuerzo equivalente, el esfuerzo de corte y la deformación en cada una de las vigas señaladas anteriormente han sido realizadas en software libre de cálculos estáticos.

### 3.5.1.1. Análisis Viga 1

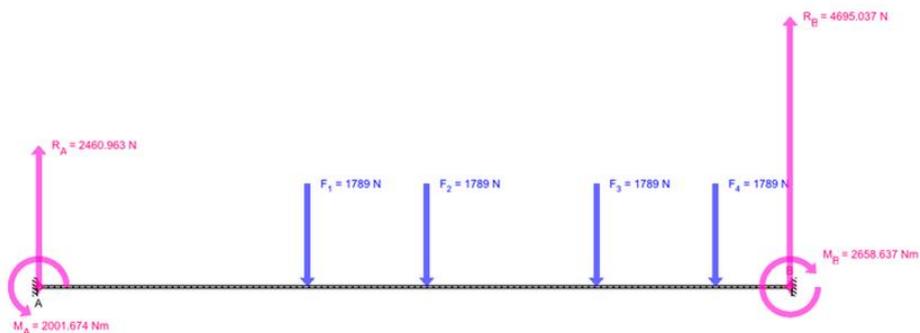


Figura 30. Diagrama de reacciones Viga 1

### Reacciones:

Tabla 14. Reacciones encontradas Viga 1

Force	Direction	Size	Angle
$R_A$	↑	2460.963 N	90.0°
$R_B$	↑	4695.037 N	90.0°

**Momentos:**

Tabla 15. Momentos encontrados Viga 1

Moment	Direction	Size
$M_A$		2001.674 Nm
$M_B$		2658.637 Nm

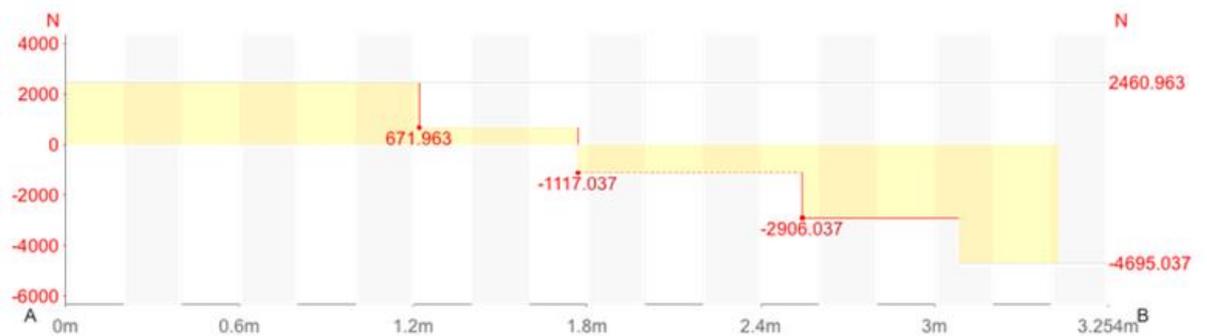
**Diagramas de fuerzas:**

Figura 31. Diagramas de fuerzas Viga 1

**Diagramas de momentos:**

Figura 32. Diagrama de momentos Viga 1

### Esfuerzo de Von Mises:

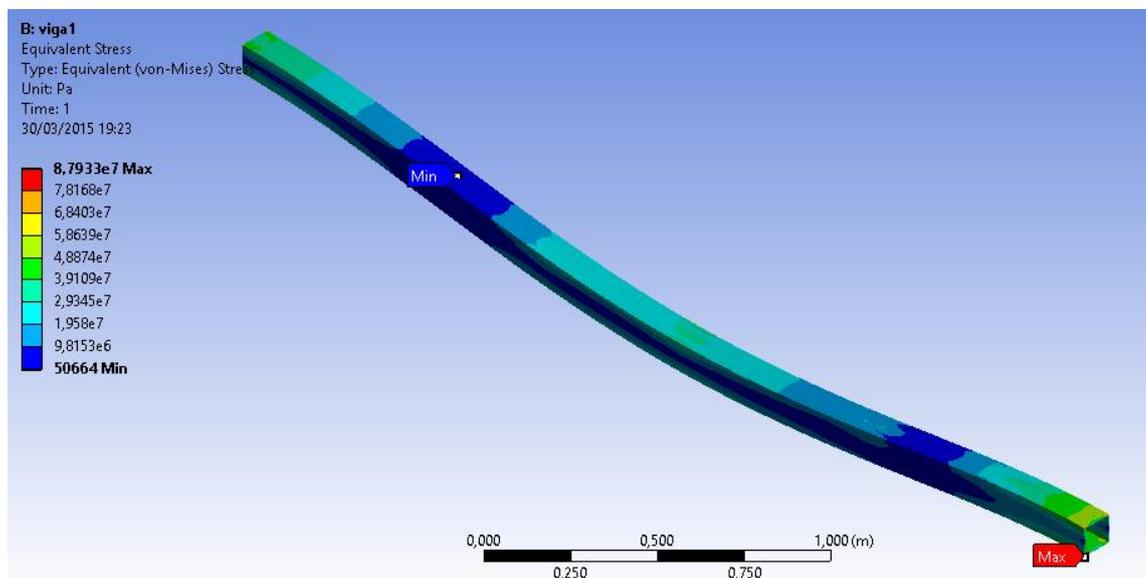


Figura 33. Esfuerzo de Von Mises Viga 1

### Esfuerzo de corte:

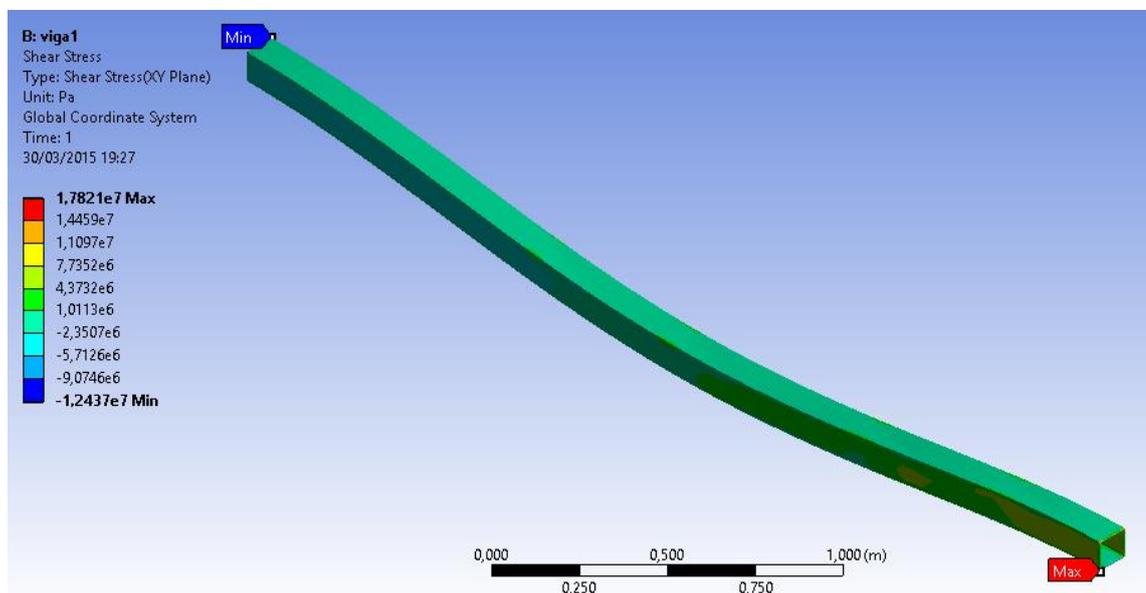


Figura 34. Esfuerzo de corte Viga 1

### Deformación total:

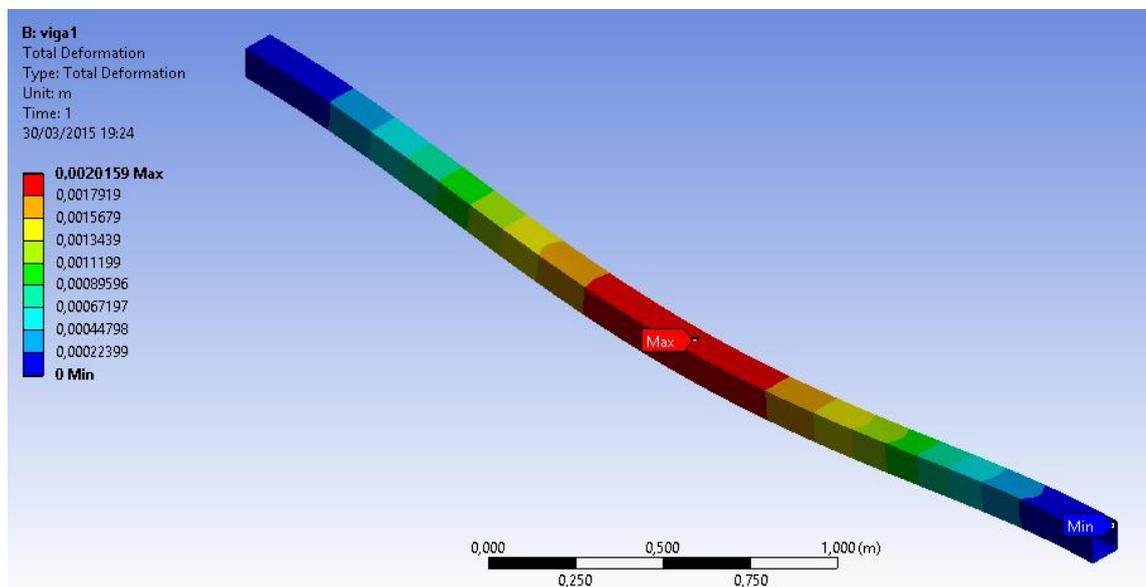


Figura 35. Deformación total Viga 1

### 3.5.1.2. Análisis viga 2

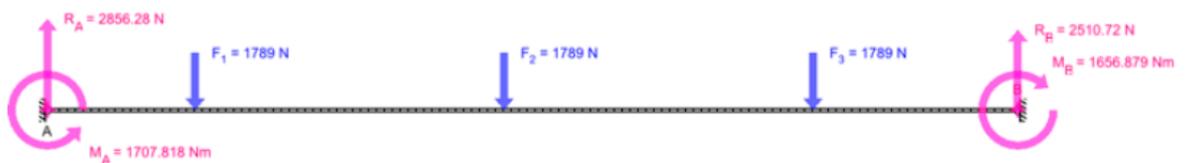


Figura 36. Diagrama de reacciones Viga 2

### Reacciones:

Tabla 16. Reacciones encontradas Viga 2

Force	Direction	Size	Angle
$R_A$	$\uparrow$	2856.280 N	90.0°
$R_B$	$\uparrow$	2510.720 N	90.0°

**Momentos:**

Tabla 17. Momentos encontrados Viga 2

Moment	Direction	Size
$M_A$		1707.818 Nm
$M_B$		1656.879 Nm

**Diagrama de fuerzas:**



Figura 37. Diagrama de fuerzas Viga 2

**Diagramas de momentos:**

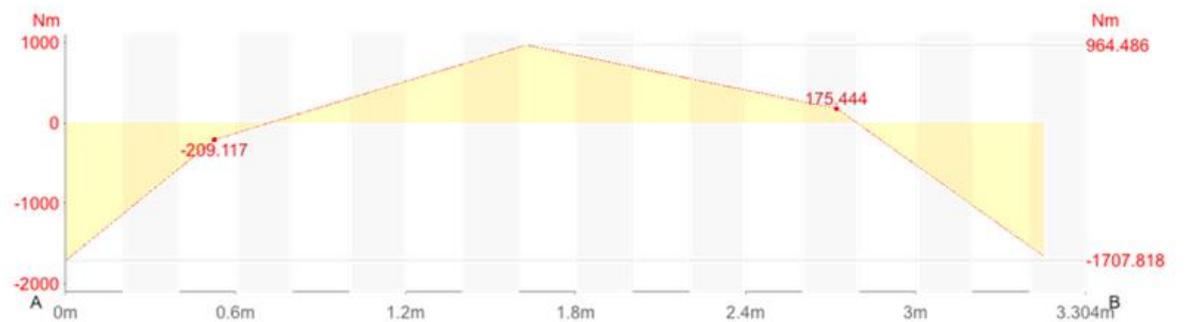


Figura 38. Diagrama de momentos Viga 2

### Esfuerzo de Von Mises:

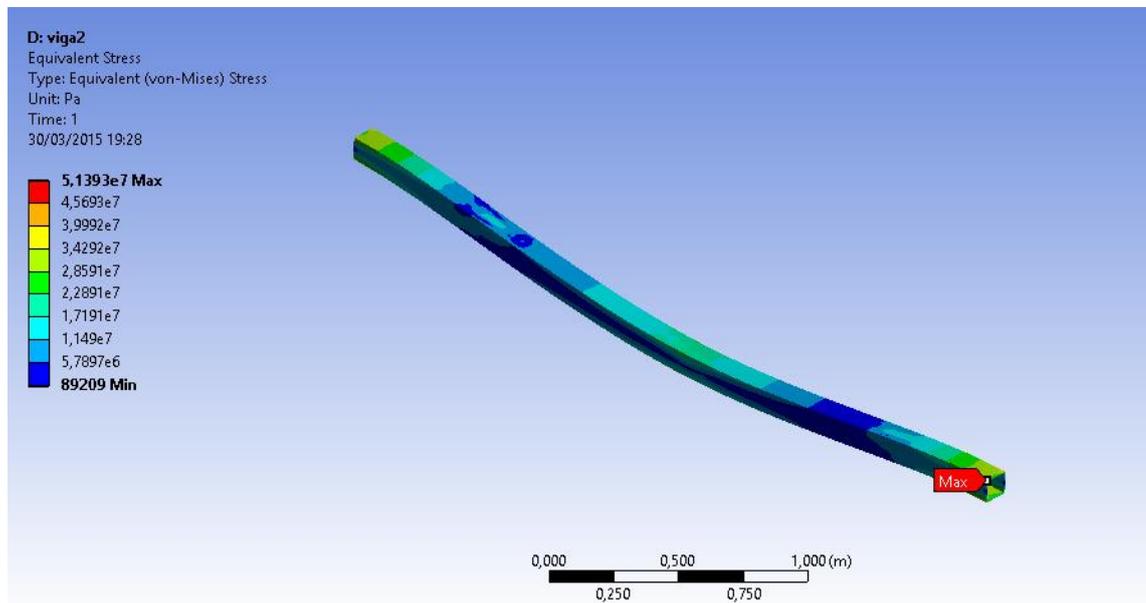


Figura 39. Esfuerzo de Von Mises Viga 2

### Esfuerzo de corte:

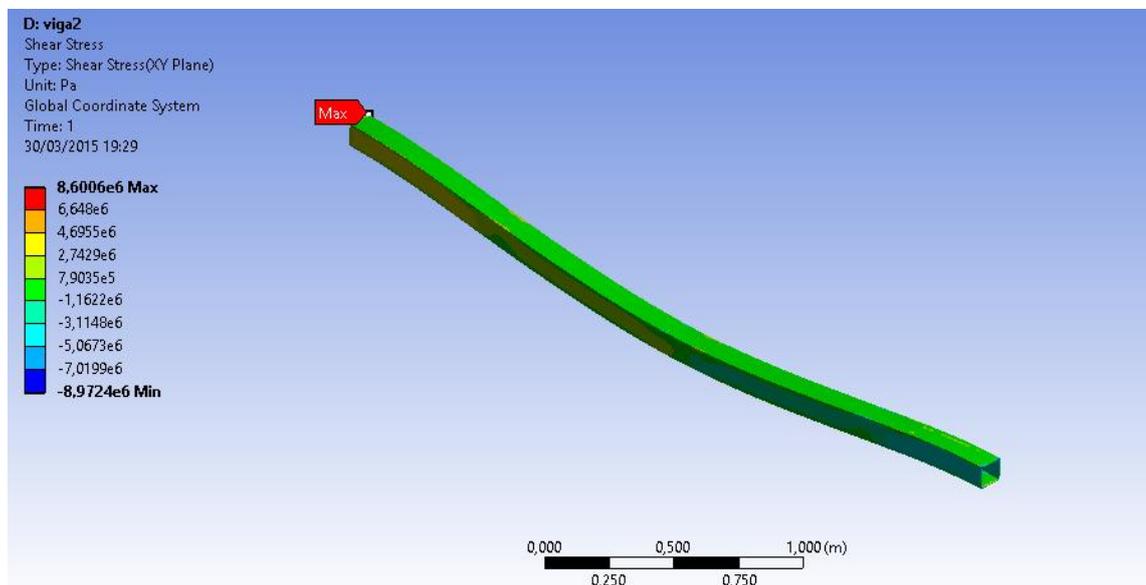


Figura 40. Esfuerzo de corte Viga 2

**Deformación máxima:**

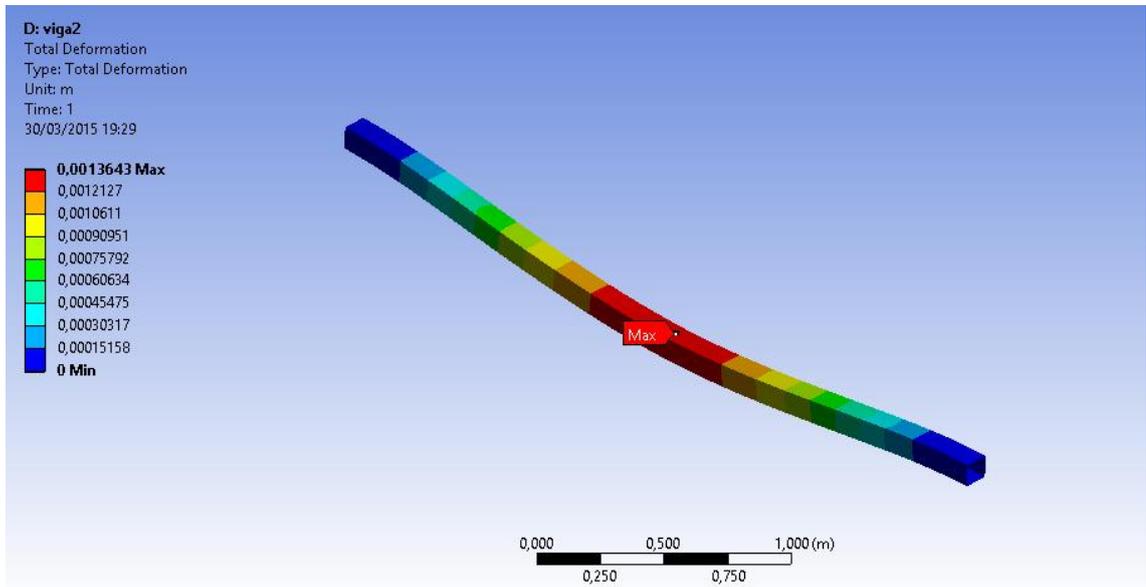


Figura 41. Deformación máxima Viga 2

**3.5.1.3. Análisis viga 3**

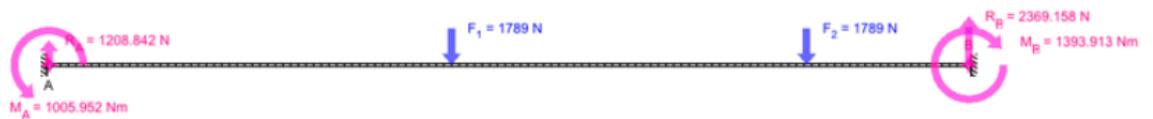


Figura 42. Diagrama de reacciones Viga 3

**Fuerzas:**

Tabla 18. Fuerzas encontradas Viga 3

Force	Direction	Size	Angle
$R_A$	↑	1208.842 N	90.0°
$R_B$	↑	2369.158 N	90.0°

**Momentos:**

Tabla 19. Momentos encontrados Viga 3

Moment	Direction	Size
$M_A$		1005.952 Nm
$M_B$		1393.913 Nm

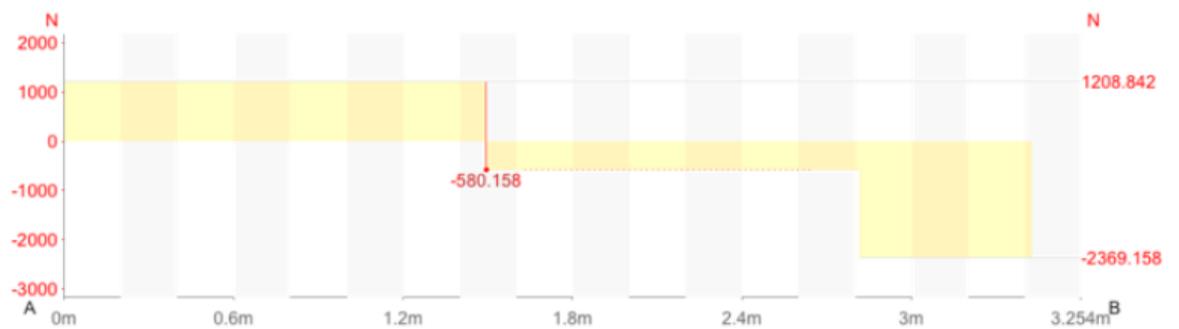
**Diagrama de fuerzas:**

Figura 43. Diagrama de fuerzas Viga 3

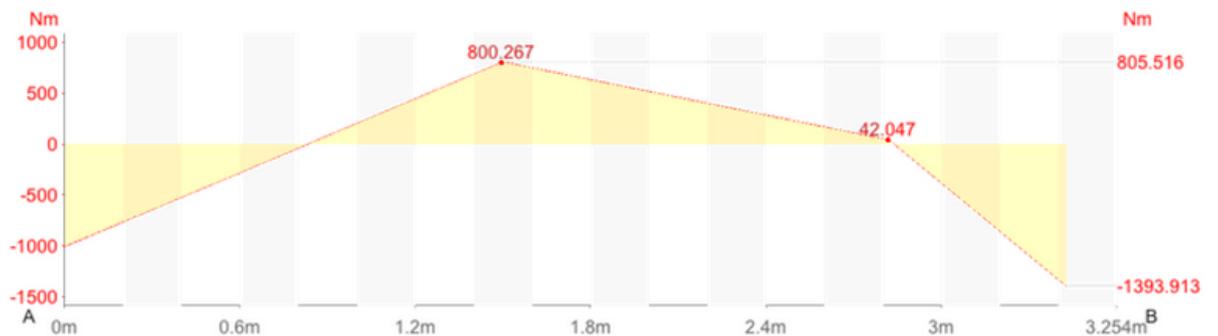
**Diagrama de momentos:**

Figura 44. Diagrama de momentos Viga 3

### Esfuerzo de Von Mises:

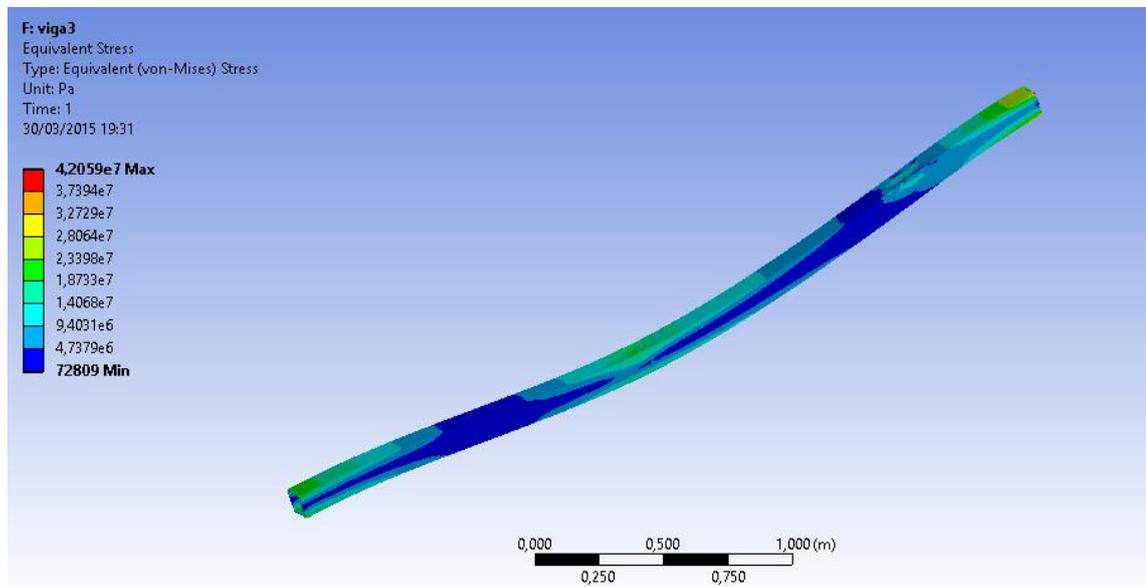


Figura 45. Esfuerzo de Von Mises Viga 3

### Esfuerzo de corte:

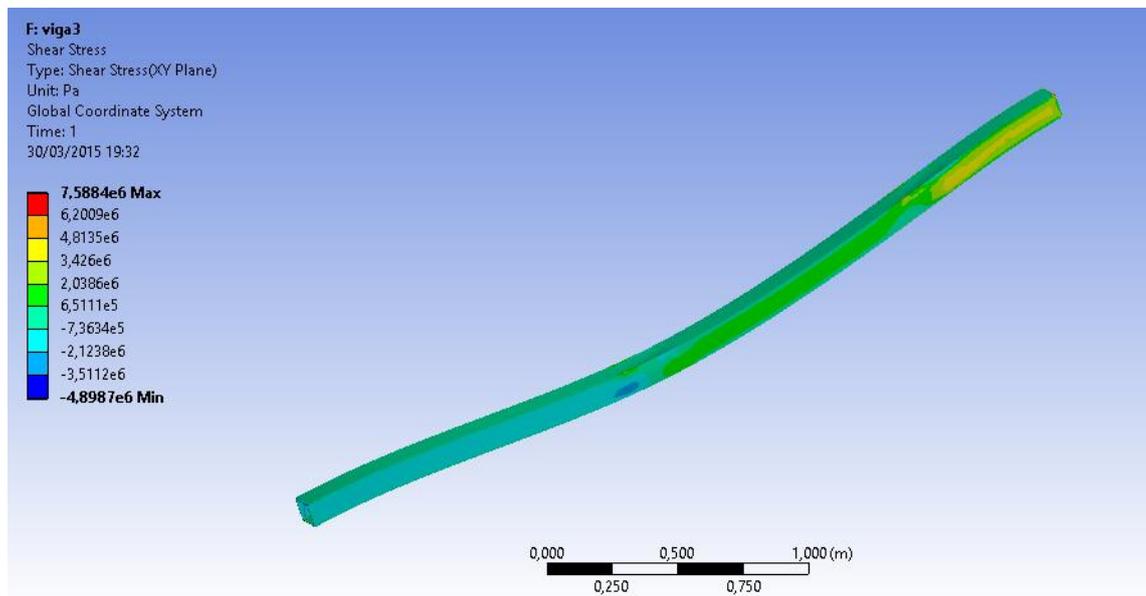


Figura 46. Esfuerzo de corte Viga 3

**Deformación total:**

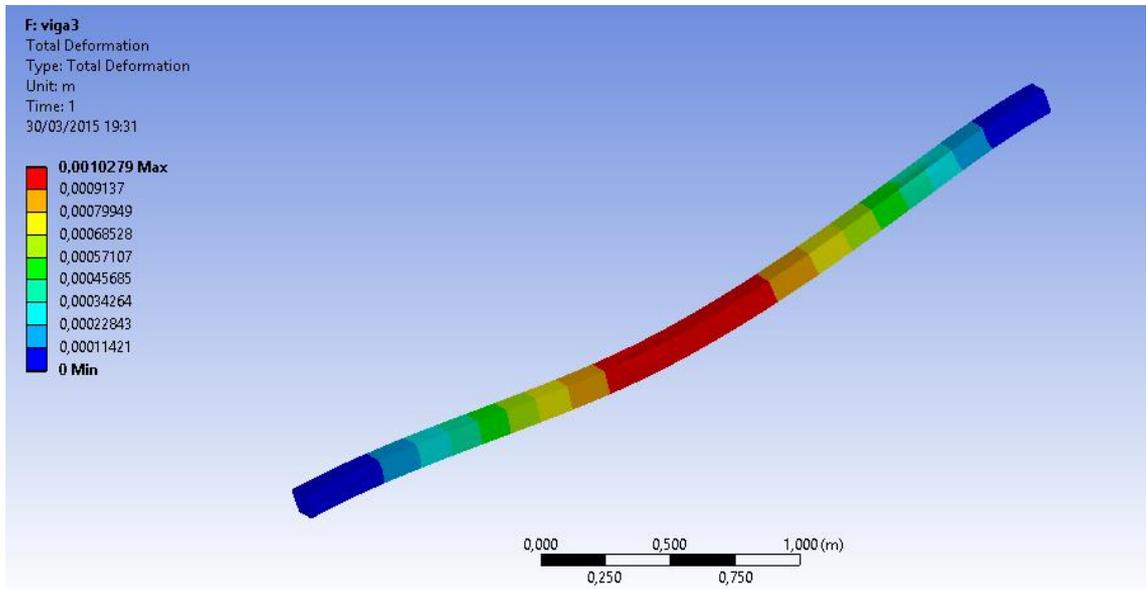


Figura 47. Deformación total Viga 3

**3.5.1.4. Análisis viga 4**



Figura 48. Diagrama de reacciones Viga 4

**Fuerzas:**

Tabla 20. Fuerzas encontradas Viga 4

Force	Direction	Size	Angle
$R_A$	↑	1931.393 N	90.0°
$R_B$	↑	1646.607 N	90.0°

**Momentos:**

Tabla 21. Momentos encontrados Viga 4

Moment	Direction	Size
$M_A$		1444.538 Nm
$M_B$		1318.285 Nm

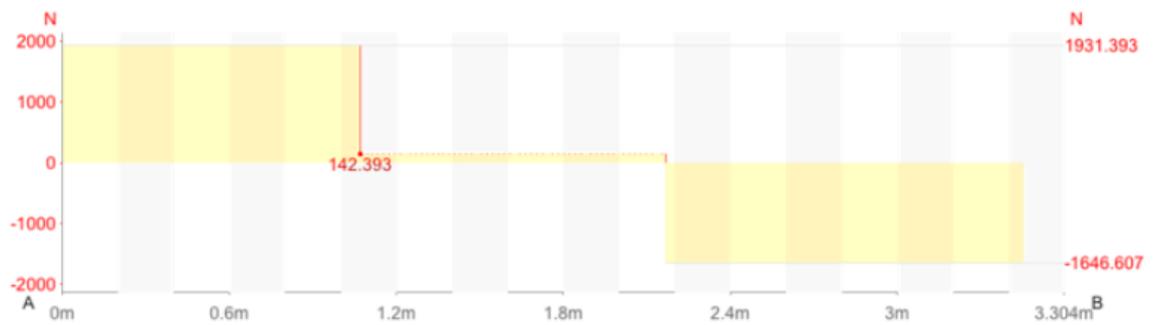
**Diagrama de fuerzas:**

Figura 49. Diagrama de fuerzas Viga 4

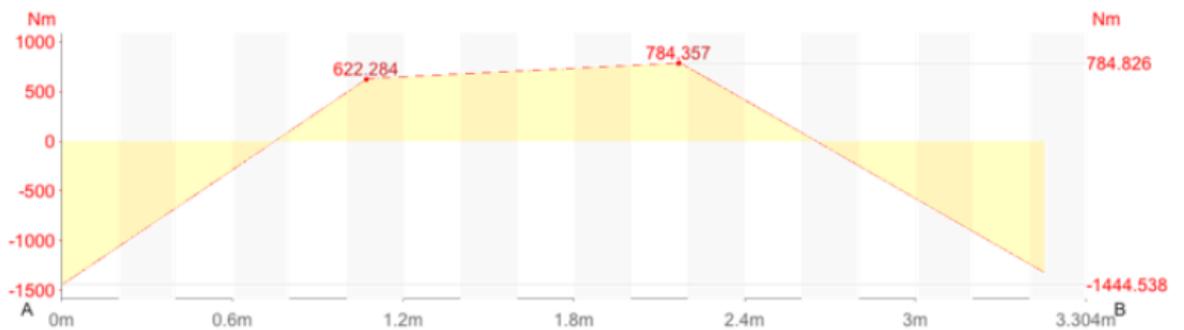
**Diagramas de momentos:**

Figura 50. Diagrama de momentos Viga 4

### Esfuerzo de Vos Mises:

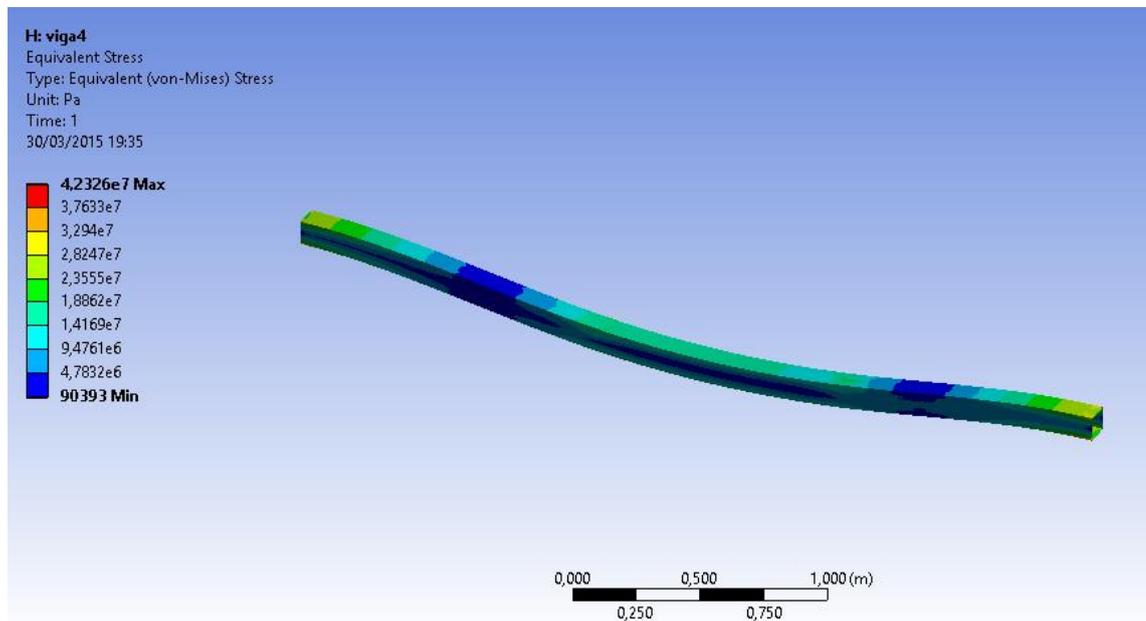


Figura 51. Esfuerzo de Von Mises Viga 4

### Esfuerzo de corte:

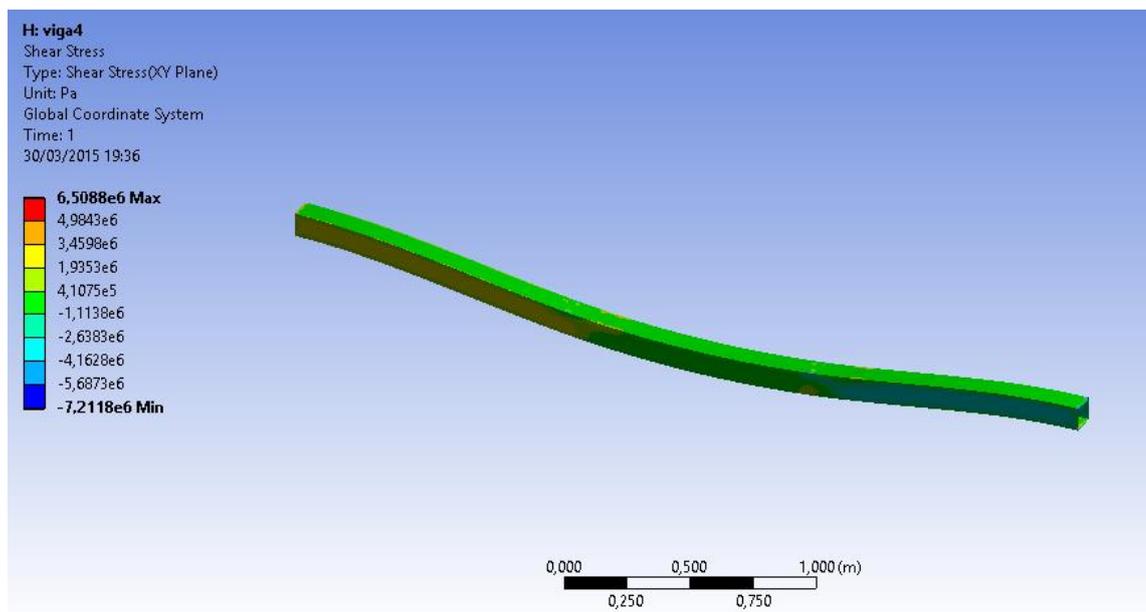


Figura 52. Esfuerzo de corte Viga 4

### Deformación total:

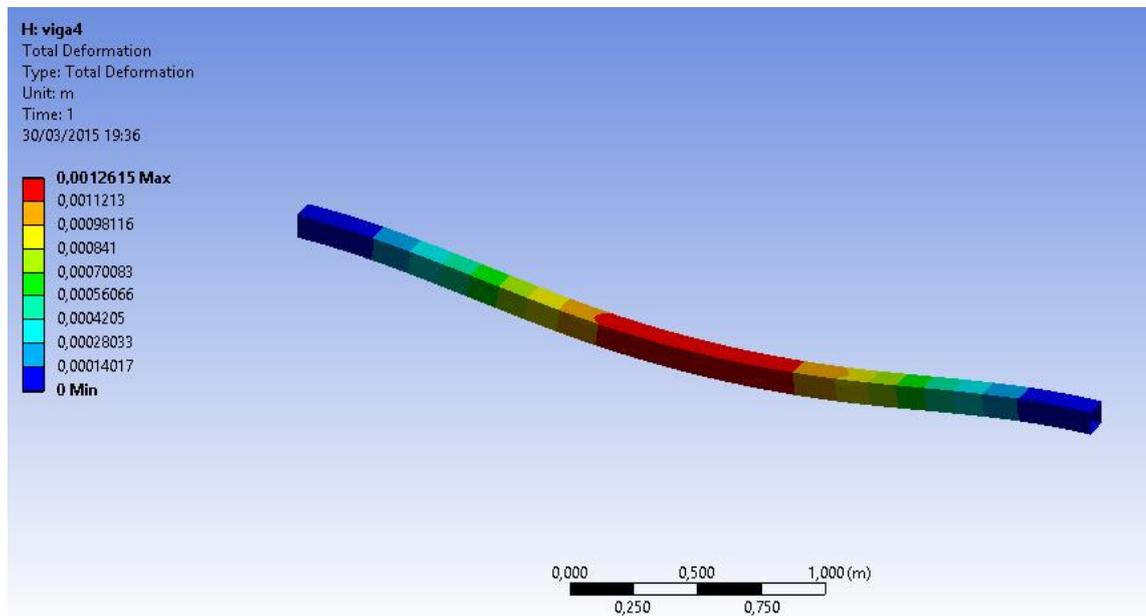


Figura 53. Deformación total Viga 4

En la tabla siguiente se observa los valores máximos del: esfuerzo equivalente, esfuerzo cortante y la deformación máxima obtenidos de los análisis anteriores. Además se ha calculado el factor de seguridad obtenido a través de la siguiente fórmula

$$F.S = \frac{S_y}{\sigma_{viga}} \quad (3-1)$$

Tabla 22. Análisis de vigas del bastidor

<b>ANÁLISIS DE VIGAS</b>					
#	$L_{viga}$ (m)	$\sigma_{viga}$ (Pa)	$\tau_{viga}$ (Pa)	$\delta_{viga}$ (m)	F.S
1	3.427	$8.7933 \times 10^7$	$1.7821 \times 10^7$	0.0020159	2.84
2	3.452	$5.1393 \times 10^7$	$8.6006 \times 10^6$	0.0013643	4.86
3	3.427	$4.2059 \times 10^7$	$7.5884 \times 10^6$	0.0010279	5.94
4	3.452	$4.2326 \times 10^7$	$6.5088 \times 10^6$	0.0012615	5.90

Como se puede observar en la Tabla N° 22, la viga N°1 es la que mayor esfuerzo soporta, pero aun así el factor de seguridad de la misma es bastante aceptable por lo que se concluye que el material ocupado es el adecuado para la aplicación.

### 3.5.2. Cuarto de mantenimiento

El material utilizado para la construcción del cuarto de mantenimiento son tubos cuadrados de  $50 \times 3 \text{ mm}$  con las siguientes características:

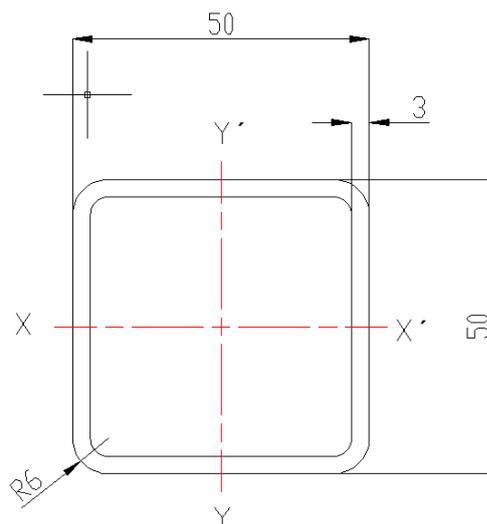


Figura 54. Disposición del tubo cuadrado de 50 X 3 mm

Tabla 23. Especificaciones tubo cuadrado de 50 X 3 mm

<b>TUBO CUADRADO 50 × 3 mm</b>		
<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>DIMENSIÓN</b>
Peso	<i>kg/m</i>	4.48
Área	<i>cm<sup>2</sup></i>	5.61
<i>I<sub>xx</sub></i>	<i>cm<sup>4</sup></i>	21.20

**Fuente:** [http://www.dipacmanta.com/images/pdf/descargas/catalogo\\_tuberia.pdf](http://www.dipacmanta.com/images/pdf/descargas/catalogo_tuberia.pdf)

El material utilizado para el tubo cuadrado nombrado anteriormente corresponde a un acero ASTM A-36, con las mismas características y propiedades del tubo cuadrado de 100 × 4 mm.

El objetivo principal del cuarto de máquinas es que el operador cuente con un espacio adecuado al momento de realizar el mantenimiento, como: engrase de chumaceras, cambio de chumaceras, cambio de piñones, cambio de cadenas; dicho cuarto de máquinas no soporta ningún tipo de fuerza, aunque cabe recalcar que las planchas para cubrir el sistema de enfriamiento están asentadas en estos tubos.

### **3.5.3. Gradadas**

Para la construcción de las escaleras industriales está sometida a la normativa que define los accesos industriales EN ISO 14122-3.

El dimensionamiento general se puede resumir bajo los siguientes esquemas:

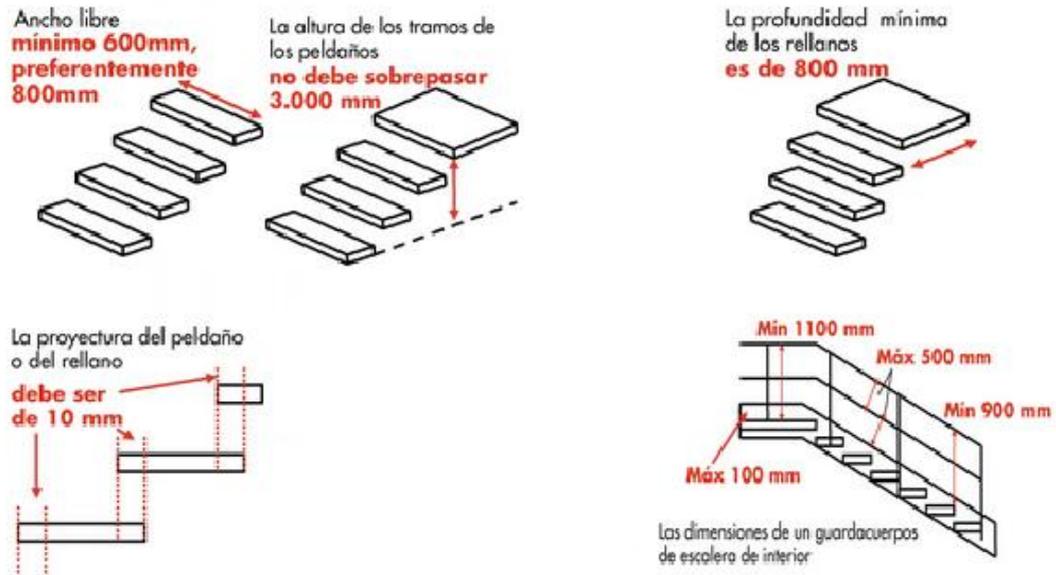


Figura 55. Normas para la construcción de escaleras industriales.

Fuente: [http://www.escaleraeuropea.com/es/el-universo-de-la-escalera/normas-y-reglamentacion/escaleras-de-interior\\_216.html](http://www.escaleraeuropea.com/es/el-universo-de-la-escalera/normas-y-reglamentacion/escaleras-de-interior_216.html)

### 3.5.4. Cubierta para el sistema de enfriamiento

Para cubrir el sistema de enfriamiento se debe tomar en cuenta que para evitar cualquier tipo de fugas el sistema que se coloque no debe ser desmontable, además se tiene que tomar en cuenta la mejor presentación posible, de igual forma evitar en la manera de lo posible la corrosión.

Tras una ardua investigación con las planchas existentes en el mercado se optó por planchas galvanizadas de acero, éstas se obtiene mediante el proceso de galvanización, este procedimiento protege al acero de la corrosión.

El proceso de galvanizado consiste en sumergir las piezas de hierro y acero en zinc fundido, mediante una reacción metalúrgica entre el hierro y el zinc se forman una serie de aleaciones de zinc-hierro que crean una fuerte unión entre el acero y el recubrimiento.

Las principales características que ofrece el acero galvanizado son las siguientes:

- Triple protección
  - El recubrimiento de las planchas de acero galvanizado posee mayor dureza y resistencia que cualquier otro tipo de recubrimiento.
  - Con el paso del tiempo, se forma una fina capa de óxido de zinc que actúa como aislante del galvanizado.
  - Ante raspaduras superficiales, se produce un taponamiento por reacción química de la superficie dañada.
- Resistencia mecánica elevada.
- Fácil de pintar

Tabla 24. Propiedades del acero galvanizado

<b>ACERO GALVANIZADO</b>		
<b>PROPIEDAD</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>VALOR</b>
Densidad	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	7850
Módulo de elasticidad	<i>MPa</i>	207
Coefficiente de Poisson	-	0.3
Límite de fluencia	<i>MPa</i>	275
Resistencia a la tensión	<i>MPa</i>	380
Elongación	%	16

### 3.6. DISEÑO MECÁNICO

#### 3.6.1. Juntas empernadas

Los pernos utilizados son pernos SAE grado 8 y cuentan con las siguientes características.

Tabla 25. Especificaciones perno SAE GRADO 8

<b>PERNO SAE GRADO 8</b>				
Intervalo de tamaño	Resistencia de prueba mínima (MPa)	Resistencia mínima a la tensión (MPa)	Resistencia mínima a la fluencia (MPa)	Material
$\frac{1}{4} - 1\frac{1}{2}$	827	1034	896	Acero de aleación medio carbono

**Referencia:** Tabla 8-9. Especificaciones SAE para pernos de acero. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. 8ª Edición

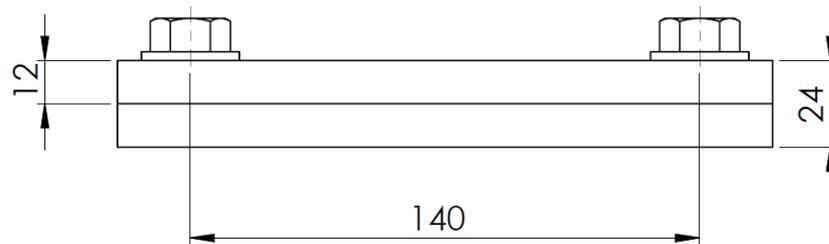


Figura 56. Placas empernadas (Vista frontal)

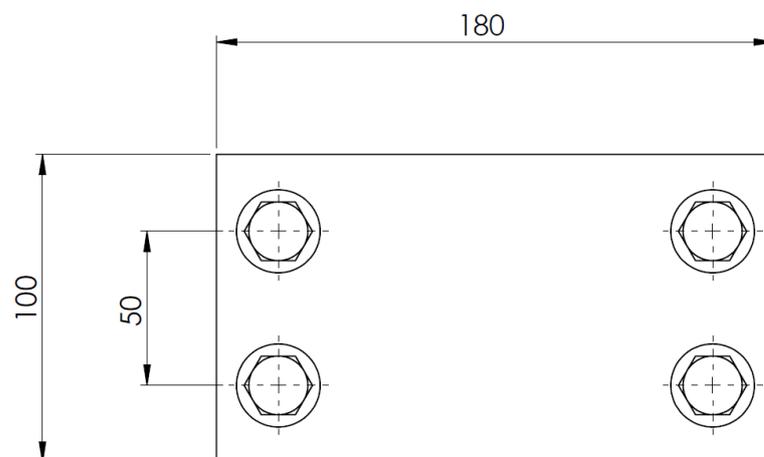


Figura 57. Placas empernadas (Vista superior)

### 3.6.2. Rodamientos y chumaceras

#### Selección del tamaño del rodamiento utilizando las fórmulas de vida.

El tamaño del rodamiento se deberá seleccionar en base a su capacidad de carga dinámica  $C$ . Es necesario garantizar que no se produzcan deformaciones permanentes o que éstas sean muy pequeñas, y para poder conseguirlo se deberá seleccionar un rodamiento que tenga una capacidad de carga estática lo suficientemente elevada para satisfacer uno de los siguientes requisitos:

- Alta fiabilidad.
- Funcionamiento silencioso.
- Funcionamiento sin vibraciones.
- Par de fricción constante del rodamiento.

#### Carga dinámica equivalente del rodamiento

Se define como la carga hipotética, constante en magnitud y dirección, que si actuara radialmente sobre un rodamiento radial o axialmente y centrada sobre n rodamiento axial tendría el mismo efecto sobre la vida del rodamiento que las cargas reales que está sometido dicho rodamiento.

Los rodamientos radiales con frecuencia están sometidos a cargas radiales y axiales simultáneamente. Cuando la magnitud y la dirección de la carga resultante son constantes, la carga dinámica equivalente  $P$  se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$P = XF_r + YF_a \quad \rightarrow \quad F_a/F_r > e \quad (3-2)$$

#### En donde:

$P$  = Carga dinámica equivalente del rodamiento, kN.

$F_r$  = Carga radial real del rodamiento, kN.

$F_a$  = Carga axial real del rodamiento, kN.

$X =$  Factor de carga radial del rodamiento.

$Y =$  Factor de carga axial del rodamiento.

$e =$  Valor límite para  $F_a/F_r$

**Carga radial real del rodamiento  $F_r$ :** Es la suma del peso del rodillo sumergido, sumado 3500 N que soporta cada chumacera en caso de rompimiento de la lámina.

*Carga radial del rodamiento =  $F_r =$  Peso del rodillo 540 mm + 3.5 kN*

$$F_r = \left( 60 \text{ Kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \frac{1 \text{ kN}}{1000 \text{ N}} \right) + 3.5 \text{ kN}$$

$$F_r = (0.588 + 3.5) \text{ kN}$$

$$F_r = 4.088 \text{ kN}$$

**Carga axial real del rodamiento  $F_a$ :** La carga axial corresponde a la máxima que soporta la lámina antes de romperse, en este caso 2000 N

$$F_a = 2.0 \text{ kN}$$

**Relación de carga axial relativa:** Se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Relación de carga axial relativa} = \frac{f_o \times F_a}{C_o} \quad (3-3)$$

**En donde:**

$f_o =$  Es un factor de cálculo, que se obtiene de la siguiente tabla.

$C_o =$  Capacidad de carga estática, kN.

Tabla 26. Cálculo del factor  $f_0$ 

Calculation factor $f_0$	
Y-bearing series (sizes)	Factor $f_0$
YET 2, YEL 2, YAT 2, YAR 2, YSA 2 K, 17262(00)-2RS1	
03, 04	13
05 - 12	14
13 - 18	15
20	14
17263(00)-2RS1	
05	12
06 - 10	13

Fuente: <http://www.hht.tw/proimages/004/004-16.pdf>

$$f_0 = 14$$

Para motivos de cálculos es necesario establecer un valor de capacidad de carga estática, en este caso se dará un valor de:

$$C_0 = 21 \text{ kN}$$

$$\text{Relación de carga axial relativa} = \frac{14 \times 2.0 \text{ kN}}{21 \text{ kN}}$$

$$\text{Relación de carga axial relativa} = 1.33$$

### Cálculo de los factores de carga radial y axial en el rodamiento.

Tabla 27. Cálculo de factores e, X, Y

Calculation factors						
Thrust load $f_0 F_a / C_0$	Y-bearing series YAT, YAR, YET, YEL, YSA			17262(00), 17263(00)		
	e	X	Y	e	X	Y
0,172	0,29	0,46	1,88	0,19	0,56	2,30
0,345	0,32	0,46	1,71	0,22	0,56	1,99
0,689	0,36	0,46	1,52	0,26	0,56	1,71
1,03	0,38	0,46	1,41	0,28	0,56	1,55
1,38	0,40	0,46	1,34	0,30	0,56	1,45
2,07	0,44	0,46	1,23	0,34	0,56	1,31
3,45	0,49	0,46	1,10	0,38	0,56	1,15
5,17	0,54	0,46	1,01	0,42	0,56	1,04
6,89	0,54	0,46	1,00	0,44	0,56	1,00

Fuente: <http://www.hht.tw/proimages/004/004-16.pdf>

Para calcular los factores mencionados en necesario interpolar:

**Para X:**

$$X = 0.46$$

**Para Y:**

$$\frac{1.03 - 1.33}{1.03 - 1.38} = \frac{1.41 - Y}{1.41 - 1.34}$$

$$Y = 1.35$$

Entonces,

**La carga dinámica equivalente es:**

$$P = 0.46(4.088kN) + 1.35(2.0 kN)$$

$$P = 4.5804 kN$$

**Cálculo de la capacidad de carga dinámica**

La vida nominal de un rodamiento según la normativa ISO 281:1990 es:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (3-4)$$

Si la velocidad es constante, suele ser preferible calcular la vida expresada en horas de funcionamiento utilizando la ecuación:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 n} \times L_{10}$$

**En donde:**

$L_{10}$  = Vida nominal (Con un 90% de fiabilidad), millones de revoluciones.

$L_{10h}$  = Vida nominal (Con un 90% de fiabilidad), horas de funcionamiento.

$C$  = Capacidad de carga dinámica, kN.

$P$  = Carga dinámica equivalente del rodamiento, kN.

$n$  = Velocidad de giro, rpm.

$p$  = Exponente de la ecuación de la vida nominal

= 3 para rodamientos de bolas

**Entonces:**

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 n} \times \left(\frac{C}{P}\right)^3$$

Para encontrar el valor de la capacidad de carga dinámica, de la ecuación anterior, se despeja  $C$

$$C = \left(\frac{L_{10h} \times 60n}{10^6}\right)^{1/3} \times P$$

$$C = \left(\frac{20000 \times 60 \times 200 \text{ rpm}}{10^6}\right)^{\frac{1}{3}} \times 4.5804 \text{ kN}$$

$$C = 28.4647 \text{ kN}$$

Para encontrar el valor de  $L_{10h}$  se toma en cuenta la tabla que sigue, es una máquina utilizada las 8 horas al día.

Tabla 28. Horas de funcionamiento de acuerdo a la máquina utilizada.

Guideline values of requisite basic rating life $L_{10h}$ for Y-bearings and Y-bearing units	
Type of machine	Requisite basic rating life $L_{10h}$ operating hours
<b>Machines used for short periods or intermittently</b>	
Agricultural and ancillary transport equipment	1 000 to 2 000
Other agricultural equipment	4 000 to 8 000
<b>Machines used 8 hours per day but not always fully utilized</b>	
Belt conveyors	12 000 to 20 000
<b>Machines used 8 hours per day and fully utilized</b>	
Light duty fans, textile machinery	20 000 to 30 000

Fuente: <http://www.hht.tw/proimages/004/004-16.pdf>

Con el valor de la carga dinámica calculado se ingresa a las tablas existentes en el mercado, y considerando que el diámetro del eje del rodillo es de 45 mm, se tiene el rodamiento rígido de bolas con las siguientes características.

Tabla 29. Características de una chumacera de piso de 45 mm de diámetro

Dimensiones principales					Capacidades de carga básica		Referencias		
d	A	H	H <sub>1</sub>	L	dinámica C	estática C <sub>0</sub>	Unidad de rodamientos	Soporte	Rodamiento
mm					kN		-		
45	48	107,5	54	187	33,2	21,6	SY 45 TF	SY 509 M	YAR 209-2F

**Prisionero**  
Par de apriete recomendado [Nm] 6,5  
Tamaño de la llave hexagonal [mm] 4

**Tapa lateral** ECY 209

Fuente: <http://www.hht.tw/proimages/004/004-16.pdf>

En la piscina se utilizó 22 chumaceras SKF 45 TF, con las características mostradas en la Tabla N°29.

### 3.6.3. Sistema de tracción

#### 3.6.3.1. Motorreductor

Se debe seleccionar el motorreductor más adecuado para el sistema.

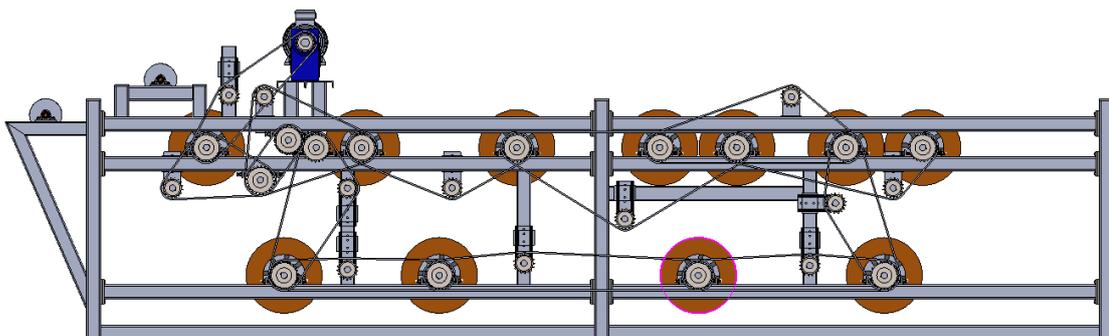


Figura 58. Sistema de tracción

En la figura 58, se observa el sistema de tracción planteado, existe un solo motor, que debe tener la capacidad de arrastrar todos los rodillos, de los productos que se elaborarán en esta línea la más pesada corresponde a la denominada 5K, con un peso de  $6.29 \frac{kg}{m}$

Asumiendo una longitud de 100 metros para las láminas:

$$m_{5k} = 100m \times 6.29 \frac{kg}{m}$$

$$m_{5k} = 629 \text{ kg}$$

La fuerza tangencial requerida por el motor es:

$$F_{tM} = \mu_T \times g \times \left(\frac{m_{5k}}{2}\right) + \mu_R \times g \times \left(m_r + \frac{m_{5k}}{2}\right) \quad (3-5)$$

**En donde:**

$F_{tM}$  = Fuerza tangencial del Motor (N)

$\mu_T$  = Coeficiente de fricción de marcha = 0.33

$\mu_r$  = Coeficiente de fricción de marcha sobre rodillo = 0.033

$g$  = Gravedad  $\left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)$

$m_{5k}$  = Masa de la lámina de 5k (kg)

$m_r$  = Masa de los rodillos (kg)

$$F_{tM} = 0.33 \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times \left(\frac{629 \text{ kg}}{2}\right) + 0.033 \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times \left((365 \text{ kg} \times 11) + \frac{629 \text{ kg}}{2}\right)$$

$$F_{tM} = 2419.72 \text{ N}$$

Como la lámina está dentro de la piscina, debe ser multiplicado por un factor de promedio de 3.2

$$f_o = 3.2$$

$$F_{tM} = 2419.72 \times 3.2$$

$$F_{tM} = 7743 \text{ N}$$

La potencia del motor asumiendo una eficiencia del 80% es de:

$$n_m = 0.8$$

$$P_m = \frac{F_{tM} \times u_l}{n_m} \quad (3-6)$$

**En donde:**

$P_m$  = Potencia del motor (HP)

$F_{tM}$  = Fuerza tangencial del motor (N)

$n_m$  = Eficiencia del motor

$u_l$  = Velocidad de la lámina  $\left(\frac{m}{s}\right)$

$$P_m = \frac{F_{tM} \times u_l}{n_m}$$

$$P_m = \frac{7743 \text{ N} \times 0.33 \text{ m/seg}}{0.8}$$

$$P_m = 3194 \text{ W} \rightarrow 4.29 \text{ HP}$$

Se requieren un motor con una potencia a la salida del reductor de 4.29 hp. De los motores ofrecidos por el proveedor se selecciona aquel con menor velocidad a la salida del motoreductor, esto debido a que la velocidad de laminación es baja.

La tabla siguiente muestra los datos del conjunto motor – reductor

Tabla 30. Información técnica del motor del sistema de enfriamiento

<b>MOTOR MR 2I 63 UC2A</b>	
Potencia de entrada	7.5 HP
Velocidad del motor	202 r. p. m
Relación de transmisión	8.91

### 3.6.3.2. Piñones

Los piñones que se van a utilizar en el sistema son los que se ocupaban en el sistema de Cashapamba, y primero se determina las revoluciones en los rodillos.

$$Rev_{rodillos} = \frac{u_l}{\phi_{rodillo} \times \pi} \quad (3-7)$$

$$Rev_{rodillos} = \frac{0.33 \frac{m}{seg}}{540 \text{ mm} \times \frac{1m}{1000 \text{ mm}} \times \pi}$$

$$Rev_{rodillos} = \frac{0.195}{seg} = 11.7 \text{ r. p. m}$$

Todos los rodillos tienen 2 piñones cada uno, excepto A, B que son los piñones de cambio de giro (con sus engranes respectivos) y 12 con 3 piñones. La figura siguiente muestra el esquema de conexión entre los rodillos.

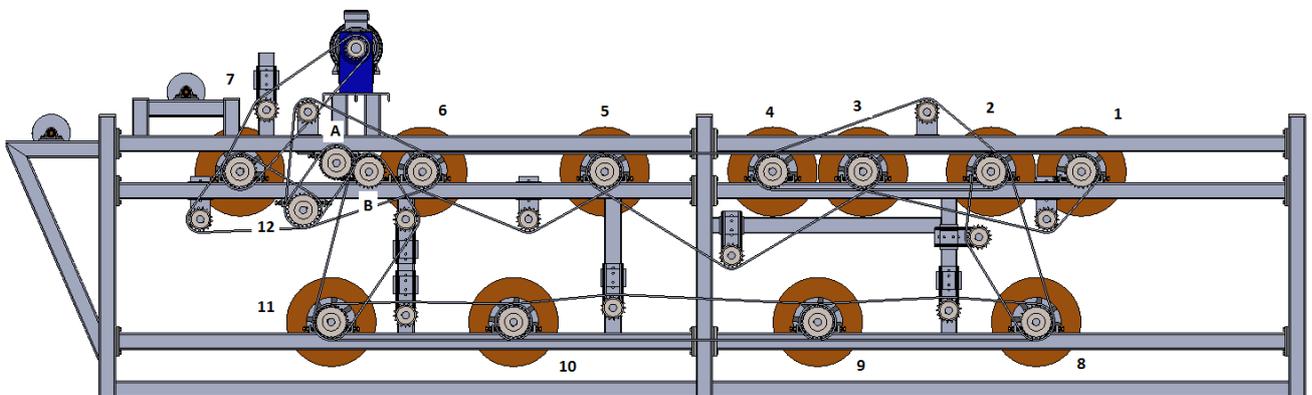


Figura 59. Conexión entre piñones

Tabla 31. Conexión entre piñones

PIÑÓN	PIÑÓN	UBICACIÓN
1	3	2° Posición
2	8	1° Posición
2	4	2° Posición
3	5	1° Posición
6	5	2° Posición
9	8	2° Posición
9	10	1° Posición
10	11	2° Posición
11	B	1° Posición
12	A	3° Posición
12	7	2° Posición
12	6	1° Posición
7	MOTOR	2° Posición

Existen templadores para cada conexión de la cadena, para evitar que la cadena por el peso del agua pandee.

Todos los rodillos son de 24 dientes y paso 80, excepto los templadores que son de 17 dientes.

### 3.6.3.3. Cadena

Cadena AISI 80 con sus siguientes características:

Tabla 32. Especificaciones cadena piscina

ESPECIFICACIONES CADENA					
CADENA	PASO (mm)	ANCHO (mm)	RESISTENCIA MÍNIMA A LA TENSIÓN (N)	PESO PROMEDIO (N/m)	DIÁMETRO DEL RODILLO (mm)
AISI N° 80	25.4	15.88	55600	25	15.87

**Fuente:** Diseño en Ingeniería mecánica de Shigley. Richard G. Budynans. 8° Edición.

Se utilizaron estas cadenas debido a los piñones utilizados en la piscina de enfriamiento de Cashapamba, además para estandarizarla con la línea 1, ya que en esta línea se ocupa este tipo de cadena.

#### Datos del motor:

$$P_{motor} = 7.5 \text{ HP}$$

$$n_{motor} = 202 \text{ r.p.m}$$

#### Potencia de diseño:

La potencia de diseño es la propia potencia del motor multiplicada por un factor de servicio de cargas.

$$P_d = \text{Potencia de diseño (H.P)}$$

$$k_s = \text{Factor de servicio de cargas}$$

$$k_s = 1.3 \text{ (Factor para motores eléctricos con choques eléctricos)}$$

$$P_d = P_{motor} \times k_s \quad (3-8)$$

$$P_d = 7.5 \text{ H.P} \times 1.3$$

$$P_d = 9.75 \text{ H.P}$$

**Potencia corregida:**

Es la potencia nominal corregida que soporta la cadena.

$$P_c = k_1 \times k_2 \times H_r \quad (3-9)$$

$P_c =$  Potencia corregida (H.P)

$k_1 = 2$  (Factor para una rueda dentada impulsora)

$k_2 = 1$  (Factor para una cadena de un cordón)

$H_r = 5.57$  Potencia nominal para una cadena AISI 80

$$P_c = 2 \times 1 \times 5.57$$

$$P_c = 11.14 \text{ H.P}$$

**Factor de seguridad:**

$$F.S_{cadena} = \frac{P_c}{P_d} \quad (3-10)$$

$$F.S_{cadena} = \frac{11.14}{9.75}$$

$$F.S_{cadena} = 1.14$$

Factor de seguridad aceptable para el trabajo que se desea realizar, la selección de las cadena es correcta

### 3.7. DISEÑO TÉRMICO

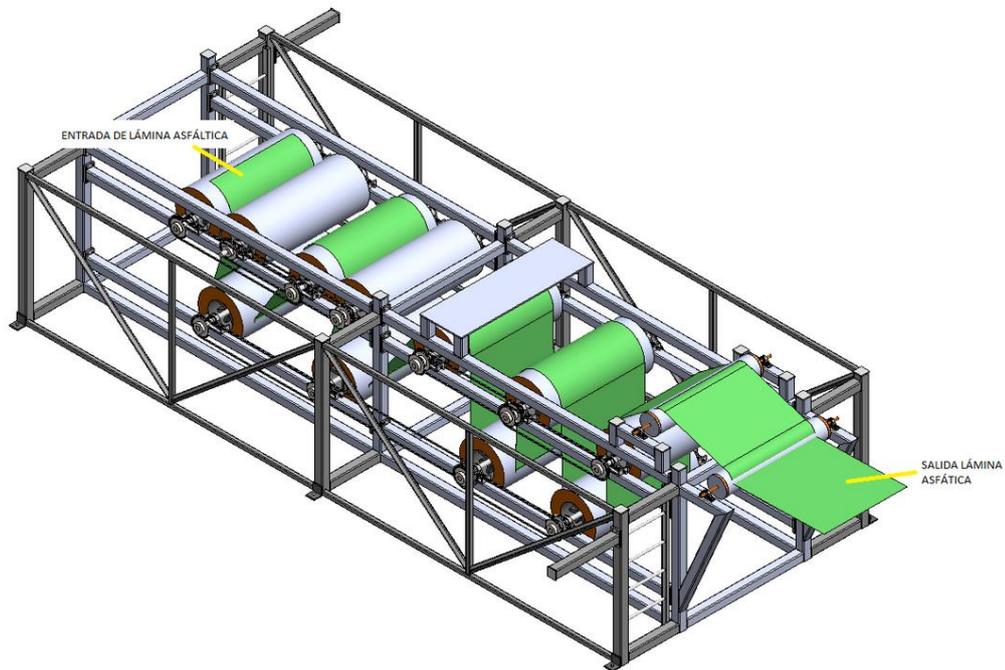


Figura 60. Entrada y salida de la lámina de la piscina

#### 3.7.1. Parámetros de diseño

Tabla 33. Temperatura de laminación para los productos sin armadura

#### TEMPERATURA DE LAMINACIÓN (°C)

	MIN	MAX
ASFALUM	140	160
ALUMBAND	120	155
SUPER K	140	160

**Fuente:** Departamento de producción de CHOVA DEL ECUADOR S.A

Como se puede observar en la tabla anterior la temperatura más crítica corresponde al ASFALUM con 160°C, razón que para la elaboración de los cálculos se ha ocupado esa temperatura.

**Temperatura de entrada de la lámina:** 160°C

**Temperatura de entrada del agua:** 20°C

**Largo de la lámina:** 12 metros

**Espesor de la lámina:** 4 mm

**Velocidad de la lámina:** 20 metros/minuto = 0.33 metros/segundo

### 3.7.2. Cálculo de la temperatura de salida del sistema

Se espera que la temperatura de las láminas disminuya a medida que fluye a través del sistema de enfriamiento, de 12 metros de largo, se supone que la temperatura de la lámina es isotérmica a 160°C.

Se conoce que la velocidad de la lámina es de 20 metros/minuto, pero se desconoce la velocidad del fluido, pero este valor se puede suponer a través de las condiciones de no deslizamiento.

“Cuando un fluido está limitado por una superficie sólida, las interacciones moleculares en la zona de contacto hacen que la superficie esté en equilibrio energético y mecánico con ella. Todos los líquidos están esencialmente en equilibrio con las superficies que los limitan.

Todo fluido en contacto con una superficie sólida obedecerá a las condiciones.

$$V_{fluido} \equiv V_{pared}$$

Estas condiciones se denominan de no deslizamiento son condiciones de contorno en el análisis de los flujos limitados por superficies sólidas. “

**Referencia:** Mecánica de Fluidos de Frank M. White, quinta edición. Editorial McGraw Hill

*∴ Velocidad de la lámina = Velocidad del fluido = 20 metros/minuto*

### 3.7.2.1. Propiedades de la lámina:

Como todos los productos que se elaboran en el sistema de enfriamiento son a base de asfalto para obtener las propiedades se ocupará los siguientes valores, dichos valores han sido entregados por el laboratorio de control de calidad de Chova del Ecuador S.A.

$$\rho_{asfalto} = 1250 \frac{kg}{m^3}$$

$$Cp_{asfalto} = 1700 \frac{J}{Kg^{\circ}K}$$

$$k_{asfalto} = 0.75$$

### 3.7.2.2. Temperatura de película:

Para el cálculo de la temperatura de película se debe utilizar la ecuación (3-5) en donde:

$T_F =$  Temperatura de película ( $^{\circ}C$ )

$T_s =$  Temperatura superficial de la lámina ( $^{\circ}C$ )

$T_{\infty} =$  Temperatura ambiente ( $^{\circ}C$ )

$$T_F = \frac{T_s + T_{\infty}}{2} \quad (3-11)$$

$$T_F = \frac{160^{\circ}C + 20^{\circ}C}{2}$$

$$T_F = 90^{\circ}C$$

Con la temperatura de película encontrada, es decir  $90^{\circ}C$  se encuentra las propiedades del agua, estos valores han sido tomados de la tabla A-9 de Transferencia de calor y masa. Cengel Yunus. 3<sup>o</sup> Edición.

### Propiedades del agua a 90°C:

$$P_{sat} = 70,14 \text{ KPa}$$

$$\rho_{agua} = 965,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Cp_{agua} = 4206 \frac{\text{J}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}$$

$$k_{agua} = 0,675 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}}$$

$$\mu_{agua} = 0,315 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{ms}}$$

$$Pr = 1,96$$

#### 3.7.2.3. Cálculo del número de Reynolds

El número de Reynolds, es la razón entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas, este número determina la existencia de un flujo laminar, turbulento o transitorio, a través de la ecuación (3-6) en donde:

$$Re_L = \frac{\rho_{agua} * V_{fluido} * L}{\mu_{agua}} \quad (3-12)$$

$Re_L = \text{Número de Reynolds}$

$\rho_{agua} = \text{Densidad del agua} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$

$V_{fluido} = \text{Velocidad del fluido} \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$

$L = \text{Longitud de la lámina} \text{ (m)}$

$\mu = \text{Viscosidad dinámica} \left( \frac{\text{kg}}{\text{ms}} \right)$

$$Re_L = \frac{965,3 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,33 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 12\text{m}}{0,315 \times 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{ms}}}$$

$$Re_L = 12135200$$

$$12135200 > 200000$$

**$\therefore$  FLUJO TURBULENTO**

Como el número de Reynolds es mayor a 200000, este es un flujo turbulento

#### 3.7.2.4. Número de Nusselt

Se encuentra el valor de Nusselt a través de la ecuación (3-7), esta relación contempla solo para un fluido turbulento sobre toda la placa plana.

$$Nu = \frac{hl}{k} = 0,037 Re^{0,8} Pr^{1/3} \quad 0.6 \leq Pr \leq 60 \quad (3-13)$$

En donde:

$Nu =$  Número de Nusselt

$h =$  Coeficiente de transferencia de calor por convección  $\left( \frac{W}{m^2 \circ K} \right)$

$Re =$  Número de Reynolds

$Pr =$  Número de Prandtl

$$Nu = 0,037 * 12135200^{0,8} (1,96)^{1/3}$$

$$Nu = 21520.78$$

#### 3.7.2.5. Coeficiente de transferencia de calor por convección

De la ecuación (3-7), se despeja  $h$ , teniendo:

$$h = \frac{k}{L} Nu \quad (3-14)$$

$$h = \frac{0,675 \frac{W}{m^2 \cdot K}}{12m} * 21520.78$$

$$h = 1210.54 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

### 3.7.2.6. Área superficial

El área superficial es el área total que se debe enfriar, como lo muestra la ecuación

$$As = L \times a \times l$$

$As =$  Área superficial ( $m^2$ )

$L =$  Longitud de la lámina (m)

$a =$  Ancho de la lámina (m)

$l =$  lados de enfriamiento

$$As = 12m * 1m * 2 \text{ lados}$$

$$As = 24 m^2$$

### 3.7.2.7. Transferencia de calor por convección

El cálculo de la transferencia de calor por convección se calcula a través de la ley de enfriamiento de Newton (ecuación 3-9)

$$\dot{Q}_{conve} = h * As * (T_s - T_{\infty}) \quad (3-15)$$

$\dot{Q}_{conve} =$  Transferencia de calor por convección (W)

$h =$  Coeficiente de convección  $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

$As =$  Área superficial ( $m^2$ )

$T_s =$  Temperatura de la superficie ( $^{\circ}K$ )

$T_{\infty} =$  Temperatura ambiente ( $^{\circ}K$ )

$$\dot{Q}_{conve} = 1210.24 \frac{W}{m^2 \cdot K} * 24m^2 * (438^\circ K - 293^\circ K)$$

$$\dot{Q}_{conve} = 4212692.27W$$

### 3.7.2.8. Transferencia de calor por radiación

Para el cálculo de la transferencia de calor por radiación se utiliza la ecuación (3-10)

$$\dot{Q}_{alre} = \varepsilon * \sigma * A_s * (T_s^4 - T_{alre}^4) \quad (3-16)$$

$\dot{Q}_{alre}$  = Transferencia de calor por radiación (W)

$\varepsilon$  = Emisividad del asfalto = 0.9

$\sigma$  = Constante de Stefan Boltzman =  $5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$

$T_s$  = Temperatura de la superficie ( $^\circ K$ )

$T_{alre}$  = Temperatura de los alrededores ( $^\circ K$ )

$$\dot{Q}_{alre} = 0,9 * 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4} * 24 m^2 * (438^4 - 293^4)^\circ K^4$$

$$\dot{Q}_{alre} = 36048,49 W$$

### 3.7.2.9. Transferencia de calor total

Es la suma de transferencia de calor por convección y la transferencia de calor por radiación, ecuación (3-11)

$$\dot{Q}_{TOTAL} = \dot{Q}_{conve} + \dot{Q}_{alre} \quad (3-17)$$

$$\dot{Q}_{TOTAL} = 4212692.27 + 36048,49 W$$

$$\dot{Q}_{TOTAL} = 4248740.76 W$$

### 3.7.2.10. Gasto de masa

A través de la ecuación (3-12) se conoce la masa de asfalto que sale laminada por unidad de tiempo, es decir el gasto de masa.

$$\dot{m}_{lámina} = \rho_{lámina} * A_c * V_{lámina} \quad (3-18)$$

$$\dot{m}_{lámina} = \text{Masa de asfalto por unidad de tiempo} \left( \frac{kg}{s} \right)$$

$$\rho_{lámina} = \text{Densidad de la lámina} \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

$$A_c = \text{Área de convección} (m^2)$$

$$V_{lámina} = \text{Velocidad de la lámina} \left( \frac{m}{s} \right)$$

$$\dot{m}_{lámina} = 1250 \frac{Kg}{m^3} * (12m * 0,004 m) * 0,33 \frac{m}{s}$$

$$\dot{m}_{lámina} = 19.8 \frac{Kg}{s}$$

### 3.7.2.11. Cálculo de la temperatura final

Realizando un balance de energía sobre la sección enfriada de la lámina se tiene:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{lámina} C_{p_{lámina}} * (T_2 - T_s) \quad (3-19)$$

Despejando el valor de  $T_2$  se tiene que:

$$T_2 = T_s + \frac{\dot{Q}_{TOTAL}}{\dot{m}_{lámina} * C_{p_{lámina}}} \quad (3-20)$$

$$T_2 = 160 + \frac{\pm 4248740.76 W}{19.8 \frac{Kg}{s} * \left( 1700 \frac{J}{Kg^{\circ}C} \right)}$$

$$T_2 = 33.74^{\circ}C$$

Como se puede observar en el sistema de enfriamiento planteado existe una pérdida del 78.9% en la temperatura con respecto a la temperatura de entrada de la lámina, siendo este un valor sumamente elevado.

### **3.7.3. Temperatura de salida del sistema de enfriamiento antiguo**

Para estimar si se tiene una mejora con respecto al sistema de enfriamiento de Cashapamba es necesario estudiar ese sistema:

#### **3.7.3.1. Parámetros de diseño del sistema actual**

**Producto a realizarse:** ASLFALUM de 4 mm.

**La temperatura de entrada de la lámina:** 150°C

**Temperatura inicial de la piscina:** 23°C

**Temperatura de salida del rollo:** 23°C

Después de un tiempo de producción de 4 horas la temperatura de la piscina y del rollo son las siguientes:

**Temperatura del agua después de 4 horas:** 45°C

**Temperatura de salida del rollo:** 35°C

Teniendo en cuenta estos datos:

$$\rho_{asfalto} = 1250 \frac{kg}{m^3}$$

$$Cp_{asfalto} = 1700 \frac{J}{Kg^{\circ}K}$$

$$k_{asfalto} = 0.75$$

#### **3.7.3.2. Temperatura de película:**

Con la ecuación (3-11) se encuentra el valor de la temperatura de película:

$$T_F = \frac{150^\circ\text{C} + 23^\circ\text{C}}{2}$$

$$T_F = 86.5^\circ\text{C}$$

### 3.7.3.3. Propiedades del agua a 86.5°C:

Con la temperatura de película encontrada, es decir 86.5°C se encuentra las propiedades del agua, estos valores han sido interpolados de la tabla A-9 de Transferencia de calor y masa. Cengel Yunus. 3° Edición.

$$P_{sat} = 70,14 \text{ KPa}$$

$$\rho_{agua} = 967.26 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Cp_{agua} = 4202.5 \frac{\text{J}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}$$

$$k_{agua} = 0,6736 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}}$$

$$\mu_{agua} = 3.276 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{ms}}$$

$$Pr = 2.044$$

### 3.7.3.4. Número de Reynolds

Para encontrar este número adimensional se ocupa la ecuación (3-12).

$$Re_L = \frac{967.26 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,33 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 12\text{m}}{3.276 \times 10^{-4} \frac{\text{Kg}}{\text{ms}}}$$

$$Re_L = 11692153.85$$

$$11692153.85 > 200000$$

**∴ FLUJO TURBULENTO**

### 3.7.3.5. Número de Nusselt

Se encuentra el valor de Nusselt a través de la ecuación (3-13), esta relación contempla solo para un fluido turbulento sobre toda la placa plana.

$$Nu = 0,037 * 11692153.85^{0,8} (2.044)^{1/3}$$

$$Nu = 21184.146$$

### 3.7.3.6. Coeficiente de transferencia de calor por convección:

De la ecuación (3-13), se despeja  $h$ , teniendo:

$$h = \frac{0,6736 \frac{W}{m^{\circ}K}}{12m} * 21184.146$$

$$h = 1189.136 \frac{W}{m^2 \circ K}$$

### 3.7.3.7. Área superficial

Se encuentra a partir de la ecuación

$$As = 12m * 1m * 2 \text{ lados}$$

$$As = 24 m^2$$

### 3.7.3.8. Transferencia de calor por convección

La transferencia de calor por convección se calcula a partir de la ecuación (3-15) como se muestra:

$$\dot{Q}_{conve} = 1189.136 \frac{W}{m^2 \circ K} * 24m^2 * (438^{\circ}K - 293^{\circ}K)$$

$$\dot{Q}_{conve} = 4138195.918 W$$

### 3.7.3.9. Transferencia de calor por radiación

La transferencia de calor por radiación se calcula con la ecuación (3-16), como se muestra:

$$\dot{Q}_{alre} = 0,9 * 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \circ K^4} * 24 m^2 * (438^4 - 293^4) \circ K^4$$

$$\dot{Q}_{alre} = 36048,49 W$$

### 3.7.3.10. Transferencia de calor total

La transferencia de calor total es la suma de la transferencia de calor por convección y radiación; obtenida de la ecuación (3-17)

$$\dot{Q}_{TOTAL} = 4138195.9018 + 36048,49 W$$

$$\dot{Q}_{TOTAL} = 4174244.408 W$$

### 3.7.3.11. Gasto de masa

Se calcula el gasto de masa a través de la ecuación (3-18)

$$\dot{m}_{lámina} = 1250 \frac{Kg}{m^3} * (12m * 0,004 m) * 0,33 \frac{m}{s}$$

$$\dot{m}_{lámina} = 19.8 \frac{Kg}{s}$$

### 3.7.3.12. Temperatura de salida de la lámina

Obtenida a través de la ecuación (3-20)

$$T_2 = T_s + \frac{\dot{Q}_{TOTAL}}{\dot{m}_{lámina} * C_{p lámina}}$$

$$T_2 = 150 + \frac{\pm 4174244.408 \text{ W}}{19.8 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * \left(1700 \frac{\text{J}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}\right)}$$

$$T_2 = 26^\circ\text{C}$$

### 3.7.3.13. Cálculo del porcentaje de error:

Con las pruebas realizadas en el sistema de enfriamiento de Cashapamba, se obtuvo que el valor de salida de la lámina es de 23°C, y con los cálculos realizados se obtuvo que la lámina sale a una temperatura de 26°C, se calcula el porcentaje de error a través de la ecuación (3-21)

$$\% \text{ error} = \frac{\text{Valor}_{real} - \text{Valor}_{teórico}}{\text{Valor}_{teórico}} \quad (3-21)$$

$$\%_{error} = \frac{26^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C}}{23^\circ\text{C}} \times 100$$

$$\%_{error} = 13.043\%$$

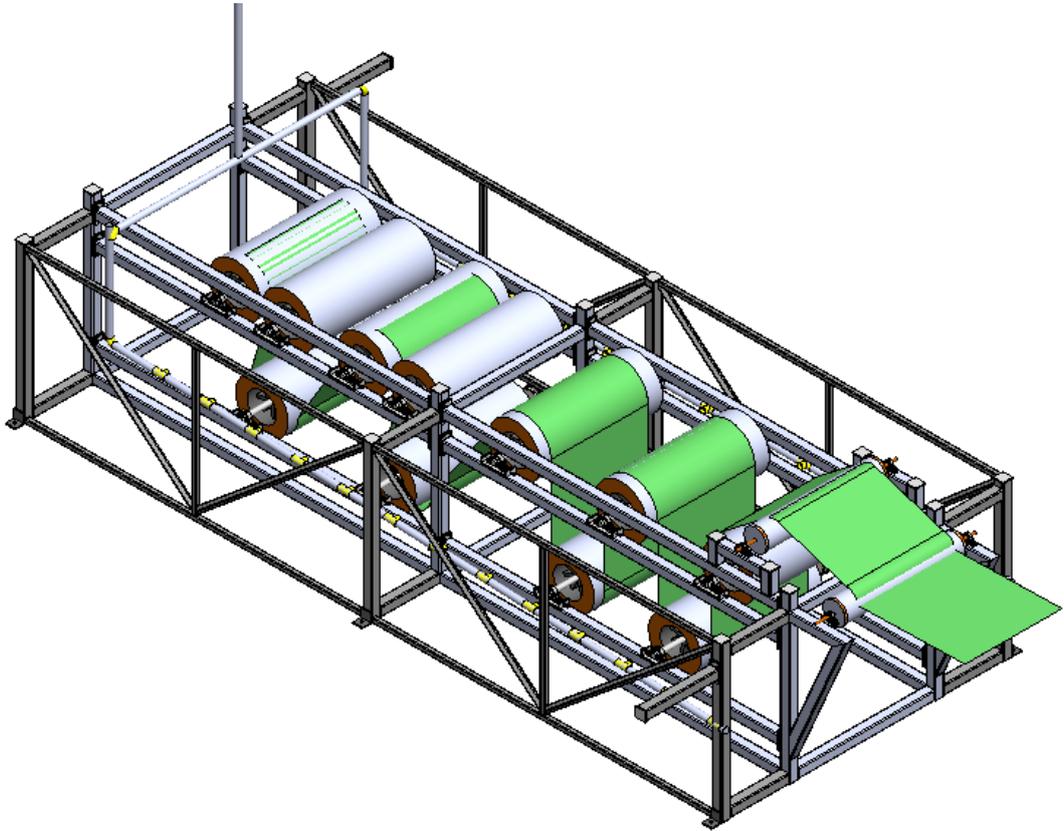
### 3.7.4. Comentario

La piscina existente en Cashapamba en un lapso de 4 horas sube la temperatura en 22°C y la lámina sube 12°C es decir que la temperatura de la lámina sube cada hora 3°C.

Hay que recalcar que para la elaboración del sistema de enfriamiento los cálculos han sido realizados con el máximo valor que el asfalto podría llegar a tener, este es de 160°C, y tomando un error de cálculo de 13.043% se estima que la temperatura de la lámina sea de 29.34 °C, considerando para los cálculos que el sistema no cuenta con ningún tipo adicional de enfriamiento.

Es importante señalar además, el sistema está diseñado para una recirculación constante del agua, se procura la entrada de temperatura ambiente a la piscina garantizando el enfriamiento de la lámina.

### 3.7.5. Sistema de agua



*Figura 61. Sistema de tubería de agua*

El sistema de agua, como muestra la figura 61, cuenta con 12 tomas de  $\frac{1}{2}$ ", en cada lado de mantenimiento, teniendo un tiempo de llenado de la piscina de 1 hora y 10 minutos, el volumen de agua del sistema es de 35000 litros, y la salida del agua está dado por la parte inferior del sistema con una bomba de 7.5 HP, el vaciado total del sistema es de 2 horas y 15 minutos.

Se tiene una recirculación constante del agua, es decir que siempre está entrando agua a temperatura ambiente y se desfoga agua caliente.

(Ver Anexo B)

### 3.7.5.1. Cálculo de la fuerza sobre las paredes del sistema

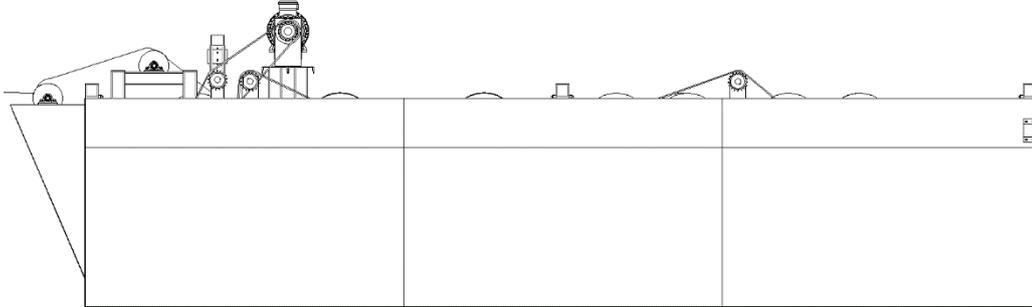


Figura 62. Paredes del sistema de enfriamiento

La pared tiene un largo total de 7.3 metros, y la profundidad es de 1.6 metros, se tiene como fluido de trabajo solamente el agua

La fuerza real se distribuye sobre toda la superficie de la pared, se debe determinar la fuerza resultante y el sitio donde actúa, conocido como centro de presión.

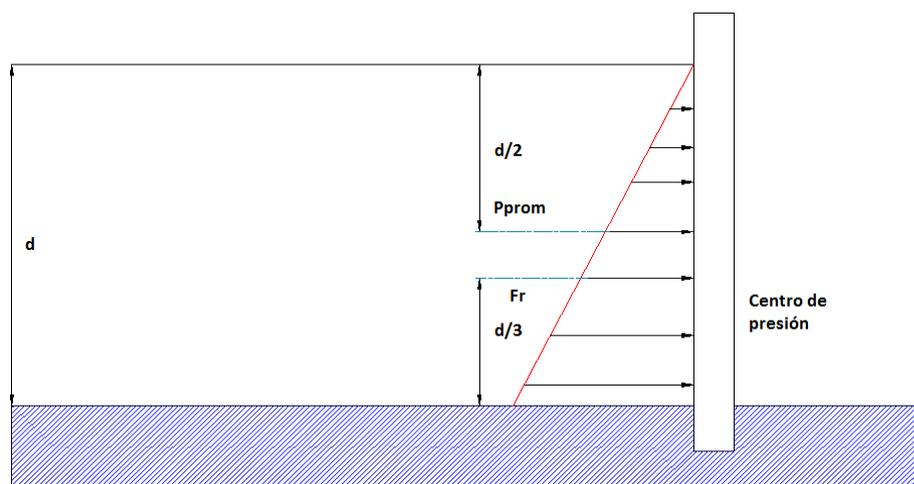


Figura 63. Distribución de presión sobre una pared

$$Fr_{agua} = p_{prom} \times A \quad (3-22)$$

**En donde:**

$Fr_{agua}$  = Fuerza resultante del agua (N)

$p_{prom}$  = Presión promedio  $\left(\frac{N}{m^2}\right)$

$A$  = Área total de la pared ( $m^2$ )

$$p_{prom} = \gamma \left(\frac{d}{2}\right) \quad (3-23)$$

**En donde:**

$\gamma$  = Gravedad específica  $\left(\frac{N}{m^3}\right)$

$d$  = Profundidad total del fluido (m)

Simplificando 3-22 con la 3-23 se tiene:

$$Fr_{agua} = \gamma \left(\frac{d}{2}\right) \times A \quad (3-24)$$

$$Fr_{agua} = 10000 \frac{N}{m^3} \left(\frac{1.6}{2} m\right) \times (7.3 \times 1.6 m^2)$$

$$Fr_{agua} = 93440 N$$

El centro de presión está a una distancia de:

$$\frac{d}{3} = \frac{1.6}{3} = 0.53 \text{ metros}$$

## **3.8. DISEÑO ELÉCTRICO**

### **3.8.1. Control**

El control se realiza mediante un PLC, el cual recibe los datos de entrada del encoder y de acuerdo a la programación del mismo, mediante variadores de frecuencia, cambia la velocidad del motor.

Chova del Ecuador usa dispositivos programables (PLC) de marca Wago, suministrados por la empresa Ecuainsetec, la misma que se encarga de realizar la programación del PLC así como calibraciones y conexiones requeridas.

### **3.8.2. Sistema eléctrico**

Las conexiones eléctricas del sistema de enfriamiento, y de toda la línea de laminación N°2 son realizadas por la empresa ECUASINTEC.

## CAPÍTULO 4

### CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

#### 4.1. PLANOS DEL SISTEMA

ANEXO C

#### 4.2. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

Para la construcción del sistema se debe tomar en cuenta que el siguiente ha sido dividido en las siguientes partes:

- Bastidor.
- Zonas de mantenimiento.
- Sistema de transmisión de potencia.
- Gradass de acceso externas.
- Gradass de acceso internas.

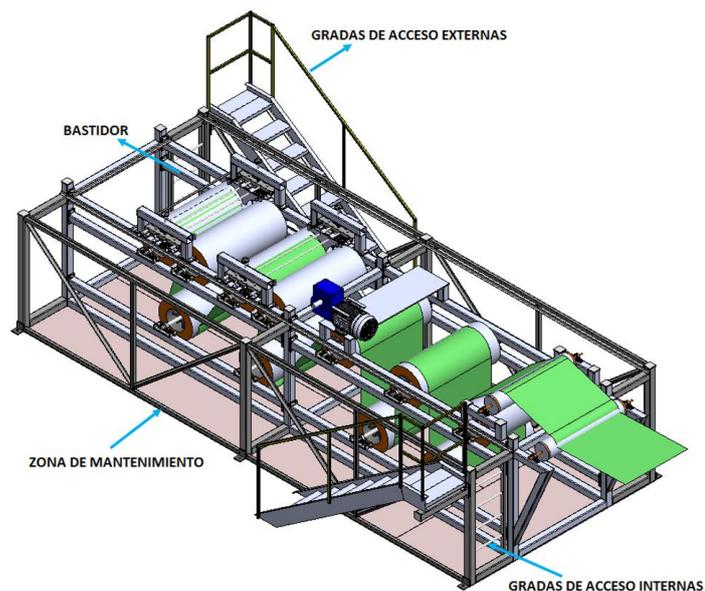


Figura 64. Sub partes del sistema de enfriamiento

#### 4.2.1. Lista de materiales y herramientas

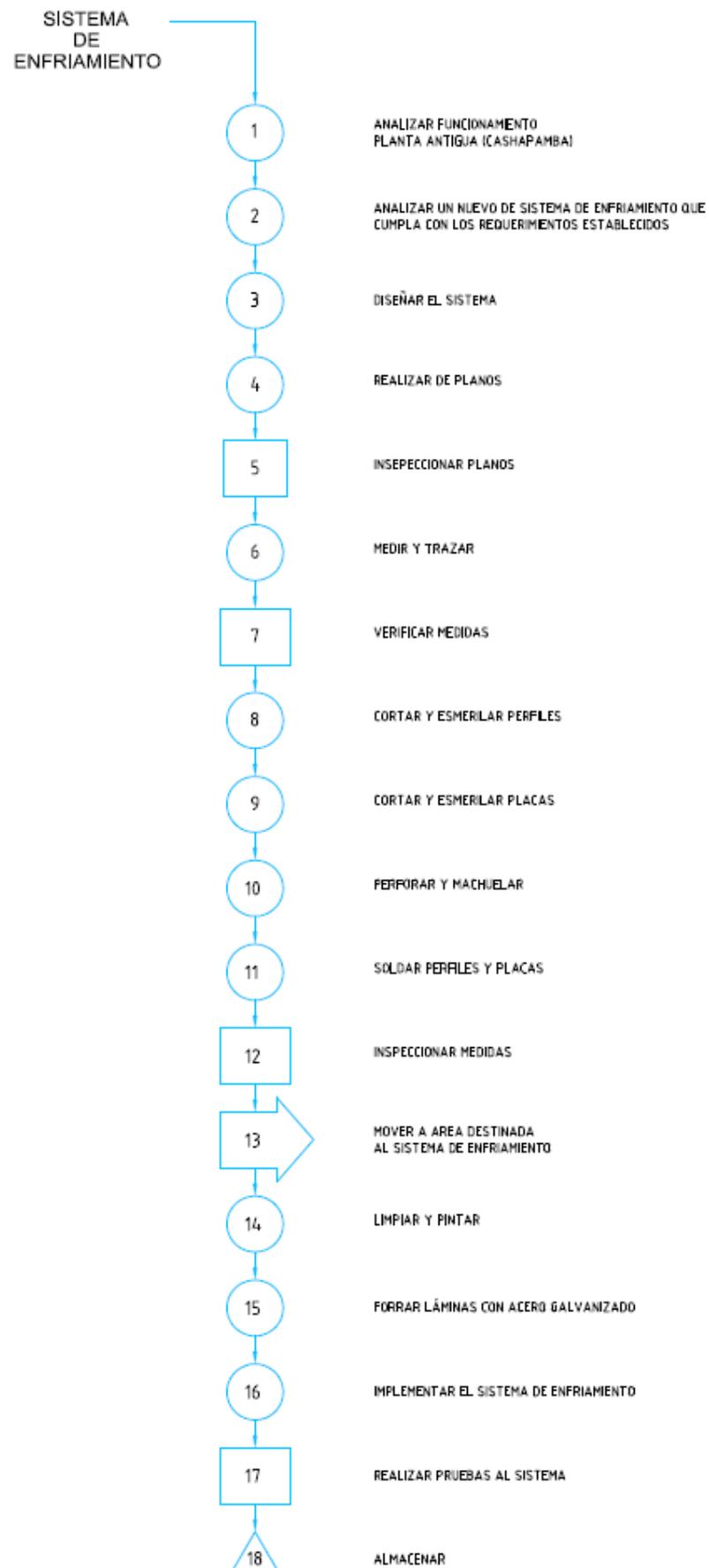
Tabla 34. Materiales utilizados para la construcción del sistema

LISTA DE MATERIALES			
N°	DESCRIPCIÓN	DIMENSIÓN	CANTIDAD
1	Perfil estructural cuadrado	100 × 4 mm (6m/perfil)	15 U
2	Perfil laminado en platina	100 × 12 mm (6m/platina)	5 U
3	Planchas navales (bovina) $e = 4.0 \text{ mm}$	1500 × 7300 mm	859.58 Kg
4	Planchas de acero galvanizado (fleje)	1220 × 3000 mm	80.45 Kg
5	Planchas de acero galvanizado (fleje)	1220 × 7000 mm	391.5 Kg
6	Planchas de acero galvanizado	4 × 8 pies	7 U
7	Perfil "C"	200 × 50 × 3 mm (6m/perfil)	5 U
8	Perfil estructural cuadrado	50 × 3 mm (6m/perfil)	10 U
9	Perfil estructural cuadrado	30 × 2.6 mm (6m/perfil)	4 U
10	Ángulo "L"	40 × 40 mm (6m/ángulo)	5 U
11	Eje SAE 1018	$\phi = 1"$	7 m
12	Eje SAE 1018	$\phi = 3/4"$	9 m
13	Chumaceras SKF	$\phi = 45 \text{ mm}$	22 U
14	Chumaceras SKF	$\phi = 25 \text{ mm}$	4 U
15	Chumaceras SKF	$\phi = 1"$	8 U
16	Pernos acero grado 8	1/2 × 1"	130 U
17	Arandelas negras estriada	1/2"	130 U
18	Pernos acero grado 8	3/8 × 1"	40 U
19	Arandela estriada negra	3/8"	40 U
20	Perno acero grado 8	5/16 × 1"	36 U
21	Arandela estriada negra	5/16"	36 U

Tabla 35. Lista de materiales utilizados para la construcción

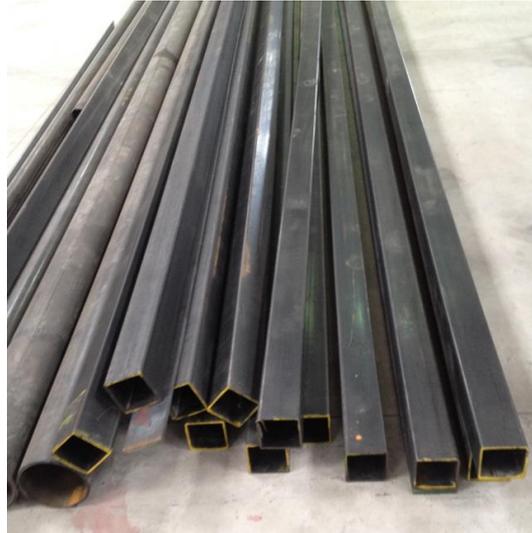
<b>LISTA DE HERRAMIENTAS</b>		
<b>N°</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>
1	Flexómetro	6
2	Pie de rey	1
3	Nivel	2
4	Escuadra	2
5	Rayador	10
6	Taladro	1
7	Amoladora	1
8	Juego de brocas	2
9	Discos de corte	2 CAJAS
10	Discos de desbaste	1 CAJA
11	Soldadora MILLER	1
12	Electrodos 6010	30 Kg
13	Electrodos 7018	30 Kg
14	Juego de machuelos	5
15	Thinner	5 GL
16	Compresor	1
17	Pintura anticorrosiva	5 GL
18	Pintura de esmalte	5 GL
19	Pintura naval especial	10 GL

A continuación se muestra un diagrama de flujo, en donde se observan todas las actividades realizadas en el sistema de enfriamiento.



#### 4.2.2. Construcción del sistema

Para la construcción del bastidor y de los cuartos de mantenimiento, se ha utilizado tubos cuadrados de  $100 \times 4 \text{ mm}$ , y  $50 \times 3 \text{ mm}$ , respectivamente, como se muestra a continuación.



*Figura 65. Materiales para la elaboración del sistema de enfriamiento*

Obtenidos los materiales necesarios para la construcción, se mide y se señala para el posterior corte.



*Figura 66. Verificación de medidas y trazado en perfiles*



*Figura 67. Corte de los perfiles*

El bastidor está diseñado con la finalidad de que sus vigas sean totalmente desmontables para la facilidad de cambio de los rodillos, es necesario la elaboración de juntas empernadas como se muestran a continuación.



*Figura 68. Elaboración de placas empernadas*

Se debe verificar que el nivel del piso y de los perfiles sea el mismo para evitar errores de alineación.



*Figura 69. Verificación de nivel del perfil con respecto al suelo*

Antes de soldar se verifica que todo este a nivel.



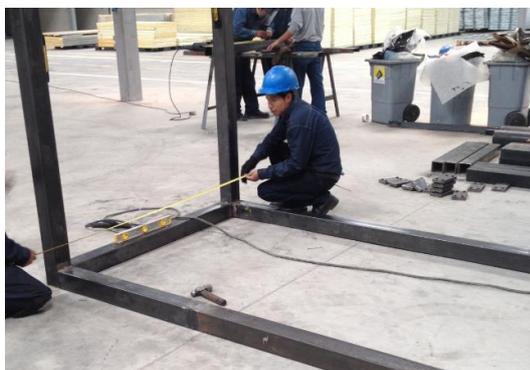
*Figura 70. Verificación de partes antes de ensamblar*

Se procede al ensamble de las vigas y columnas



*Figura 71. Ensamble de columnas y vigas principales del bastidor*

Se verifica que las medidas sean iguales al plano dado.



*Figura 72. Comprobación de medidas en el ensamble*

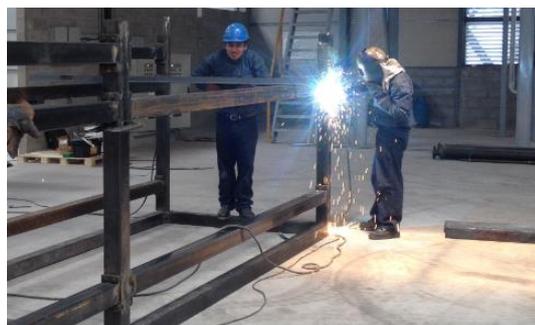


*Figura 73. Medición y trazado en columnas del bastidor*

Se arma las juntas empernadas en las columnas del bastidor.



*Figura 74. Punteada de placas empernadas del bastidor*

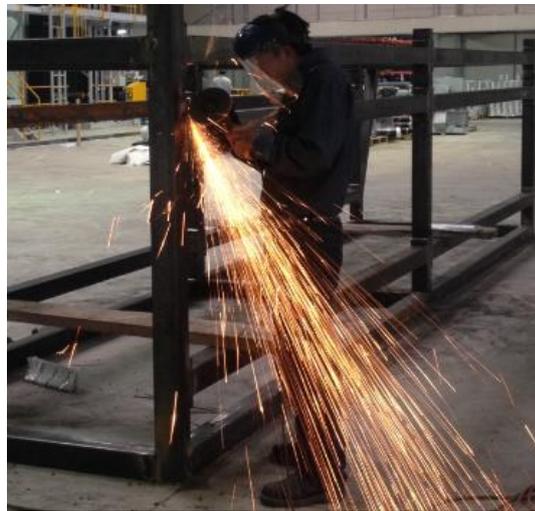


*Figura 75. Colocación de placas empernadas en el bastidor*

Después de colocar los puntos de suelda se da un refuerzo en la soldadura como se muestra a continuación:



*Figura 76. Refuerzo en la soldadura con electrodos 6010/7018*



*Figura 77. Eliminación de rebabas en el bastidor*



*Figura 78. Bastidor del sistema de enfriamiento*

Una vez que el bastidor está completo se elabora, los respectivos cuartos de máquinas.



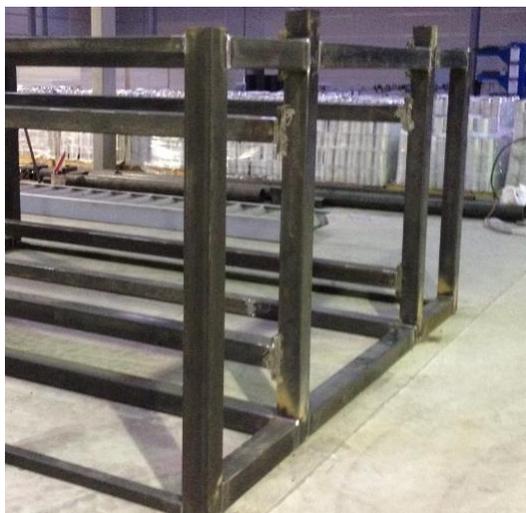
*Figura 79. Elaboración de los cuartos de máquinas*



*Figura 80. Refuerzo en la soldadura en los cuartos de máquinas*



*Figura 81. Bastidor y cuartos de máquinas*



*Figura 82. Vista lateral del bastidor y dos cuartos de máquinas*

A continuación se coloca las placas para el soporte de las chumaceras SKF SY 45



*Figura 83. Trazado de soportes de chumaceras en el bastidor*



*Figura 84. Colocación de soportes de chumaceras en el bastidor*

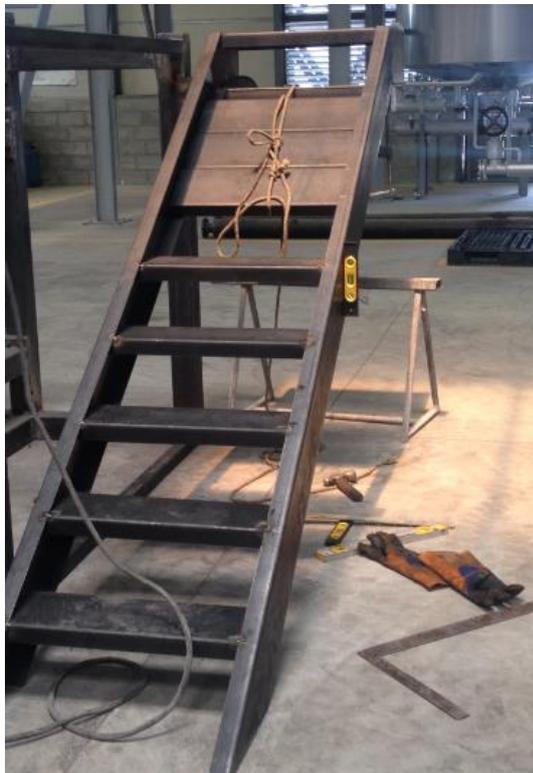


*Figura 85. Reforzada en la soldadura en los soportes de chumaceras*



*Figura 86. Limpieza y quite de rebabas en los soportes de chumaceras*

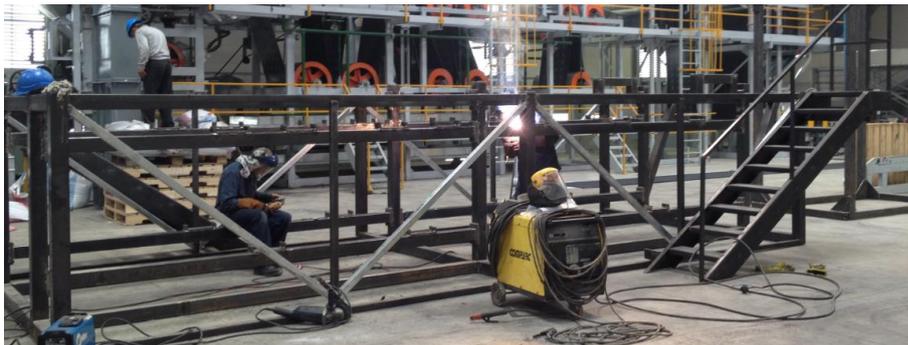
Como se nombró anteriormente, una de los elementos del sistema de enfriamiento son las gradas externas e internas, como se muestran a continuación:



*Figura 87. Elaboración de gradas de acceso externas*



*Figura 88. Elaboración de gradas de acceso internas*



*Figura 89. Estructura del sistema de enfriamiento*

Para la pintura de la estructura, se debe primero limpiar cuidadosamente, quitando todo rastro de polvo o grasa.



*Figura 90. Limpieza de la estructura por medio de gasolina*

Se ha pintado con una pintura anticorrosiva roja, como se muestra a continuación y la segunda mano se la dio con la pintura naval especial.



*Figura 91. Base anticorrosiva (fondo) en toda la estructura*



*Figura 92. Estructura metálica pintada con pintura anticorrosiva*



*Figura 93. Pintura en las gradas de acceso externo*



*Figura 94. Pintura final en las gradas de acceso externas*



*Figura 95. Gradas de acceso externas finales*

Para el piso del sistema de enfriamiento se ha colocado planchas de acero naval, con excelentes características anticorrosivas, de largo especial de 7.3 metros y de 1.5 de ancho se han soldado dos planchas para todo el piso.



*Figura 96. Armada del piso para el sistema de enfriamiento*

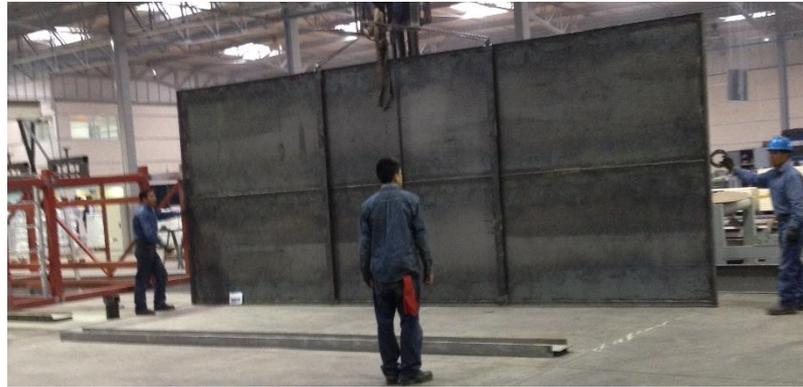


*Figura 97. Soldadura de plancha naval piso*



*Figura 98. Piso para el sistema de enfriamiento*

El piso del sistema fue soldado, por toda la plancha y para evitar que haya fugas se soldó los dos lados de la plancha.



*Figura 99. Suelda lado reverso del piso*



*Figura 100. Prueba del piso en el sistema de enfriamiento*

Se comprueba que el piso para el sistema calce perfectamente y se pueda colocar con facilidad las planchas de acero galvanizado.



*Figura 101. Comprobación del piso en el sistema de enfriamiento*

El piso del sistema se pinta, los dos lados con la pintura naval especial.



*Figura 102. Pintura naval en el piso*



*Figura 103. Pintura naval en el sistema de enfriamiento*

Una vez colocado en el sitio, el sistema de enfriamiento; y el piso de la piscina soldado por completo, se colocan las planchas de acero galvanizado de largo especial, de 7.3 m de largo y 1.2 de ancho.



*Figura 104. Colocación planchas de acero galvanizado en el sistema de enfriamiento*



*Figura 105. Paredes del sistema de enfriamiento*

Se sueldan las planchas de acero galvanizada por dentro y por fuera del sistema.



*Figura 106. Suelda interna en el sistema de enfriamiento*



*Figura 107. Sistema de enfriamiento cubierto*

De igual forma se refuerza la soldadura en las planchas de acero galvanizada.



*Figura 108. Refuerzo en las paredes del sistema de enfriamiento*

Se pinta interiormente con la pintura naval (bucanero), con excelentes propiedades anticorrosivas.



*Figura 109. Pintura interior del sistema de enfriamiento*

En donde existan posibles fugas de agua se coloca sellante de poliuretano.



*Figura 110. Sellado de posibles fugas de agua*

Los engranes y piñones son los mismos de la piscina de Cashapamba, una vez desarmada la máquina se puede obtener dichos piñones.



*Figura 111. Piñones del sistema enfriamiento piscina de Cashapamba*

Se realiza una limpieza exhaustiva de los piñones.



*Figura 112. Limpieza de piñones y engranes.*

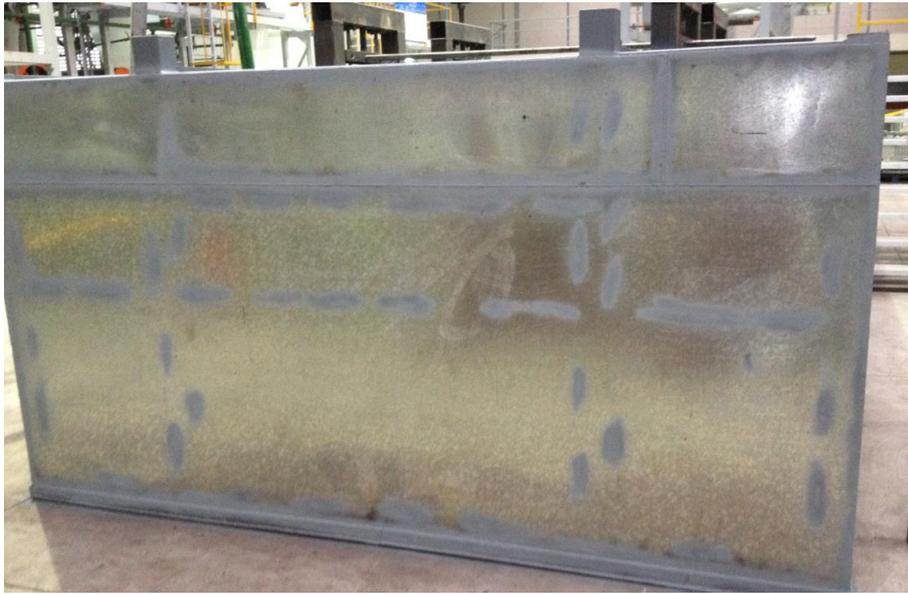
Para evitar en lo posible la corrosión, se coloca galvanizado en frío en spray en todos los cordones de soldadura, para evitar que la corrosión empiece por el cordón, primero hay que preparar la superficie como se muestra.



*Figura 113. Preparación de la superficie (Limpieza de la superficie)*



*Figura 114. Colocación del galvanizado en frío.*



*Figura 115. Sistema de enfriamiento con el galvanizado en frío*

Como los rodillos que se van a colocar en el sistema de enfriamiento, son los utilizados en la piscina anterior (Cashapamba), se debe preparar a estos rodillos, se ha mandado a rectificar el rodillo y alinear los ejes.



*Figura 116. Limpieza del rodillo*



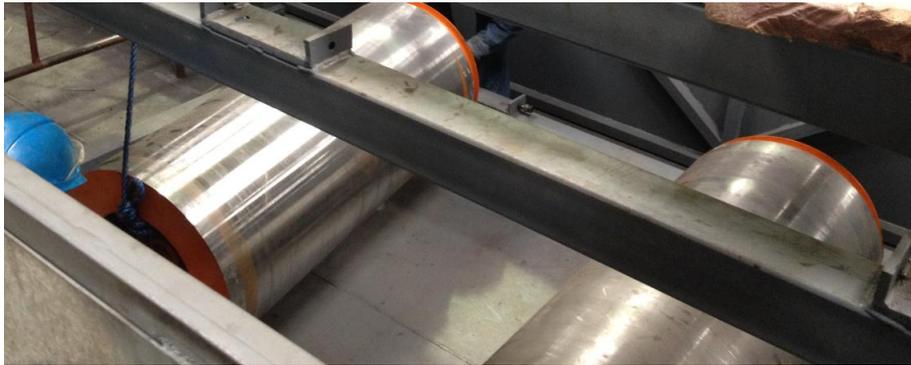
*Figura 117. Pintura del rodillo*

Se comprueba que los rodillos estén en perfecto estado, verificándolos a través del reloj palpador.

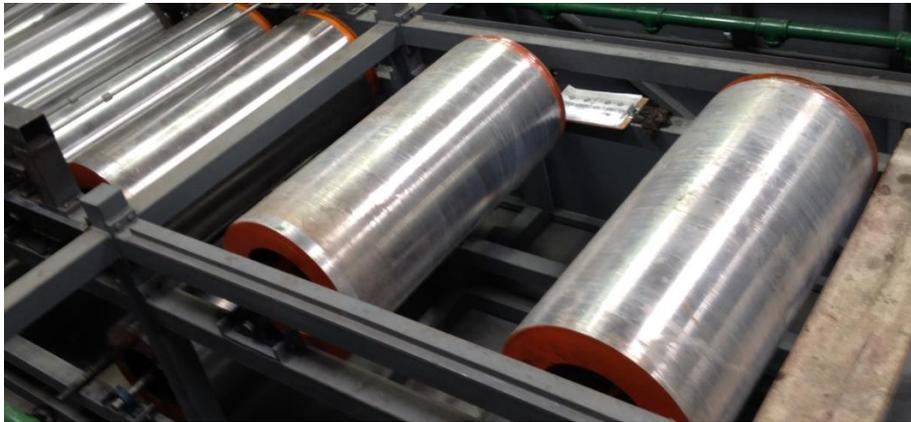


*Figura 118. Verificación del rectificado de los rodillos*

Una vez comprobados que todos los rodillos, tengan una mínima desviación se procede a instalarlos en el sistema de enfriamiento.



*Figura 119. Instalación de rodillos en el sistema de enfriamiento*



*Figura 120. Rodillos en el sistema de enfriamiento*



*Figura 121. Colocación del sistema de tubería*



*Figura 122. Instalación del sistema de transmisión*

## CAPÍTULO 5

### PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

#### 5.1. PROTOCOLO DE PRUEBAS

El objetivo del sistema de enfriamiento es reducir la temperatura de la lámina asfáltica a una temperatura manipulable para el operador esta varía de 20°C a 40°C, para que puedan ser enrolladas fácilmente, garantizando un producto de calidad, de esta manera aumentar el volumen de producción y evitar pérdidas en productos defectuosos.

Se han elaborado reportes técnicos para la elaboración de dichas pruebas, estos documentos son reportes oficiales avalados por Chova del Ecuador S.A

##### 5.1.1 Parámetros de evaluación

Para el sistema de enfriamiento se han planteado las siguientes variables:

- Prueba de fugas en la piscina.
- Temperatura del mastico.
- Temperatura ambiente.
- Temperatura inicial del agua de la piscina
- Temperatura final del agua de la piscina.
- Temperatura de la lámina a la entrada de la piscina.
- Temperatura de la lámina a la salida de la piscina

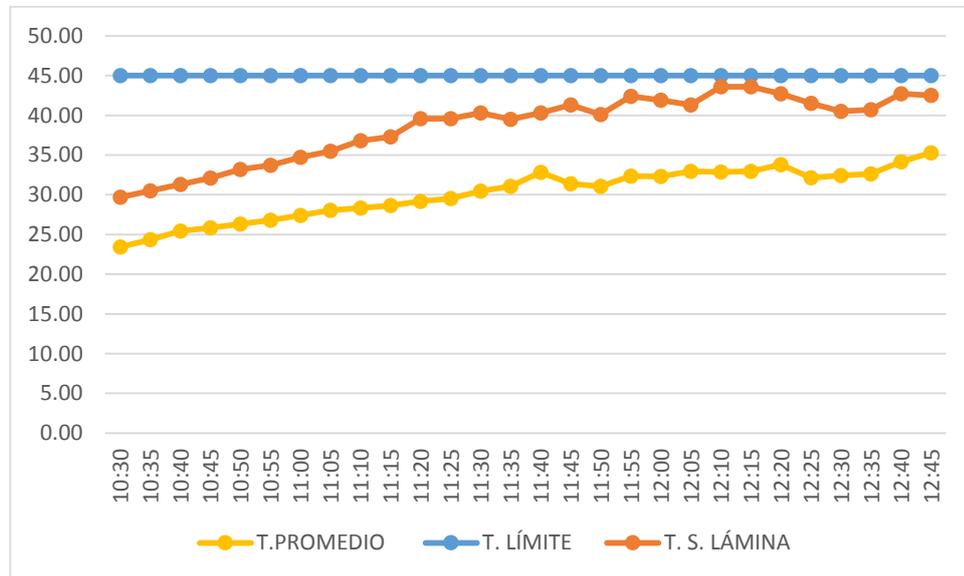
Los datos han sido tomando en un transcurso de una producción de un tanque, han sido tomados cada 5 minutos, y se ha considerado, la temperatura

en la piscina en tres puntos, la temperatura del mastico, y la temperatura de la lámina.

Tabla 36. Tabulación de datos del sistema de enfriamiento

HORA	T. PISCINA 1	T. PISCINA 2	T. PISCINA 3	T.PROMEDIO	T.E. MÁSTICO	T. S. LÁMINA
10:30	23.1	25.1	22.1	23.43	152.5	29.7
10:35	24.1	25.9	23.1	24.37	150.5	30.5
10:40	25.3	26.3	24.7	25.43	150.1	31.3
10:45	25.7	26.9	24.9	25.83	149.5	32.1
10:50	26.1	27.3	25.5	26.30	149.7	33.2
10:55	26.7	27.9	25.8	26.80	149.1	33.7
11:00	27.3	28.1	26.8	27.40	149.8	34.7
11:05	27.9	29.3	26.9	28.03	148.9	35.5
11:10	28.2	30.6	26.2	28.33	148.2	36.8
11:15	28.4	30.8	26.7	28.63	146.1	37.3
11:20	29.6	31.6	26.3	29.17	145.2	39.6
11:25	29.8	32.1	26.7	29.53	149.2	39.6
11:30	30	32.5	28.9	30.47	145.5	40.3
11:35	30.8	33.3	29.1	31.07	141.4	39.5
11:40	31.1	35.6	31.8	32.83	147.1	40.3
11:45	30.8	33	30.3	31.37	145.7	41.3
11:50	30.3	33.3	29.6	31.07	149.6	40.1
11:55	31.1	34.6	31.3	32.33	148	42.4
12:00	30.8	34.5	31.6	32.30	131.6	41.9
12:05	32.3	35	31.6	32.97	145.1	41.3
12:10	32.1	35.4	31.1	32.87	143.3	43.6
12:15	31.6	35.4	31.8	32.93	148.5	43.6
12:20	33	35.3	33.1	33.80	146.5	42.7
12:25	31.6	33.1	31.8	32.17	146.5	41.5
12:30	31.7	33.5	32.1	32.43	145.5	40.5
12:35	32.1	33.7	32.1	32.63	145.3	40.7
12:40	34.5	33.9	34.1	34.17	114.9	42.7
12:45	35.1	35	35.7	35.27	126	42.5

## 5.2. ANÁLISIS DE DATOS



A través del sistema de enfriamiento la lámina puede disminuir hasta 122.8 °C en la primera hora, por transferencia de calor por convección la temperatura de la piscina no se encuentra en su totalidad homogenizada.

Con 2 horas y 15 minutos de trabajo la temperatura máxima de salida de la lámina fue de 42.7°C, pero en la trayectoria de la lámina fue perdiendo temperatura hasta llegar a las manos del operador, cumpliendo con el objetivo establecido, tener un rango de 30-40°C, teniendo presente que el sistema de recambio de agua está siempre funcionando, es decir siempre está entrando agua fría al sistema.

## 5.3. MANUAL DE OPERACIÓN

Ver Anexo F

## CAPÍTULO 6

### ANÁLISIS ECONÓMICO

En este capítulo se realizará una explicación detallada de los costos de este proyecto, de los materiales y mano de obra que fueron necesarios para la ejecución del mismo. A continuación se especifica los costos directos los cuales son intervienen de forma directa en el proyecto

#### 6.1. COSTOS DIRECTOS

##### 6.1.1. Costos de materiales

Tabla 37. Tabulación de datos del sistema de enfriamiento

#### COSTO DE MATERIALES – ESTRUCTURA

N°	DESCRIPCIÓN	DIMENSIÓN	CANTIDAD	P.U (\$)	P.TOTAL (\$)
1	Perfil estructural cuadrado	100 × 4 mm (6m/perfil)	15 U	70.54	1058.1
2	Perfil laminado en platina	100 × 12 mm (6m/platina)	5 U	82.88	414.4
3	Planchas navales (bovina) e = 4.0 mm	1500 × 7300 mm	859.58 Kg	1.25 c/Kg	1074.48
4	Planchas de acero galvanizado (fleje) e = 2.8 mm	1220 × 3000 mm	80.45 Kg	1.32 c /Kg	106.20
5	Planchas de acero galvanizado (fleje) e = 2.8 mm	1220 × 7000 mm	391.5 Kg	1.32 c/Kg	516.78
6	Planchas de acero galvanizado e = 2.8 mm	4 × 8 pies	7 U	82.51	577.57
7	Canal "C"	200 × 50 × 3 mm (6m/canal)	5 U	38.05	190.25
8	Perfil estructural cuadrado	50 × 3 mm (6m/perfil)	10 U	50.54	505.4
9	Perfil estructural cuadrado	30 × 2.6 mm (6m/perfil)	4 U	18.06	72.24

CONTINÚA



10	Ángulo "L"	40 × 40 mm (6m/ángulo)	5 U	10.55	52.75
11	Eje SAE 1018	∅ = 1"	7 m 28.06 Kg	2.5 Kg	70.15
12	Eje SAE 1018	∅ = 3/4"	9 m 20.35 Kg	2.5 Kg	50.88
13	Pernos acero grado 8	1/2 × 1"	130 U	0.29	37.7
14	Arandelas negras estriada	1/2"	130 U	0.34	44.2
15	Pernos acero grado 8	3/8 × 1"	40 U	0.17	0.68
16	Arandela estriada negra	3/8"	40 U	0.045	1.8
17	Perno acero grado 8	5/16 × 1"	36 U	0.10	3.6
18	Arandela estriada negra	5/16"	36 U	0.035	1.26
TOTAL					\$ 4779.16

Tabla 38. Costo de materiales directos fabricación de la estructura

### 6.1.2. Costo de accesorios

Tabla 39. Costo de accesorios

COSTO DE ACCESORIOS – ESTRUCTURA					
N°	DESCRIPCIÓN	DIMENSIÓN	CANTIDAD	P.U (\$)	P.TOTAL (\$)
1	Chumaceras SKF	∅ = 45 mm	22 U	57.21	1258.62
2	Chumaceras SKF	∅ = 25 mm	4 U	46.2	184.8
3	Chumaceras SKF	∅ = 1"	8 U	14.51	116.08
TOTAL					\$ 1559.5

### 6.1.3. Costo de consumibles

Tabla 40. Costo de consumibles

COSTO DE CONSUMIBLES – ESTRUCTURA					
N°	DESCRIPCIÓN	DIMENSIÓN	CANTIDAD	P.U (\$)	P.TOTAL (\$)
1	Rayador	-	10 U	0.28	2.8
2	Electrodos 6010	1/8"	25 Kg	4.2 c/Kg	105
3	Electrodos 7018	1/8"	25 Kg	4.53 c/Kg	113.25
4	Disco de corte	7 × 1/8 × 7/8"	20	3.47	69.4
5	Disco de desbaste	7 × 1/4 × 7/8"	10	3.47	34.7
6	Thinner	-	5 Gl	5.62	28.1
7	Pintura anticorrosiva	-	5 Gl	64.20	321
8	Pintura de esmalte	-	5 Gl	29.72	148.6
9	Franelas	-	10	1.38	13.8
TOTAL					\$ 836.49

### 6.1.3. Costo de mano de obra directa

Tabla 41. Costo de mano de obra directa.

COSTO DE MANO DE OBRA					
N°	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.U (\$)	P.TOTAL (\$)
1	Soldador (2)	SEMANA	12	222	6480.0
2	Cortador/ Ensamblador (2)	SEMANA	12	150	3600.0
3	Pintor (2)	SEMANA	2	150	3600.0
TOTAL					\$ 13680.0

## 6.2. COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos son aquellos que no intervienen en ninguna fase de la realización del sistema de enfriamiento pero formaron parte de la elaboración del proyecto, estos incluyen:

### 6.2.1. Materiales indirectos

Tabla 42. Costo de materiales indirectos

MATERIALES INDIRECTOS					
N°	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.U (\$)	P.TOTAL (\$)
1	Desengrasante para manos	U	3	10.2	30.6
2	Nivel de 50 cm	U	2	9.2	18.4
3	Nivel torpedo	U	2	5.3	10.6
4	Flexómetro de 8 m	U	4	8.2	32.8
5	Gafas de seguridad (blancas)	U	6	8.10	48.6
6	Gafas de seguridad (negras)	U	6	9.10	54.6
TOTAL					\$ 195.6

### 6.2.2. Costo de misceláneos.

Tabla 43. Costo de misceláneos

MISCELÁNEOS		
N°	DESCRIPCIÓN	(\$) COSTO
1	Material de oficina	150
2	Servicio de internet	324
3	Transporte	200
4	Fotocopias/ Impresiones	100
5	Servicios básicos	80
6	Materiales varios	50
TOTAL		\$ 904.0

### 6.3. COSTOS TOTALES

Tabla 44. Costos directos

<b>COSTOS DIRECTOS</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>(\$) COSTO</b>
Costo de materiales- estructura	4779.16
Costo de accesorios	1559.5
Costo de consumibles	836.49
Costo de mano de obra directa	13680.0
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 20855.15</b>

Tabla 45. Costos Indirectos

<b>COSTOS INDIRECTOS</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>(\$) COSTO</b>
Costos de materiales indirectos	195.6
Costos de misceláneos	904.0
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1099.6</b>

Tabla 46. Costo Total

<b>COSTO TOTAL</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>(\$) COSTO</b>
Costos directos	20855.15
Costos indirectos	1099.6
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 21954.75</b>

Cabe recalcar que Chova del Ecuador S.A financia el 96% del costo total del proyecto, el restante que corresponde a los gastos de misceláneos son desembolsados por la autora del proyecto.

## 6.4. ESTUDIO ECONÓMICO

Es necesario estudiar cual es la rentabilidad que tiene el proyecto, y observar su factibilidad a través de la relación costo beneficio.

### INVERSIÓN:

Tabla 47. Inversión del sistema de enfriamiento

INVERSIÓN		
N°	DESCRIPCIÓN	(\$) TOTAL
1	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	21050.75

### BENEFICIO:

Los productos que más desperdicio generan son: ALUMBAND, ASFALUM. Tomando en cuenta la producción del año 2014 se tiene como promedio:

Tabla 48. Desperdicios año 2014

PROMEDIO DE DESPERDICIOS AÑO 2014				
PRODUCTO	CANTIDAD (m <sup>2</sup> )	TOTAL (Kg)	DESPERDICIO (Kg)	DESPERDICIO (%)
ALUMBAND	91325	197483	608	4.60
ASFALUM	25570	77370.4	149	0.43
TOTAL	116895	274853.4	757	5.03

Con el nuevo sistema de enfriamiento se reducirá en mínimo 80% producto no conforme.

Tabla 49. Costo total de desperdicios

<b>COSTO TOTAL DE DESPERDICIOS</b>		
<b>PRODUCTO</b>	<b>VALOR PROMEDIO (\$/m<sup>2</sup>)</b>	<b>VALOR TOTAL (\$)</b>
ALUMBAND	3.32	933.48
ASFALUM	2.37	116.70
<b>TOTAL DE DESPERDICIOS</b>		<b>1050.18</b>

Tabla 50. Reducción del producto defectuoso

<b>REDUCCIÓN PRODUCTO DEFECTUOSO</b>		
<b>PRODUCTO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR TOTAL (\$)</b>
ALUMBAND	$933.48 \times 0.8 \times 12$	8961.41
ASFALUM	$116.7 \times 0.8 \times 12$	1120.32
<b>TOTAL DE DESPERDICIOS</b>		<b>10081.73</b>

Tabla 51. Análisis económico proyectado a 10 años

MES	INVERSIÓN	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Egresos	-21050.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ingresos	0	10082	10,82	10082	10082	10082	10082	10082	10082	10082	10082
Saldo	-21051	10082	10082	10082	10082	10082	10082	10082	10082	10082	10082
Saldo Acumulado	-21051	-10969	-887	9194	19276	29358	39440	49521	59603	69685	79767

Tabla 52. Resultado de índices económicos/financieros

<b>V.A.N</b>	35913
<b>T.I.R</b>	47%
<b>B/C</b>	3.03
<b>TASA DE RECUPERACIÓN</b>	2.09 Periodos
<b>TASA DESCUENTO</b>	12%

## **INTERPRETACIÓN DE INDICADORES**

### **VALOR ACTUAL NETO (V.A.N)**

Es un indicador financiero, y mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá un proyecto, y de esta forma determinar si luego de descontar la inversión inicial, quedará alguna ganancia, como el VAN es  $\$35913 > 0$  el proyecto es rentable.

### **TASA INTERNA DE RETORNO (T.I.R)**

Es la máxima tasa de descuento que puede tener un proyecto para que este sea rentable, como se observa el TIR del proyecto es de 47%, con una tasa de descuento de 12%, si la tasa de descuento sería mayor a 47%, el proyecto no resultaría rentable.

### **RELACIÓN BENEFICIO/COSTO (B/C)**

Indica los beneficios actualizados acumulados y la inversión inicial, debe ser mayor a uno. En el proyecto con una relación beneficio/costo de 3.03, quiere decir que por cada dólar invertido estos han sido recuperados y además se obtuvo una ganancia extra de \$2.03.

### **TASA DE RECUPERACIÓN**

Determina el periodo en que se recupera la inversión, en este proyecto la tasa de recuperación es de 2.09 años, lo que es igual a 2 años, 1 mes y 3 días.

A partir de esa fecha el proyecto representará un ahorro para la empresa.

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. CONCLUSIONES

- Al realizar las pruebas de laminación, se determinó que la temperatura de salida de la lámina durante todo el proceso no es superior a 40°C, con la entrada constante de agua a temperatura ambiente.
- Con el nuevo sistema de enfriamiento se puede trabajar constantemente en todos los turnos de trabajo, gracias a la recirculación de agua, el agua de la piscina alcanza una temperatura superior a 30°C.
- Se prevé la eliminación del producto defectuoso por enfriamiento en alrededor del 80%, debido a que la piscina siempre va a estar con agua a temperatura ambiente, gracias a la recirculación de agua.
- El llenado de la piscina, es de alrededor de 1 hora y 10 minutos, se redujo en aproximadamente en 72% el tiempo de espera en comparación de la piscina de Cashapamba, pudiéndose producir la misma cantidad en menor tiempo.
- El sistema de arrastre funciona adecuadamente debido que todos los rodillos están conectados con piñones y cadenas, por tanto el sistema no patina.
- En el presente proyecto, se aplicaron conocimientos adquiridos en la ESPE- Universidad de las Fuerzas Armadas, específicamente en las áreas de: Transferencia de calor, diseño de elementos de máquinas, diseño mecánico, procesos de manufactura, soldadura.

## 7.2. RECOMENDACIONES

- Previo a la utilización del sistema leer cuidadosamente las instrucciones y recomendaciones expuestas en el manual de usuario, para asegurar la integridad del equipo y de los operadores.
- Para evitar el inicio de la corrosión, es necesario realizar mantenimientos programados cada seis meses, pintando internamente el sistema con pintura naval, y los cordones de soldadura de las paredes exteriores con galvanizado en frío (spray).
- Con la prueba de estanquidad se ha corregido todas las posibles fugas de agua, pero también se recomienda en todas las uniones de las planchas colocar un sellante de poliuretano, de igual forma cada seis meses.
- Para asegurar un enfriamiento adecuado, el agua no debe permanecer estática, es necesario que exista una recirculación constante del agua, y se debe asegurar el ingreso de agua a temperatura ambiente.
- Para asegurar un mejor enfriamiento del agua, se recomienda la colocación de una torre de enfriamiento, y la colocación de turbinas dentro del sistema para asegurar la homogeneidad del agua.
- Verificar constantemente el estado de las chumaceras (Como se detalla en el manual de usuario)
- Con cada parada de mantenimiento se debe verificar el estado de las cadenas, piñones y engranes; y dependiendo su estado cambiarlos inmediatamente.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Bonilla D. (Septiembre 2014). Situación actual sistema de enfriamiento de Chova del Ecuador en Cashapamba (Meléndez M.J, entrevistadora)
- Budynas R y Nisbe J. (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. México D.F: McGraw-Hill
- Catálogo de Productos (2014). IMPTEK.
- Catálogo General SKF. (2006). Publicación 6000 ES. Suecia
- Cengel Y. (2007). Transferencia de calor y masa. México D.F: McGraw-Hill
- Crespo P. (Agosto 2014). Sistema de enfriamiento actual (Meléndez M.J, entrevistadora)
- Deutschman A. (1987). Diseño de Máquinas, Teoría y Práctica. México: Compañía Editorial Continental
- Díaz J. (2014). Matriz para toma de decisiones.
- ForceEffect (2014). Autodesk Inc.
- Incropera F y DeWitt D. (1999). Fundamentos de Transferencia de calor. México: Prentice Hall Hispanoamérica, S.A
- Manual SKF de mantenimiento de rodamientos. (1992), Publicación 4100 Sp. Singapur
- MDSolids 3.5 Software
- Mott R. (1996). Mecánica de fluidos aplicada. México: Prentice Hall Hispanoamérica, S.A
- Pozo J. (Agosto 2014). Sistema de enfriamiento actual (Meléndez M.J, entrevistadora)
- Recalde D. (2014). Diseño y construcción de una estación de absorción de impacto y bastidor para el alineador de las láminas de asfalto en la línea de producción de cubiertas impermeabilizantes de la empresa

Chova del Ecuador Planta Inga. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE

Samaniego C. (2013). Implementación de un sistema de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para la empresa Chova del Ecuador S.A Plantas Inga y Cashapamba. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE

Villacís S. (Febrero 2014). Propiedades mastico. (Meléndez M.J, entrevistadora)

White F. (2003). Mecánica de fluidos. México McGraw-Hill

#### **Referencias de internet:**

Agua Dulce.org. Sistemas de refrigeración industrial (s.f) Obtenido de: [http://www.aguadulce.org/htm/consejosdeahorro/indus\\_IIIrefrigindustri.html](http://www.aguadulce.org/htm/consejosdeahorro/indus_IIIrefrigindustri.html)

Aprendemos Tecnología. Sistema de poleas. Obtenido de: [emostecnologia.org/2008/08/28/sistema-simple-de-poleas-con-correa/](http://emostecnologia.org/2008/08/28/sistema-simple-de-poleas-con-correa/)

Dipac Productos de Acero (s.f). Catálogo de Productos. Obtenido de: [http://www.dipacmanta.com/images/pdf/descargas/catalogo\\_planchas.pdf](http://www.dipacmanta.com/images/pdf/descargas/catalogo_planchas.pdf)

Escalera Europea. (s.f). Escaleras industriales. Obtenido de: [http://www.escaleraeuropea.com/es/el-universo-de-la-escalera/normas-y-reglamentacion/escaleras-de-interior\\_216.html](http://www.escaleraeuropea.com/es/el-universo-de-la-escalera/normas-y-reglamentacion/escaleras-de-interior_216.html)

IMPTEK (2014). Fichas técnicas de productos. Obtenido de: <http://imptek.com/index.php/catalogos/impermeabilizacion/laminas-asfalticas/autoprotegidas>

IMPTEK. (2014). Marco institucional. Obtenido de: <http://imptek.com/index.php/quienes-somos>

MecanEso. (s.f). Cadenas y piñones. Obtenido de:  
[http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec\\_cadena-pinon.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_cadena-pinon.htm)

Mecanismo de transferencia de calor (s.f). Obtenido de:  
<http://old.dgeo.udec.cl/~juaninzunza/docencia/fisica/cap14.pdf>

Miliarium.com Ingeniería Civil y Medio Ambiente (s.f). Propiedades térmicas de materiales. Obtenido de:  
<http://www.miliarium.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp>

Motor Pasión. Sistema de Transmisión por cadenas. Obtenido de:  
<http://www.motorpasionmoto.com/tecnologia/transmisiones-por-cadena-correa-dentada-o-cardan-para-gustos-los-colores>

Oregon Manual de Mantenimiento y Seguridad (s.f). Mantenimiento de cadenas. Obtenido de:  
[http://www.oregonproducts.com/pdf/MaintenanceManual\\_A106972\\_Rev\\_AH\\_Spanish.pdf](http://www.oregonproducts.com/pdf/MaintenanceManual_A106972_Rev_AH_Spanish.pdf)

Sergio Arias Fernández (s.f). Tipos de convección. Obtenido de:  
<http://www.sergioariasfernandez.com/2014/05/conveccion-termica.html>

Solomantenimiento.com. (s.f). Mantenimiento del sistema de transmisión. Obtenido de:  
<http://www.solomantenimiento.com/articulos/mantenimiento-cadenas-transmision.htm>

SKF Y-bearings and Y-bearing units (2004). Selección de rodamientos. Obtenido de: <http://www.hht.tw/proimages/004/004-16.pdf>

WIKIPEDIA (s.f). Rodamiento rígido de bolas. Obtenido de:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Rodamiento#Rodamientos\\_de\\_rodillos\\_c.C](http://es.wikipedia.org/wiki/Rodamiento#Rodamientos_de_rodillos_c.C)

3. B3nicos

## **ANEXOS**