

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ELEVACIÓN DE UNA TEA PORTÁTIL PARA EL  
QUEMADO DE GASES DE POZOS PETROLEROS DE PRUEBA**

**HERMES PULIDO DUARTE**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2016**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ELEVACIÓN DE UNA TEA PORTÁTIL PARA EL  
QUEMADO DE GASES DE POZOS PETROLEROS DE PRUEBA**

**HERMES PULIDO DUARTE**

**Proyecto integral de grado para optar al título de  
INGENIERO MECÁNICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2016**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

\_\_\_\_\_  
**PRESIDENTE JURADO ING. JUAN FERNANDO ECHEVERRY**  
**(Orientador)**

\_\_\_\_\_  
**JURADO 1 ING. EDWIN RIVERA**

\_\_\_\_\_  
**JURADO 2 ING. GABRIEL RIVERA**

**Bogotá D.C., Noviembre 2016**

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad Y Rector del Claustro

**Dr. JAIME POSADA DÍAZ**

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

**Dr. LUÍS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA**

Vicerrectora Académica y de Postgrados

**Ing. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS**

Secretario General

**Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCÍA-PEÑA**

Decano Facultad de Ingenierías.

**Dr. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI**

Director Programa de Ingeniería Mecánica

**Ing. CARLOS MAURICIO VELOZA VILLAMIL**

**La Fundación Universidad de  
América, ni los jurados calificadores  
Se hacen responsables de las ideas  
y conceptos expuestos en el  
Presente documento.**

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	20
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	22
1.1 PERFORACIÓN EXPLORATORIA, POZOS EXPLORATORIOS	22
1.2 GAS FLARING	22
1.3 TEA O ANTORCHA ( <i>FLARE STACK</i> )	24
1.3.1 Sistema y componentes	24
1.3.2 Caracterización de las Teas	25
1.3.3 Tea elevada	25
1.3.4 Teas móviles elevadas ( <i>gas flare trailer</i> )	25
1.4 CORROSIÓN EN EQUIPOS PETROLEROS	27
1.5 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA SERVIMECOL	29
2. DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE ELEVACIÓN	30
2.1 PARÁMETROS DE DISEÑO	30
2.2 ASPECTOS FUNDAMENTALES EN EL ENFOQUE DE INGENIERÍA DE LA TEA	31
2.2.1 Dimensiones del tubo	31
2.2.2 Norma API 521	31
2.2.3 Aspectos estructurales	33
2.2.4 Disposición de espacio en la plataforma	33
2.2.5 Sistema De Elevación De La Tea	34
2.2.6 Tiempo De Montaje	34
2.2.7 Estabilidad Durante Su Funcionamiento	34
2.2.8 Apreciación de elementos implícitos en el sistema de elevación	35
3. ALTERNATIVAS DE DISEÑO	36
3.1 ALTERNATIVAS	37
3.2 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	40
3.2.1 Innovación	40
3.2.2 Interés de la Empresa	41
3.2.3 Experiencia	41
3.2.4 Fabricación	42
3.2.5 Costo de fabricación	43

3.2.6 Efectividad de Operación	43
3.2.7 Tiempo de montaje	44
3.2.8 Mantenibilidad	45
3.2.9 Repuestos	45
3.2.10 Personal	46
3.3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA	47
4. DISEÑO DEL PROYECTO	50
4.1 PARÁMETROS FUNCIONALES DE LA TEA PARA EL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO	50
4.2 DISEÑO FUNCIONAL	51
4.2.1 Disposición de elementos requeridos para el sistema de levantamiento	51
4.2.2 Extensiones laterales	52
4.2.3 Puntos de movimiento de la Tea	52
4.2.4 Cilindros Hidráulicos y apoyos	53
4.2.5 Sistema de Desplazamiento	55
4.3 DISEÑO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL DEL TRANSPORTE MÓVIL	55
4.3.1 Parámetros iniciales de carga y dimensión	55
4.3.2 Diseño y cálculo de estructura	63
4.3.3 Análisis del ducto de la Tea	63
4.3.4 Análisis en los pasadores de los apoyos	67
4.3.5 Dimensionamiento de los apoyos	70
4.3.6 Diseño de las vigas de apoyo del cilindro	74
4.3.7 Análisis de los pasadores en las bisagras	82
4.3.8 Uniones articuladas	85
4.4 DISEÑO SISTEMA RODANTE	87
4.5 SISTEMA DE RIENDAS Y ANCLAJE	97
4.5.1 Carga del viento	97
4.5.2 Diseño de sistema de riendas y anclado	99
4.5.3 Análisis de la rienda	102
4.5.4 Análisis de la estructura del apoyo de las riendas	104
4.6 ANÁLISIS DE UNIONES	109
4.6.1 Análisis de tornillos	109
4.6.2 Análisis de la soldadura	115
4.7 DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO	123
4.7.1 Cilindro hidráulico de levantamiento del ducto	124
4.7.2 Cilindro telescópico	129

4.7.3	Circuitos hidráulicos	135
4.7.4	Diseño de componentes del sistema hidráulico	139
4.7.5	Estructura cilindro telescópico	142
4.8	POTENCIA MOTRIZ	142
5.	ANÁLISIS Y SIMULACIÓN	145
6.	MANUALES	162
6.1	MANUAL DE MONTAJE	162
6.2	MANUAL DE OPERACIÓN	168
6.3	MANUAL DE MANTENIMIENTO	174
6.3.1	Objetivo	174
6.3.2	Generalidades	174
6.3.3	Mantenimiento preventivo	174
6.3.4	Inspección y detección de fallas	178
6.3.5	Mantenimiento Correctivo	178
6.4	MANUAL SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL	179
6.4.1	Identificación de Riesgos	179
6.4.2	Señalización de riesgos	180
6.4.3	Señalización de obligación y prohibición	184
6.4.4	Recomendaciones	184
7.	EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL	186
7.1	ASPECTOS VALORATIVOS AMBIENTALES	187
7.2	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	188
7.3	EVALUACIÓN MATRICIAL	191
8.	EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO	192
8.1	GENERALIDADES DE LA ACTIVIDAD EXPLORATORIA DE HIDROCARBUROS Y SU MERCADO	192
8.2	COSTO DE LOS MATERIALES DE FABRICACIÓN	194
8.3	COSTO MANO DE OBRA	196
8.4	COSTO DE LA INVESTIGACIÓN	197
8.5	COSTO TOTAL DE LA FABRICACIÓN	198
8.6	DEPRECIACIÓN DEL EQUIPO	198
8.7	COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	199
8.8	INGRESOS	201

8.9	EVALUACIÓN FLUJOS DE CAJA	202
9.	CONCLUSIONES	206
10.	RECOMENDACIONES	207
	BIBLIOGRAFÍA	208
	ANEXOS	209

## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Fórmula de peso	56
Ecuación 2. Carga total de la Tea	57
Ecuación 3. Cálculo de diámetro émbolo	60
Ecuación 4. Cálculo diámetro vástago	61
Ecuación 5. Esfuerzo máximo a la flexión	66
Ecuación 6. Momento de inercia de un cilindro	66
Ecuación 7. Esfuerzo cortante	69
Ecuación 8. Esfuerzo medio a compresión	70
Ecuación 9. Factor de seguridad	71
Ecuación 10. Esfuerzo admisible	73
Ecuación 11. Superposición en ángulo a flexión	77
Ecuación 12. Superposición de ángulo en viga	78
Ecuación 13. Esfuerzo normal en la sección	79
Ecuación 14. Esfuerzo cortante seccional	81
Ecuación 15. Angulo de Torsión	82
Ecuación 16. Resultantes en los apoyos	90
Ecuación 17. Momento de una viga hiperestática	90
Ecuación 18. Presión dinámica del viento	97
Ecuación 19. Fuerza del viento actuante	98
Ecuación 20. Función trigonométrica de tangente	103
Ecuación 21. Rigidez del tornillo	110
Ecuación 22. Rigidez del material base	111
Ecuación 23. Módulo de rigidez	111
Ecuación 24. Fuerza interna del tornillo	111
Ecuación 25. Factor de carga o seguridad	113
Ecuación 26. Carga resultante en el perno	113
Ecuación 27. Relaciones de fuerza de la soldadura por pulgada	115
Ecuación 28. Dimensión de soldadura, perfil circular	115
Ecuación 29. Soldadura a flexión perfil de cilindro	116
Ecuación 30. Longitud del lado de soldadura	117
Ecuación 31. Dimensiones de la soldadura, perfil en I	118
Ecuación 32. Soldadura a flexión, perfil en I	118

Ecuación 33. Dimensiones de la soldadura, perfil cuadrado	119
Ecuación 34. Soldadura a flexión, perfil cuadrado	120
Ecuación 35. Factor geométrico de un cilindro a torsión	123
Ecuación 36. Fuerza de pandeo	125
Ecuación 37. Velocidad de retroceso	127
Ecuación 38. Velocidad de avance	128
Ecuación 39. Fuerza de avance del cilindro	128
Ecuación 40. Fuerza de retroceso	128
Ecuación 41. Potencia del sistema hidráulico	129
Ecuación 42. Potencia del motor	129
Ecuación 43. Volumen del tanque de aceite	139
Ecuación 44. Calor irradiado	139
Ecuación 45. Diámetros de ductos	140
Ecuación 46. Perdidas en manguera	140
Ecuación 47. Número de Reynolds	141
Ecuación 48. Pérdida de presión	141
Ecuación 49. Calor generado.	142
Ecuación 50. Valor Presente Neto	203
Ecuación 51. Tasa Interna de Retorno	203

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Fallas En La Industria Petrolera	28
Tabla 2. Corrosión En La Industria Petrolera	28
Tabla 3. Evaluación de la alternativa 1	47
Tabla 4. Evaluación de la alternativa 2	48
Tabla 5. Evaluación de la alternativa 3	48
Tabla 6. Propiedades del ASTM A53 (STD 40)	56
Tabla 7. Tabla de diámetros normalizados relación vástago-émbolo	62
Tabla 8. Propiedades del perfil cuadrado 120X120x6	80
Tabla 9. Propiedades del perfil IPN 80	92
Tabla 10. Propiedades perfil cuadrado SHS 40x40x3	95
Tabla 11. Selección del coeficiente S4	98
Tabla 12. Propiedades de perfil rectangular RHS 80X60X5	109
Tabla 13. Propiedades tornillo DIN 6914	110
Tabla 14. Listado de componentes del sistema de cilindro 1	135
Tabla 15. Lista componentes del sistema cilindro 2	137
Tabla 16. Formato de inspección del equipo	178
Tabla 17. Componentes de los gases de la combustión en motores	.188
Tabla 18. Nivel de Intensidad	.189
Tabla 19. Nivel de periodicidad	190
Tabla 20. Nivel de reversibilidad	.190
Tabla 21. Nivel de Significancia	191
Tabla 22. Matriz impacto sistema de elevación de una tea	.191
Tabla 23. Ítems para la construcción	.194
Tabla 24. Costo de mano de obra por dispositivo	.196
Tabla 25. Tabla de costo de la investigación	.197
Tabla 26. Estimación del costo total de la fabricación	.198
Tabla 27. Costos de operación por mes	.200
Tabla 28. Costo de mantenimiento	.201
Tabla 29. Costos de una Tea fija	.202
Tabla 30. Flujo de fondos	.204
Tabla 31. Resultados	.204

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1. Visualización de una TEA quemando gases	.23
Ilustración 2. Esquema de un sistema de quemado de gases	.25
Ilustración 3. Visualización de una Tea portátil en operación	.26
Ilustración 4. Disposición de elementos de una Tea Móvil estándar	.27
Ilustración 5. Dimensiones del tubo de la Tea en milímetros	31
Ilustración 6. Diagrama de una tea por la norma API	.32
Ilustración 7. Dimensiones de la plataforma de la Tea en milímetros	. 34
Ilustración 8. Esquema de los soportes más comunes para teas	36
Ilustración 9. Sistema de levantamiento por medio de poleas y malacate	.37
Ilustración 10. Posición 2 de la alternativa 1	37
Ilustración 11. Posición 1 de la alternativa 2	38
Ilustración 12. Posición 2 de la alternativa 2	38
Ilustración 13. Posición 1 alternativa 3	.39
Ilustración 14. Sistema de desplazamiento del brazo rígido	39
Ilustración 15. Sistema de desplazamiento base de la Tea	40
Ilustración 16. Sección de la tea de 8 metros	.50
Ilustración 17. Sección de la tea de 10 metros	.51
Ilustración 18. Visualización de la Tea en posición de transporte.	51
Ilustración 19. Despliegue de extensiones.	52
Ilustración 20. Unión de la Tea	.52
Ilustración 21. Apoyo en el extremo de la Tea	53
Ilustración 22. Cilindro Hidráulico desplegado.	.53
Ilustración 23. Apoyo del Cilindro Hidráulico- vista inferior	54
Ilustración 24. Cilindro Telescópico Desplegado.	.54
Ilustración 25. Sistema de deslizamiento sobre la plataforma	55
Ilustración 26. Tráiler de carga	.56
Ilustración 27. Disposición del cilindro hidráulico principal	.57
Ilustración 28. Diagrama cilindro hidráulico posición inicial	.58
Ilustración 29. Distancia del punto de apoyo en la base al punto de apoyo en la Tea	.58
Ilustración 30. Diagrama de cargas, fuerza del cilindro y reacciones en el tubo	.59
Ilustración 31. Diagrama de posiciones del cilindro hidráulico y tea	60
Ilustración 32. Dimensiones para calcular el cilindro Hidráulico	.61
Ilustración 33. Dimensiones Cilindro hidráulico - detalle extremo de la camisa	.62

Ilustración 34. Cargas en el tubo de la Tea	.63
Ilustración 35. Corte seccional en tubo	.64
Ilustración 36. Diagrama de carga y reacciones en el tubo	.64
Ilustración 37. Diagrama fuerzas cortantes en el tubo (V)	.65
Ilustración 38. Diagrama de momento flector (M)	.66
Ilustración 39. Pasador en el apoyo que sostiene la tea	.67
Ilustración 40. Pasador en el apoyo en la viga extremo de la camisa	.68
Ilustración 41. Cargas en pasador base cilindro hidráulico	.68
Ilustración 42. Cargas en pasador del vástago	.69
Ilustración 43. Apoyo en la base del cilindro	.70
Ilustración 44. Carga a compresión en el apoyo	.70
Ilustración 45. Apoyo del cilindro hidráulico en la Viga	.72
Ilustración 46. Apoyo del cilindro hidráulico en el Tubo	.72
Ilustración 47. Dimensiones de la lámina de apoyo	.73
Ilustración 48. Visualización de vigas de apoyo del cilindro hidráulico.	.74
Ilustración 49. Vigas como soporte de carga del cilindro	.75
Ilustración 50. Fuerzas actuante en el apoyo y las dos vigas	.75
Ilustración 51. Fuerzas actuantes en la viga.	.76
Ilustración 52. Diagrama de Viga del apoyo del cilindro hidráulico plano X-Y	.76
Ilustración 53. Diagrama de reacciones en la Viga del apoyo	.77
Ilustración 54. Diagrama de fuerzas cortante en la viga	.79
Ilustración 55. Diagrama de momento flector en la viga	.79
Ilustración 56. Diagrama Viga carga a torsión Plano Y-Z	.81
Ilustración 57. Pasador en acople de uniones (bisagras) de los segmentos de la Tea	.83
Ilustración 58. Diagrama de fuerzas en las bisagras	.84
Ilustración 59. Pasador en bisagra	.85
Ilustración 60. Uniones de acople (bisagras)	.86
Ilustración 61. Dimensionamiento de la unión de acople	.87
Ilustración 62. Diagrama sistema rodante	.88
Ilustración 63. Vista transversal del perfil de rieles tipo llantón	.88
Ilustración 64. Estructura sistema deslizante	.89
Ilustración 65. Cargas en viga de sistema rodante	.90
Ilustración 66. Sección de corte viga 2	.90
Ilustración 67. Diagrama de fuerza cortante en viga sistema rodante	.91
Ilustración 68. Diagrama de Momento flector máximo en viga sist. Rodante	.91
Ilustración 69. Viga transversal – sistema rodante	.93
Ilustración 70. Disposición de cargas y reacciones en viga transversal	.93

Ilustración 71. Diagrama de fuerza cortante en viga transversal	94
Ilustración 72. Diagrama de momentos flector en la viga transversal	.94
Ilustración 73. Diámetro eje de rodadura	.95
Ilustración 74. Dimensiones apoyos de rodaduras	.96
Ilustración 75. Visualización del viento contra un cilindro	99
Ilustración 76. Esfuerzos en una torre cilíndrica	. 100
Ilustración 77. Configuraciones de riendas	.101
Ilustración 78. Distancia del apoyo de la rienda	.101
Ilustración 79. Cargas y reacciones en el tubo y la rienda	.102
Ilustración 80. Diagrama de disposición de la estructura en la plataforma	104
Ilustración 81. Esquema de cargas y reacciones para un apoyo	.105
Ilustración 82. Esquema de la estructura del apoyo	.106
Ilustración 83. Corte seccional en armadura	107
Ilustración 84. Corte seccional en armadura 2	108
Ilustración 85. Carga expuesta en el tubo de 8 metros	.112
Ilustración 86. Esquema de esfuerzo en la base por el viento	.114
Ilustración 87. Viga perfil en I apoyo cilindro hidráulico.	.117
Ilustración 88. Viga SHS40x40 – viga sistema rodante	.119
Ilustración 89. Uniones de acople – bisagras.	.121
Ilustración 90. Diagrama del cuerpo de la bisagra	122
Ilustración 91. Vista frontal bisagra	.122
Ilustración 92. Sentido de accionamiento de los cilindros hidráulicos	.124
Ilustración 93. Posición crítica del sistema	.125
Ilustración 94. Grafica de Pandeo	126
Ilustración 95. Esquema funcional de un cilindro telescópico	130
Ilustración 96. Cilindro Telescópico	.131
Ilustración 97. Instante de accionamiento del cilindro Telescópico	.131
Ilustración 98. Diagrama de circuito hidráulico cilindro 1	135
Ilustración 99. Accionamiento del cilindro hidráulico	.136
Ilustración 100. Diagrama de estado del sistema hidráulico 1	137
Ilustración 101. Diagrama circuito hidráulico cilindro telescópico	138
Ilustración 102. Diagrama de estado sistema - cilindro 2	.138
Ilustración 103. Tipos de montajes más comunes de toma de fuerza	.144
Ilustración 104. Carga por gravedad dada por el material y dimensiones del elemento	.145
Ilustración 105. Simulación Von Mises del tubo de la Tea	.146
Ilustración 106. Simulación de desplazamiento en el tubo de la Tea	.146

Ilustración 107. Condiciones iniciales en la lámina del apoyo de la tea para la simulación.	.147
Ilustración 108. Simulación Von Mises de la lámina del apoyo de la Tea	.147
Ilustración 109. Simulación de desplazamiento en el apoyo de la Tea	.148
Ilustración 110. Condiciones iniciales en el apoyo del cilindro hidráulico	.148
Ilustración 111. Simulación Von Mises en el apoyo del cilindro hidráulico	.149
Ilustración 112. Simulación de desplazamiento en el apoyo del cilindro hidráulico	149
Ilustración 113. Condiciones iniciales Viga apoyo cilindro hidráulico	.150
Ilustración 114. Simulación Von Mises viga de apoyo de cilindro hidráulico	.150
Ilustración 115. Simulación de desplazamiento Viga del apoyo del cilindro hidráulico	151
Ilustración 116. Condiciones iniciales de unión tipo bisagra de la Tea	151
Ilustración 117. Simulación Von Mises de unión tipo bisagra de la Tea	152
Ilustración 118. Simulación de desplazamiento de unión tipo bisagra de la Tea	.152
Ilustración 119. Condiciones Iniciales estructura de apoyo y anclaje de riendas.	.153
Ilustración 120. Simulación Von Mises de la estructura de apoyo y anclaje de riendas	.153
Ilustración 121. Simulación de desplazamiento de la estructura de apoyo y anclaje de riendas	.154
Ilustración 122. Condiciones Iniciales viga transversal sistema rodante	.154
Ilustración 123. Simulación Von Mises Viga transversal sistema rodante	155
Ilustración 124. Simulación de desplazamiento de Viga transversal sistema rodante	.155
Ilustración 125. Condiciones iniciales Viga Principal Sistema rodante	156
Ilustración 126. Simulación Von Mises Viga Principal Sistema rodante	.156
Ilustración 127. Simulación de desplazamiento en Viga Principal del Sistema rodante	.157
Ilustración 128. Condiciones iniciales de la estructura del cilindro telescópico	.157
Ilustración 129. Simulación Von Mises de la estructura cilindro telescópico	.158
Ilustración 130. Simulación de desplazamiento de la estructura del cilindro telescópico	.158
Ilustración 131. Condiciones iniciales del sistema rodante	159
Ilustración 132. Simulación Von Mises del Sistema Rodante	159
Ilustración 133. Simulación de desplazamiento del sistema rodante	.160
Ilustración 134. Condiciones Iniciales Riel	160
Ilustración 135. Simulación Von Mises del riel	161
Ilustración 136. Simulación de desplazamiento del riel	.161

Ilustración 137. Sujeción de láminas a superficie de tráiler	163
Ilustración 138. Riel del sistema de deslizamiento (1), soporte del cilindro telescópico (2).	163
Ilustración 139. Sistema de desplazamiento vista inferior	.164
Ilustración 140. Estructura sistema de desplazamiento	164
Ilustración 141. a.) Rodadura para puente grúa y rueda para riel, b.) Láminas exteriores del conjunto, y c.) Sección de acople del tubo de la Tea.	.165
Ilustración 142. a.) Lugar de acople de la Tea, b.) Lugar de acople cilindro Telescópico	.165
Ilustración 143. Sujeción de vigas a la estructura del tráiler	.166
Ilustración 144. Acoplamiento sistema de deslizamiento y cilindro telescópico	.166
Ilustración 145. Ensamble de extensiones	.167
Ilustración 146. Ensamble de la Tea	167
Ilustración 147. a.) Mandos hidráulicos (1. Mando cilindro de levantamiento, 2. Mando Cilindro telescópico) y b.) Panel de control de la Tea	168
Ilustración 148. Sistema de elevación compacto, 1.) Extensiones 2.) Patas hidráulicas	.169
Ilustración 149. Despliegue de extensiones	169
Ilustración 150. Despliegue de la Tea	170
Ilustración 151. Ajuste de la Tea 1.) Aseguramiento con Pernos, 2.) Acoples línea de gas y eléctrica	170
Ilustración 152. Instalación de riendas	171
Ilustración 153. Accionamiento cilindro hidráulico.	.171
Ilustración 154. Elevación de la Tea a 44°	172
Ilustración 155. Posición de la Tea a 90° grados	172
Ilustración 156. Ajuste de las riendas en los extremos de las extensiones	.173
Ilustración 157. Ajustes y conexiones finales	.173
Ilustración 158. Ajustes y conexiones finales	.181
Ilustración 159. Señalización al interior del camión	.182
Ilustración 160. Señalización de riesgo mecánico	.183
Ilustración 161. Señalización de elevación de Carga	.183
Ilustración 162. Señalización de Gas inflamable	.183
Ilustración 163. Señalización de implementos obligatorios para el uso del equipo	.184
Ilustración 164. Señalización de prohibiciones.	.184
Ilustración 165. Identificación de material de riesgo.	.185

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A: Tubería de acero al carbono API 5L / ASTM A53 / A106	210
Anexo B: Bridas de acero al carbón forjado, CLASE 150	212
Anexo C :Cilindro hidráulico ALPESA CRM1	214
Anexo D: Acero AISI-SAE 1045 (UNS G10450)	216
Anexo E: Perfiles estructurales	217
Anexo F: Rueda para riel DIN 15049	221
Anexo G: Rodaduras para puente grúa	222
Anexo H: Coeficiente de fuerza C1	223
Anexo I: Cables para rienda	224
Anexo J: Tornillo 6914 Calidad 10.9 Zincado	226
Anexo K: Factores geométricos para el análisis de soldadura	227
Anexo L: Bomba hidráulica	228
Anexo M: Cilindro telescópico	231
Anexo N: Toma de fuerza	234

## RESUMEN

Durante el proceso de este proyecto se procedió a evaluar alternativas para el sistema de elevación del ducto de una Tea o conocida también como antorcha de quema de gases, teniendo como punto de partida el diseño conceptual del sistema estructural de un tráiler de carga que fue proporcionado por la empresa SERVIMECOL donde se determinó como mejor opción un sistema hidráulico para el levantamiento del ducto de la tea y el posicionamiento y centrado de la misma en la plataforma del tráiler de carga. El diseño se realizó de manera detallada determinando y dimensionando los puntos críticos del sistema para lograr un óptimo funcionamiento y posterior a esto, se realizó un análisis por medio del software de Autodesk inventor realizando una modelación y simulación de los elementos más críticos del sistemas, cuyos elementos fueron calculados anteriormente manualmente y se corroboraron los resultados para que cumpliera con los requerimientos de una Tea convencional. En el documento se detalló los manuales de fabricación, operación y mantenimiento que contribuyen a la consolidación del diseño y detallan los procedimientos que se deben realizar en el caso de que se realice su fabricación. Y finalmente se realizó un análisis financiero que respalda el éxito de este proyecto y su viabilidad para construirse reflejando un gran beneficio frente al costo que puede incurrir el presente proyecto.

Palabras clave: Diseño de Tea, dispositivo móvil, Tea móvil, pozos exploratorios, gas flaring, flare stack, quema de gases, sistemas de ignición, antorcha de venteo.

## INTRODUCCIÓN

La *Actividad Exploratoria* para el hallazgo de nuevos yacimientos de Hidrocarburos es un vector económico para el país, un gran porcentaje de las empresas colombianas y multinacionales extranjeras están relacionadas con la actividad del petróleo y sus derivados, directamente o de forma indirecta, tienen participación las empresas involucrándose en la exploración, perforación, explotación, refinación y comercialización de hidrocarburos, ya sea con participación directa en la operación o siendo proveedor de algún tipo de producto o servicio.

La *Actividad Exploratoria* es una etapa fundamental dentro la producción de hidrocarburos, comprende una coordinación de labores geológicas y prospecciones geofísicas, que después las empresas petroleras se encargan de evaluar los posibles hallazgos de pozos productivos y mediante distintas pruebas se determina el potencial de un pozo. Estas pruebas que se utilizan en la evaluación de un pozo, requieren ciertos equipos y máquinas para realizar estas actividades, dentro de los equipos más importantes y fundamentales están las antorchas de venteo, quemadores de gases o también llamadas Teas (*flare stack*), que permiten el alivio de gases de un yacimiento incinerando estas acumulaciones de gases durante las pruebas de evaluación y análisis de un pozo, evitando así concentraciones de gas no deseadas que podrían generar una explosión o un incendio, también se utilizan las teas para el análisis del flujo de gas natural en un yacimiento para evaluar su productividad.

Las antorchas de venteo o Teas abarcan una problemática general en cuanto a la complejidad de su fabricación e instalación, ya que esto requiere el transporte de diferentes partes y secciones tanto del dispositivo de incineración (Tea), así como los elementos estructurales que soportan la tea y andamios o edificaciones para el trabajo del personal durante su montaje, y todo ello incurre en más costos, uso de personal y tiempo para el montaje de los dispositivos, por consiguiente en los aspectos mencionados son las principales dificultades que se presentan en el transporte e instalación de Teas convencionales, las cuales se desea mejorar en este proyecto diseñando un sistema de levantamiento e izamiento móvil de transporte para teas aptas para pozos de baja presión.

Este proyecto fue iniciado mediante la propuesta del objetivo general el cual fue: Diseñar un sistema de elevación de una Tea portátil para el quemado de gases de pozos petroleros en análisis y prueba. Y a partir de este se propusieron los siguientes objetivos específicos:

- Establecer los parámetros normativos, fundamentos básicos y requerimientos funcionales necesarios para el quemado de gases.

- Desarrollar el diseño detallado del sistema de transporte portátil de la tea realizando cálculos y seleccionando sistemas, subsistemas y partes.
- Desarrollar el diseño detallado del sistema hidráulico y mecanismos de levantamiento y posición de la tea realizando cálculos y seleccionando sistemas, subsistemas y partes.
- Realizar análisis estructural por el método de elementos finitos de los subsistemas y componentes que soportan la tea.
- Elaborar planos detallados de los componentes del diseño.
- Elaborar manuales de montaje e instalación, operación, mantenimiento y de seguridad y salud ocupacional.
- Evaluar el impacto ambiental generado por el proyecto.
- Evaluar financieramente el proyecto.

En síntesis este proyecto al facilitar los procedimientos de *gas flaring* (proceso de incineración de gases) y pruebas de determinación de explotación en la reducción de tiempos y costos, aumentará las probabilidades de mejorar las prospecciones de reservas de petróleo y gas natural y a la vez que sean mayores a las actuales por lo tanto se podrán estimar más años de producción prósperos con respecto a la demanda interna y el mercado mundial. Como límite de este proyecto se establecerá hasta el diseño y análisis mediante la modelación y simulación de sus elementos críticos a través de un software de elementos finitos, además se evaluarán aspectos ambientales y financieros que establecerán la viabilidad del proyecto.

## 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

La exploración de hidrocarburos es básicamente una labor meramente geológica por medio de métodos de prospección geofísicos donde se puede obtener mapas y diagramas de superficie y subsuelo por parte de geólogos, esta información dada se interpreta con el fin de determinar la configuración del subsuelo y la composición de este, esta interpretación puede proveer datos fundamentales que propicien a la formación de ambientes para acumulación de petróleo o gas natural. La exploración también tiene una serie de operaciones que de manera coordinada entre la ingeniería y la geología se llega a un objetivo “la exploración son todas aquellas operaciones y métodos que se emplean en el campo con el objetivo único de buscar petróleo o estructuras favorables para su acumulación, constituyen la primera y una de las principales etapas en la industria del petróleo”.<sup>1</sup> Después de realizar un estudio de las formaciones geológicas por los distintos métodos de exploración de hidrocarburos se realiza una perforación para determinar el potencial de explotación del pozo y su posible comercialización.

### 1.1 PERFORACIÓN EXPLORATORIA, POZOS EXPLORATORIOS.

La perforación exploratoria es una etapa fundamental en el hallazgo de hidrocarburos, ya que la perforación es la única manera de confirmar la existencia de un yacimiento de hidrocarburos ya sea petróleo o gas natural, al primer pozo que se perfora en un área geológicamente inexplorada se le denomina “pozo exploratorio” y para el lenguaje industrial petrolero se les denomina “pozos A-3”, para el territorio nacional la perforación que se le realiza a un pozo exploratorio puede llegar a una profundidad de 7000 metros y un mínimo de profundidad de 800 metros, esto varía dependiendo de las estructuras geológicas halladas, el tipo de terreno, región, etc.

Los pozos exploratorios representan una etapa de riesgo durante la búsqueda de un yacimiento comercial que tenga el potencial petrolífero para ser explotado, en gran parte los pozos exploratorios no son explotados y tanto la perforación exploratoria como sus análisis de pozo requieren una gran inversión de capital.

### 1.2 GAS FLARING

*Gas Flaring* es la quema controlada del gas natural y sus componentes en el curso de la rutina de las operaciones de pruebas a pozos de hidrocarburos, esta quema es realizada en el tramo final de la Teja o llamada *flare stack* en el lenguaje comercial del inglés. Mediante el quemado de gas se evalúa de la manera más eficaz sus capacidades de producción (*well testing*) y se procede a la determinación de la viabilidad económica del pozo, ya sea de gas o crudo y con

---

<sup>1</sup> PÁRAMO CARRILLO, Jesús. Generalidades sobre petróleos: Exploración en busca de petróleo, 1974.

base en ello se determina las zonas donde los gasoductos y oleoductos son más necesarios para comenzar a transportar el gas o el crudo al mercado.

La liberación de gases por medio del proceso *Gas Flaring* (quema de gases por medio de una antorcha industrial) es una práctica necesaria y esencial también en la producción de petróleo y gas natural, la quema controlada de gases provenientes de los pozos en exploración y explotación, es una rutina muy asociada a las operaciones de producción de petróleo y gas, donde uno de los propósitos fundamentales de este proceso es por razones de seguridad, de manera alterna se realiza un proceso llamado *Venting* que consiste en la liberación de gases directamente a la atmósfera sin quemarlos. Este proceso alternativo a la quema de gases consiste en una liberación controlada de los gases en el curso de las operaciones de exploración de petróleo y gas, estos gases pueden ser de gas natural u otros vapores de hidrocarburos, vapor de agua, y otros gases, tales como el dióxido de carbono, separados en el procesamiento de petróleo o gas natural; en algunos casos, el proceso *Venting* es la mejor solución para la eliminación del gas asociado. Por ejemplo, en algunos casos está presente en el gas asociado una alta concentración de gas inerte, Sin contenido suficientemente elevado de hidrocarburos, el gas no se quema y el *Flaring* no es una opción viable, a veces la fuente de gas inerte puede provenir de los sistemas de proceso. La depuración de los sistemas de proceso con gas inerte puede ser, en sí mismo, justificar la liberación de gases como el método más seguro de evacuación.

Ilustración 1. Visualización de una TEA quemando gases



Fuente: Adam Cohn, <en línea>, [www.treehugger.com](http://www.treehugger.com)

La disposición de una antorcha (TEA) o un respiradero (VENT), puede asegurar que el gas natural que se está procesando pueda ser desechado de forma segura en caso de emergencia y/o detención de la operación. Cuando el gas no puede ser almacenado y usado comercialmente, el riesgo de incendio y explosión debe ser reducido por la TEA quemando los gases o por venteo liberándolos a la atmósfera (*Venting*).

Uno de los intereses más grandes de las empresas petroleras es reducir estas cantidades de gas quemado para así obtener una mayor cantidad de hidrocarburos producidos. Una gran variedad de mecanismos pueden ser potencialmente utilizados para minimizar el proceso *Flaring*, sin embargo, este no puede ser técnica y económicamente viable por diferentes razones que se presentan con respecto a la geografía donde está localizada el pozo, disponibilidad de clientes, mercado y las políticas energéticas del gobierno etc.

La llama de la Tea es normalmente visible a causa de los componentes quemados y genera gran cantidad de ruido y calor, durante la quema el gas incinerado genera fundamentalmente vapor de agua y dióxido de carbono. La eficiencia de la llama depende de la consecución de una buena mezcla entre el gas combustible y el aire, y la ausencia de líquidos.

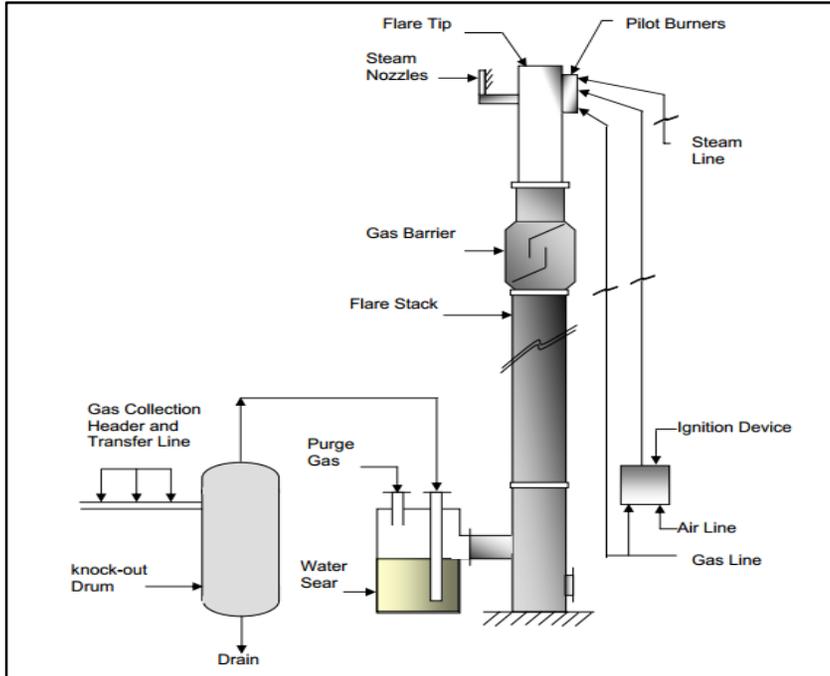
### 1.3 TEA O ANTORCHA ( *FLARE STACK* )

Las antorchas o más conocidas en el medio petrolero como Teas o *flare's stack's* son dispositivos necesarios en las distintas operaciones que se realizan en un campo petrolero, es absolutamente necesaria la disposición de una Tea o un respiradero ya que se asegura la eliminación segura de las cantidades de gases de hidrocarburos en la instalación en una posible situación de emergencia o de parada, cuando el gas no puede ser almacenado o usado comercialmente, la disposición de una Tea para incinerar aquellos gases resulta la opción más factible. las teas generalmente son parte de un sistema de purga de gases que está ligado a un esquema general de funcionamiento de la planta, es decir que la quema de gases que se realiza en una planta de procesamiento de algún producto es la labor de todo el sistema de quema de gases que está compuesto por diferentes tipos de dispositivos de seguridad, reguladores de flujo, y removedores de partículas que permiten una mejor quema del gas, y la tea se refiere solo a la estructura final que conduce el gas hacia el quemador, en otras palabras el ducto final de la quema de gases.

1.3.1 Sistema y componentes. Independientemente de la finalidad del uso de la Tea para el óptimo funcionamiento de esta, deben existir algunos equipos que ayudan a mejorar tanto el funcionamiento y la eficiencia en la quema de gases como en la realización de una quema segura, la mayoría de estos equipos están presentes en las operaciones de perforación y producción, donde se asegura con estos equipos una quema eficiente bajo la normatividad establecida y con la seguridad requerida para la operación.

Para el caso de las Teas portátiles se evidenciará que este tipo de dispositivos se limitan solo al transporte de la Tea (*Flare Stack*), y los equipos de regulación del gas de quema se encontrarán en el lugar de la operación de la tea portátil y la versatilidad del diseño permitirá una rápida instalación al resto de equipos situados en el campo.

Ilustración 2. Esquema de un sistema de quemado de gases



Fuente: KLM TECHNOLOGY GROUP. Flare Selection And Sizing.  
<<http://kolmetz.com>>

1.3.2 Caracterización de las Teas. Las Teas independientemente del propósito de su diseño y la industria que la requiera, se clasifican en cuatro tipos básicos offshore, onshore a nivel de piso, elevadas y tea cerrada de quemador interno, los cuales varían de acuerdo a las condiciones técnicas y requerimientos del gas que se va a quemar.

1.3.3 Tea elevada. Este tipo de sistemas de quema de gases son los más ampliamente utilizado en la industria del petróleo y en las plantas químicas gracias a su capacidad para manejar mayores cargas. El sistema de la antorcha elevada consiste en la recogida del gas residual y condensado de toda la planta para así llevar todo el acumulado a una altura recomendable e incinerar este gas. Los gases que se van a incinerar se envían a una antorcha vertical de la altura de la pila que puede variar desde 30 hasta 320 pies. La elevación adecuada de la boquilla de la antorcha puede asegurar la dispersión adecuada y segura de los gases tóxicos resultantes de la combustión. Los gases son finalmente quemados en la boquilla de la Tea elevada situada en la parte superior de la chimenea de la antorcha de gas.

1.3.4 Teas móviles elevadas (*gas flare trailer*). Los sistemas de Tea portátiles son conjuntos mecánicos fabricados con el fin de reducir la complejidad en el montaje y uso de una tea para verificaciones mínimas de pozos petroleros con excesos de

gases, o también utilizados para hacer pruebas de productividad de gas natural, ante el riesgo de que el pozo no cumpla con los mínimos estándares de prospección en productividad, la opción de utilizar una tea móvil se convierte en una opción muy recomendable para la reducción de costos y tiempo en el proceso de exploración de pozos productivos. La fabricación de Teas portátiles son limitadas en Colombia, este es un producto muy común en países como Estados Unidos y Canadá, sin embargo estos fabricantes se limitan a construir antorchas de bajo flujo de gas con diámetros del tubo no superiores a 6 pulgadas y longitudes no mayores a 30 pies, lo cual representa un inconveniente para empresas grandes que requieran hacer pruebas en pozos de alto flujo. La composición de una tea portátil se asemeja en la disposición de sus componentes, estas máquinas usualmente se componen de un sistema mecánico de elevamiento, una estructura que soporte el peso del tubo de la tea, y un sistema eléctrico y de ignición.

Ilustración 3. Visualización de una Tea portátil en operación.



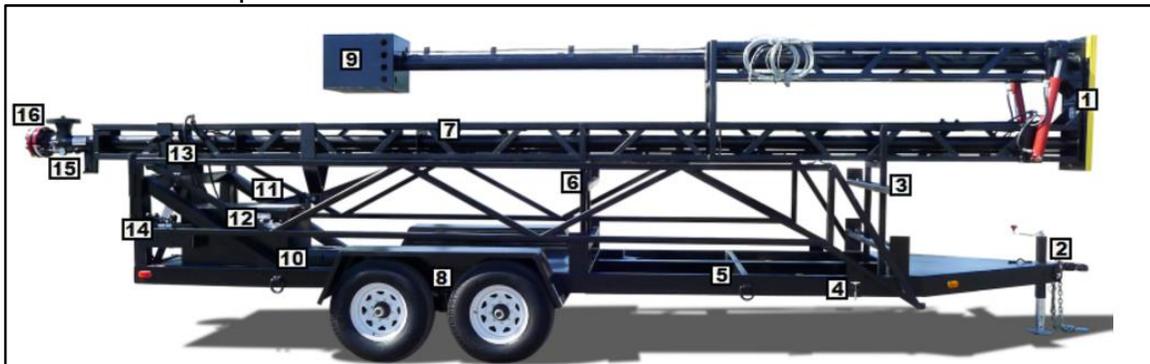
Fuente: MOUNTAIN EQUIPMENT. Flare stacks.  
<http://www.mtnequip.com/flare-stacks/gallery.html>

Dependiendo del criterio del fabricante o de los requerimientos del cliente las Teas portátiles se pueden diseñar con el sistema de energía eléctrica ligado al transporte del tráiler, que podría ser una tracto-mula, o se podría adaptar un sistema alternativo de energía como lo sería una planta eléctrica con accionamiento por motor de combustión o un panel solar. Los dispositivos alternos se seleccionan de acuerdo al tipo de sistema mecánico que se requiera para el izamiento de la estructura, en cuanto a los componentes de la Tea varían de acuerdo del tamaño

de la tea o por consiguiente relacionado al flujo de gas que se va a quemar, por ello el número de pilotos de ignición y los cilindros de gas de asistencia en la quema pueden cambiar su configuración.

La disposición de sus elementos se asemeja mucho con respecto a la de otros fabricantes, como se observa en la figura 6. La mayoría de fabricantes se acoplan a la idea de transportar la Tea horizontalmente adaptando este elemento a una camabaja y usando generalmente sistemas hidráulicos para su levantamiento o en otros casos sistemas de poleas y malacates.

Ilustración 4. Disposición de elementos de una Tea Móvil estándar



Fuente: FLARE STACKS {<http://mtnequip.com/flare-stacks/> }

Los elementos que se muestran en la figura 6: 1. Protector para el transporte, 2. Aseguramiento al terreno, 3. Soporte horizontal, 4. Estabilizador hidráulico (patas), 5. Canastas de accesorios, 6. Extensiones de anclaje, 7. Tubo de la Tea, 8. Ejes de alta carga, 9. Quemador, 10. Kit eléctrico, 11. Cilindro hidráulico, 12. Panel de ignición, 13. Panel solar, 14. Mandos hidráulicos, 15. Entrada de gas asistente para incineración, 16. Entrada de la Tea

#### 1.4 CORROSIÓN EN EQUIPOS PETROLEROS

Otro punto que se debe considerar en el diseño y fabricación de una unidad móvil es el entorno en que se va a desempeñar el equipo, siendo la industria petrolera un sector crítico debido a la gran presencia de corrosión en la maquinaria, los mecanismos de prevención y mitigación de este fenómeno deben ser una prioridad.

Para una Tea que está en constante presencia de agentes corrosivos como lo son el dióxido de carbono y el sulfuro de carbono es esencial realizar una gestión para mitigar esta falla. Mediante el uso de mecanismos preventivos de mantenimiento, e incluso desde el diseño de cada dispositivo se puede mitigar sus efectos.

Tabla 1. Fallas En La Industria Petrolera

<b>Tipos de Fallas</b>	<b>%</b>
Corrosión	33
Fatiga	18
Daño mecánico	14
Fractura frágil	9
Defecto de fabricación	9
Defectos de soldadura	7
Otros	10

Fuente: M.B. Kermany and D. Harrop. BP International; (1995)

Para el proyecto, el cual se compone de un sistema de elevación de la tea, está expuesto a agentes corrosivos provenientes del proceso *gas flaring* en donde el gas de quema está compuesto en gran parte por hidrocarburos y agentes corrosivos como el dióxido de carbono y ácido sulfúrico que perjudican principalmente elementos estructurales de la plataforma, rodaduras del sistema, el vástago de los cilindros hidráulicos y las diferentes uniones del sistema. Aunque la corrosión está dada básicamente por un ambiente agresivo y la presencia de un material con diferentes estructuras químicas y potencial alto de los elementos químicos del entorno al material base a consecuencia de un ataque electrolítico, también la corrosión se genera por otras causas:

Tabla 2. Corrosión En La Industria Petrolera

<b>Tipos de Fallas</b>	<b>%</b>
Por co2	28
Por h2s	18
En soldadura	18
Pitting	12
Corrosión erosión	9
Galvánica	6
Crevice	3
Impacto	3
Stress corrosion	3

Fuente: M.B. Kermany and D. Harrop. BP International; (1995)

El Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) son las causas de fallas corrosivas más importantes y contra las cuales es necesario actuar utilizando

revestimientos que deben entonces resistir a esas especies, a la temperatura, presión y también guardar resistencia a la abrasión y al impacto que en una medida u otra están involucrados en la utilización de tuberías y equipos. En la Tabla 2 se destacan como tipos de fallas la presencia de Dióxido de carbono y ácido sulfúrico como los principales causantes de la corrosión y de hecho es así, pero otras causas que también relacionan a las dos anteriores son los tratamientos térmicos y procesos de fabricación que ha sufrido el material para su operación, entre otras, las fallas que están relacionadas con el desgaste y causas mecánicas que son propiamente de la naturaleza del metal y de la degradación propia del material.

## 1.5 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA SERVIMECOL

SERVIMECOL LTDA es una empresa colombiana con 20 años de experiencia en el diseño, ingeniería y fabricación de productos metal mecánicos para sectores varios como el de las telecomunicaciones, hidrocarburos, construcción, transporte, minería, acerías, plantas azucareras, y otros.

La moderna infraestructura tecnológica de la empresa y el talento humano, permite diseñar y fabricar productos de excelente calidad. La empresa tiene como misión convertirse en aliados estratégicos para las organizaciones empresariales del país más importantes, y para ello pone a disposición las líneas de productos y servicios que son de gran interés para los diferentes sectores que se manejan. En la elaboración de los productos cuentan con aspectos importantes como la permanente innovación de recursos técnicos, es por eso que cuentan con sofisticados programas de diseño y maquinaria, vanguardista, que les permite competir en el mercado nacional e internacional

Historia. La empresa fue fundada en diciembre de 1992, en una bodega de 300 m<sup>2</sup>, y en la actualidad se dispone de un área de 19.000 m<sup>2</sup> en el municipio de Mosquera. En el año 2009 Servimecol recibe premio INNOVA por primer puesto en la modalidad de diseño otorgado por el Ministerio De Industria Y Comercio, en marzo del 2012 se certifica el proceso de gestión de calidad ISO 9001:2008.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> SERVIMECOL. Quienes somos-nosotros. {En línea}. Disponible en: <http://www.servimecol.com/index.html>

## 2. DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE ELEVACIÓN

Son varios aspectos que se deben detallar en esta parte de la conceptualización del sistema de elevación de una tea, donde este diseño implica varios componentes vistos desde consideraciones y requisitos técnicos que componen la estructura de la plataforma, los componentes de las riendas e izamiento, necesarios para realizar un proceso aceptable de gas *Flaring*, e incluso se debe hacer una revisión por los aspectos mecánicos que se requieren en la estática de los elementos más sencillos de la plataforma y los sistemas de levantamiento. Todos los lineamientos específicos del diseño van encaminados a la seguridad del proceso.

La maquinaria diseñada para el levantamiento de maquinaria es muy común actualmente, generalmente usados en sectores donde la operación es a campo abierto y los puntos de trabajo no son fijos como el sector petrolero y de construcción, estos requieren diseños robustos, efectivos y que también pueda realizar un trabajo versátil.

### 2.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

Las pautas que se deben tomar en cuenta para comenzar a estimar un diseño van enfocadas a los equipos, partes y subsistemas que componen la maquinaria necesaria para el levantamiento del gasoducto, algunos de los parámetros más destacados que se tomarán en cuenta son:

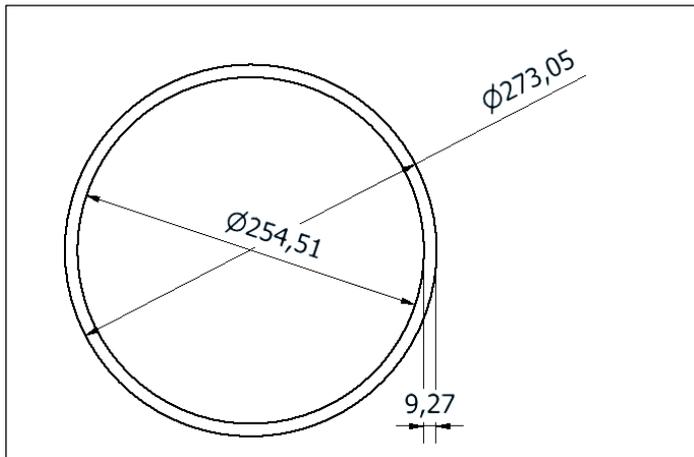
- Un sistema de levantamiento del tubo de la tea por medio de algún mecanismo que será seleccionado en el capítulo de evaluación de alternativas.
- Estimación de la masa total de la antorcha para determinar la robustez del diseño.
- Un sistema de posicionamiento a través de la plataforma que permita el izaje de la tea hacia el centro de la plataforma.
- Un sistema estructural, donde se seleccionen los perfiles ideales para soportar la carga del peso de la tea.
- Un sistema de anclaje por medio de riendas sujetadas desde la base de la plataforma o el terreno hasta una parte alta de la tea.
- Selección de materiales usados en el diseño, tratamientos térmicos, recubrimientos y adaptaciones para el sector petrolero

- Un sistema eléctrico y/o motriz que esté adecuado para la activación del sistema de elevación de la tea y del sistema de ignición de gases.

## 2.2 ASPECTOS FUNDAMENTALES EN EL ENFOQUE DE INGENIERÍA DE LA TEA

2.2.1 Dimensiones del tubo. De acuerdo a los requerimientos de diseño solicitados por el cliente las dimensiones del tubo que conduce el flujo de gas a través de la tea, debe tener las siguientes especificaciones; conforme a la norma API se determina que la longitud del tubo apropiada para incinerar los gases es de 60 Pies (18.288 metros) para un diámetro nominal de 10 Pulgadas. En cumplimiento con la normatividad de transporte la cual no debe exceder los 12 m de longitud el diseño deberá acoplarse a dos secciones, una de 8 metros y otra de 10 metros. En seguimiento con la norma API 5L se determina composición exacta del acero tipo SCHEDULE 40 y las dimensiones de espesor, diámetro exterior y diámetro interior tal como se muestra en la ilustración que está a continuación.

Ilustración 5. Dimensiones del tubo de la Tea en milímetros

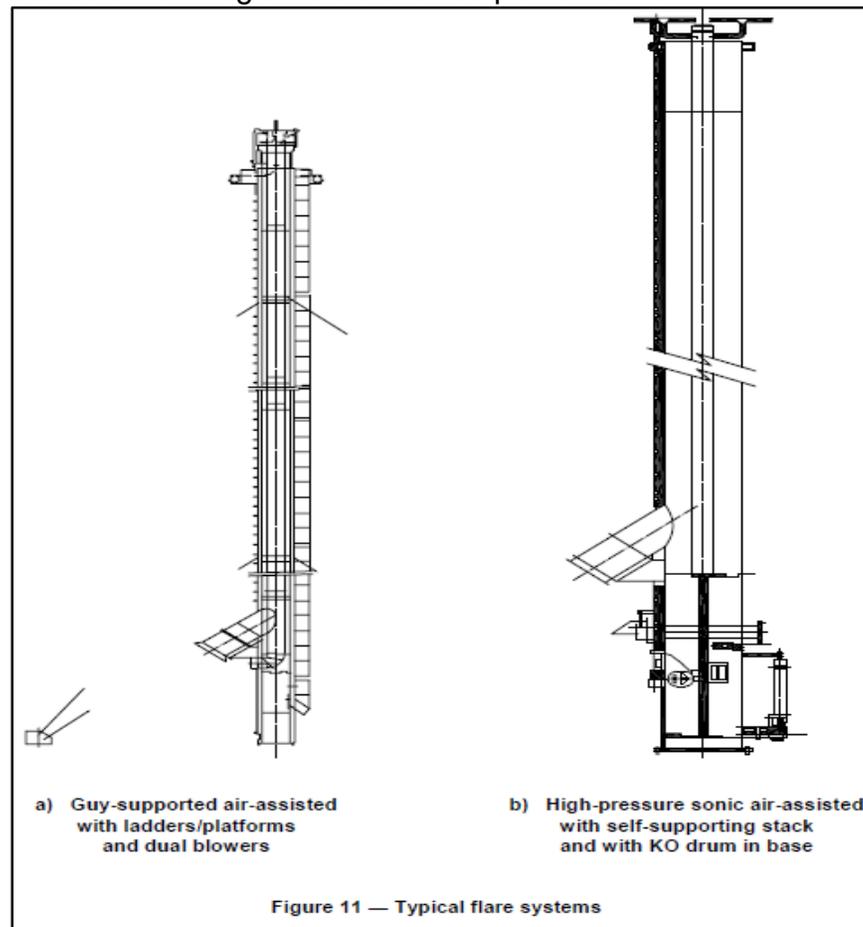


2.2.2 Norma API 521. Para conocer un poco sobre la antorcha es importante referenciar la norma API 521 la cual podrá brindar una percepción de los dimensionamientos de los elementos que se requieren para el proceso de este proyecto

La norma API 521 consiste en una serie de especificaciones y procedimientos para equipos y dispositivos que están involucrados en los sistemas de alivio de presión para la industria petroquímica. Dentro de los parámetros de esta norma están los dimensionamientos y criterios de diseño para cualquier dispositivo de despresurización, también se incluyen procedimientos de instalación, medición y de operación, dentro de esta serie de procedimientos se incluyen las especificaciones que deben tener las antorchas para el quemado de gases. A su vez la norma también explica la mayoría de causas de sobrepresión en los

sistemas de alivio para industrias petroquímicas detallando la influencia de los equipos y su relación con estos eventos no programados, para ello la norma recomienda emplear todos los dispositivos que regularmente componen un sistema de alivio de presión para realizar un procedimiento adecuado. Para este proyecto es importante determinar qué componentes contendrá la antorcha para estimar el peso que tendrá que levantar el sistema, anteriormente en el capítulo 1 en la figura 2 se explicó los componentes normales de un sistema de alivio de gases Tea, la cual en un sistema de alta capacidad debería contener; knockout-drum, drenaje, sello de agua, purga de gas, barrera-Flash back, dispositivo de encendido, línea de aire, línea de gas, boquillas de vapor, boquilla de antorcha, línea de vapor y el piloto de ignición, para lo cual la norma API explica que para requerimientos de baja presión la configuración de la Tea puede variar y no requerir de todos los elementos mencionados. En la siguiente imagen se puede ver que la tea de baja presión solo está compuesta por el ducto de la antorcha y los dispositivos de ignición, a diferencia de la de alta presión que está compuesta por el knockout-drum en la base y está asistida por vapor.

Ilustración 6. Diagrama de una tea por la norma API



Fuente: Norma API 521, pág. 89.

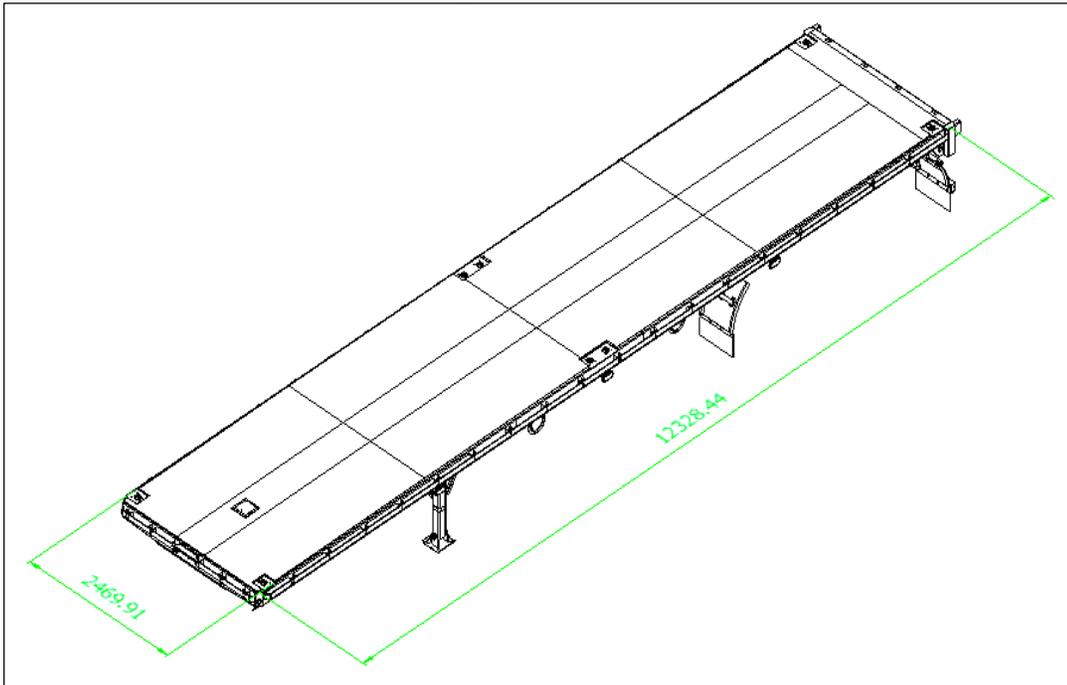
Haciendo una selección de los elementos que son necesarios para una tea de baja presión o específicamente los elementos que afectarán la carga y la distribución de los elementos del sistema de elevación son:

- Barrera-Flash back, (la barrera Flash back o sistema de anti retorno de llama, es un dispositivo de seguridad de Teas de mediana y baja capacidad, sin embargo se agregara al diseño actual para mostrar la compatibilidad con este dispositivo)
- Dispositivo de encendido
- Línea de gas
- Boquilla de antorcha
- Piloto de ignición

2.2.3 Aspectos estructurales. Son varios elementos que se deben analizar desde el punto de vista estructural, partiendo de que la estructura de la plataforma debe ser alterada en cierta manera a la cama baja estándar del diseño original para poder acoplar todos los sistemas de elevación de la tea, por otro lado los subsistemas que componen el mecanismo de elevación deben ser tomados en cuenta a nivel estructural, e incluso el ducto de la Tea se debe analizar midiendo los puntos de apoyo y la flexión que pueda generar su propia masa, tanto los elementos que contienen el ducto como el mismo ducto determinarán la efectividad estructural del sistema de elevación.

2.2.4 Disposición de espacio en la plataforma. Para el diseño de la Tea se debe tener en cuenta la disposición de espacio disponible en la plataforma, ya que cada componente y sistema debe ir adaptado en el espacio sobre la plataforma, el mecanismo que se desee implementar debe cumplir con los requerimientos mínimos de transporte y ergonomía para su posterior montaje, el diseño implementado junto con la tea no debe superar el límite de carga que soporta la estructura de la plataforma y las modificaciones que se le realicen a la plataforma deben ser analizadas cada una esperando que no afecte el sistema estructurado, con base en la resolución 4959 de 2006 y la resolución 4100 de 2004 del Ministerio de Transporte. El cual establece los límites de pesos y dimensiones en los vehículos de transporte terrestre automotor de carga por carretera para su operación normal en la red vial a nivel nacional, por consiguiente para el tipo de plataforma que se puede apreciar a continuación, el límite dimensional de ancho, largo y altura para el sistema de elevación en su forma de transporte son 2,6 metros, 12,20 metros y 4,4 metros respectivamente y su límite de peso estará dado por el número de llantas y ejes que tenga la plataforma (4 llantas y dos ejes tendrá un límite de 11.000 Kg)

Ilustración 7. Dimensiones de la plataforma de la Tea en milímetros



2.2.5 Sistema De Elevación De La Tea. El sistema de elevación de la Tea que se seleccionará en el siguiente capítulo, debe tener unas condiciones mínimas para que sean aceptables dentro de las necesidades de una Tea móvil, se debe tener en cuenta que el sistema mecánico debe ser autosuficiente ya que va a trabajar en zonas donde no se tendrán muchos recursos al alcance como apoyos o asistencia de otros dispositivos mecánicos, soportes, suministro de energía, etc. Por limitaciones de espacio y límite de carga de la plataforma, el sistema mecánico de elevación no puede ser complejo y en lo posible no modificar la estructura de esta misma.

2.2.6 Tiempo De Montaje. Otro aspecto fundamental en el diseño es el tiempo de montaje por considerarse una tea móvil, el tiempo de montaje debe estar previsto entre una hora y dos horas ya que es la característica fundamental su ergonomía y su rápido montaje, y es la principal funcionalidad en el objetivo del diseño. Para este ítem se contemplará los pasos que se deben seguir de acuerdo al manual de operación y funcionamiento, donde este establecerá el procedimiento desde el momento en que la unidad móvil que lleva la maquinaria llega al punto de operación, hasta el momento en que está completamente instalada la Tea y lista para operar e incinerar gases.

2.2.7 Estabilidad Durante Su Funcionamiento. Es de gran importancia que para el diseño del sistema de levantamiento, la Tea no solo sea una carga admisible para la estructura de la plataforma en su estado de transporte (sin desplegarse), sino que también se soporte y tenga estabilidad todo sistema de la Tea durante su

montaje y tenga estabilidad ante cualquier tipo de terreno durante la operación y resistencia al viento. Este ítem también debe considerar la parte estructural tal como se explicó en el ítem 2.2.2, donde el sistema de izamiento y rendaje debe contemplar fuerzas actuantes en diferentes direcciones ejercidas por el viento y las reacciones que ejercen sobre la estructura y el cambio de carga en los apoyos.

2.2.8 **Apreciación de elementos implícitos en el sistema de elevación.** Siendo un sistema que se compone de distintos elementos mecánicos, las estimaciones y apreciaciones de partes y equipos adyacentes a la operación en el levantamiento de la tea son de mayor importancia para establecer un diseño eficaz en todos los aspectos operativos. Un gran número de elementos que se deben tener en cuenta como lo son: bisagras, bridas, cables de acero para riendas, rodamientos, rieles, soportes hidráulicos...etc, a cada uno de estos elementos se debe considerar sus propiedades mecánicas y funcionales que puedan afectar el diseño del sistema, Por lo tanto al realizar estos diseños es importante que además de realizar los diferentes cálculos, diseños y estimaciones, se tenga en cuenta otros elementos que están relacionados con la operación.

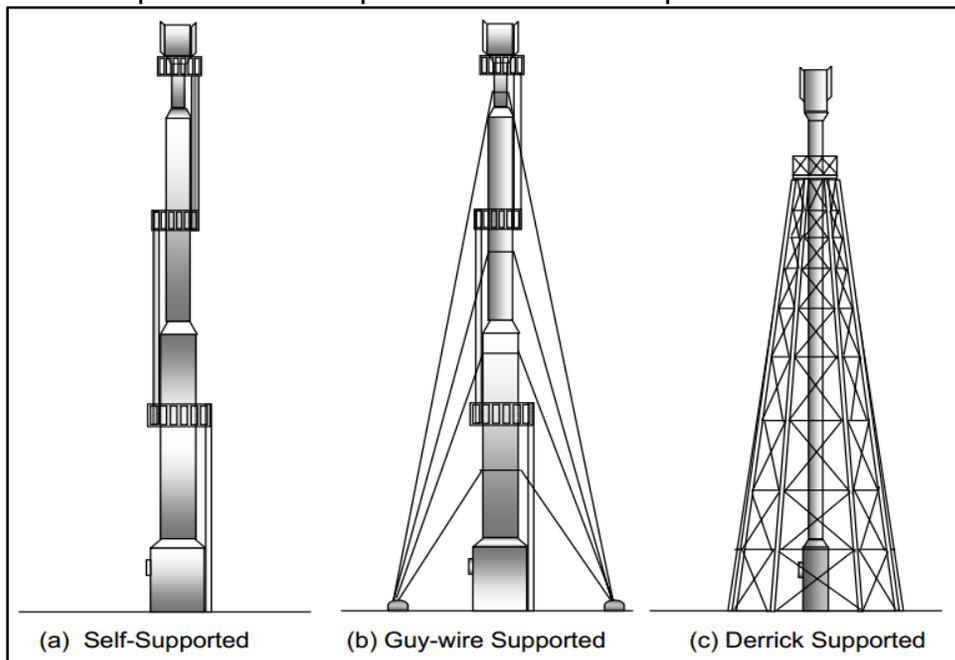
Otros elementos que se deben tener en cuenta son aquellos que están relacionados con la Tea y son indispensables para su funcionamiento, es indispensable que estén relacionados al diseño conceptual y técnico, ya que pueden ejercer factores como masa de otros equipos que afecten el diseño, elementos en la Tea como el incinerador, piloto de ignición, líneas de gas de asistencia y el dispositivo anti flash-back, se deben estimar en el diseño en masa, espacio que ocupa en la plataforma, consumo energético y compatibilidad de funciones.

### 3. ALTERNATIVAS DE DISEÑO

En la evaluación de alternativas de diseño se contemplan las opciones que pueden surgir para el cumplimiento del proceso que se va a realizar (Levantamiento e izamiento de una Tea”), en consideración a esto se debe realizar una evaluación de características, aspectos y deducciones de cada alternativa durante el montaje y durante su operación en el sitio de operación. La calificación de alternativas se basará principalmente en el montaje de la TEA y en los diferentes mecanismos que se podría utilizar en el diseño, mediante unos criterios de selección se procede a elegir la opción que pueda ofrecer la suficiente aceptación tanto por el fabricante como para el cliente final.

Debido a la gran altura de este tipo de Teas se existen tres formas de soportar la tea, el auto-soportado que se caracteriza por tener un diámetro del ducto muy amplio en la parte inferior de la tea y una posterior reducción, el cableado para resistencia de vientos, y por último la tea que es asistida por una estructura comúnmente llamada “*Derrick*”. Debido a que la opción auto soportada requiere cementación y la opción soportada por una estructura acompleja el diseño, la opción más viable es la de tensión a cableado. A continuación se muestra la visualización de los tres tipos de soporte para Teas. (a. auto-soportada, b. soporte cableado para viento, c. soporte estructurado “*Derrick*”).

Ilustración 8. Esquema de los soportes más comunes para teas

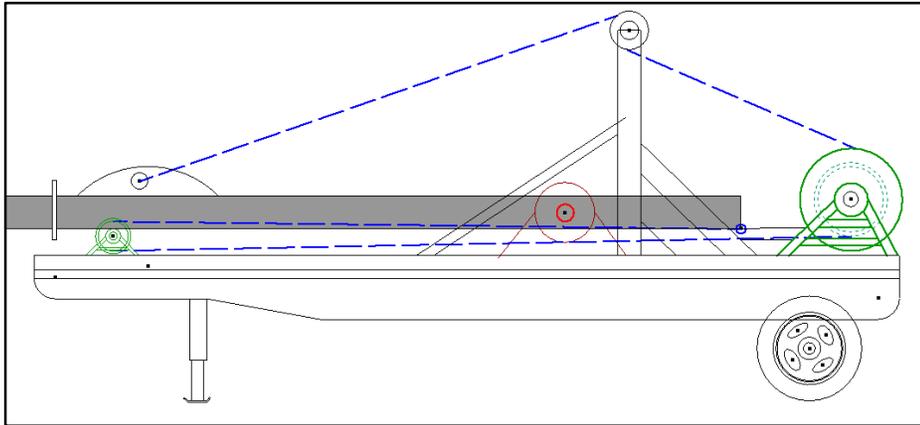


Fuente: KLM TECHNOLOGY GROUP, flare selection and sizing. Disponible en: <http://kolmetz.com>

### 3.1 ALTERNATIVAS

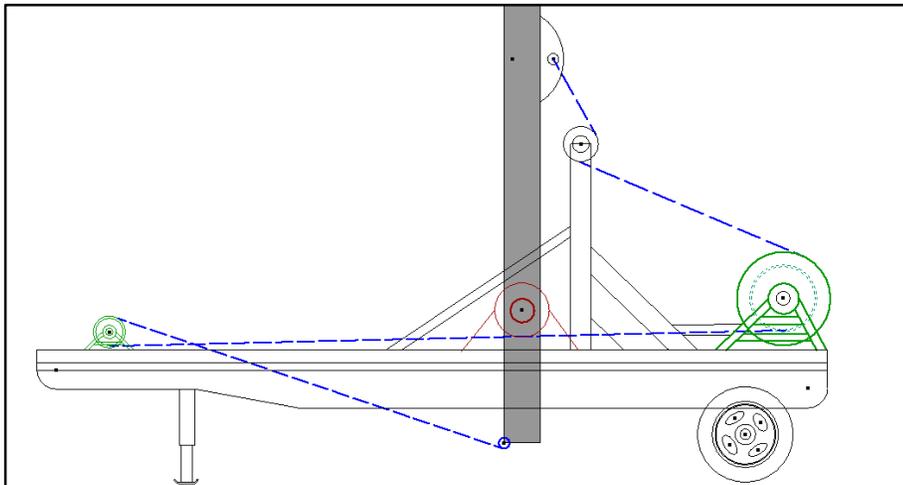
- Alternativa 1: mecanismo de izamiento del tubo de la TEA por medio de un sistema de poleas y accionamiento por un malacate para el izaje y para el posicionamiento del tubo en el centro de la plataforma. En la figura que está a continuación muestra la disposición de elementos para realizar dicho trabajo.

Ilustración 9. Sistema de levantamiento por medio de poleas y malacate



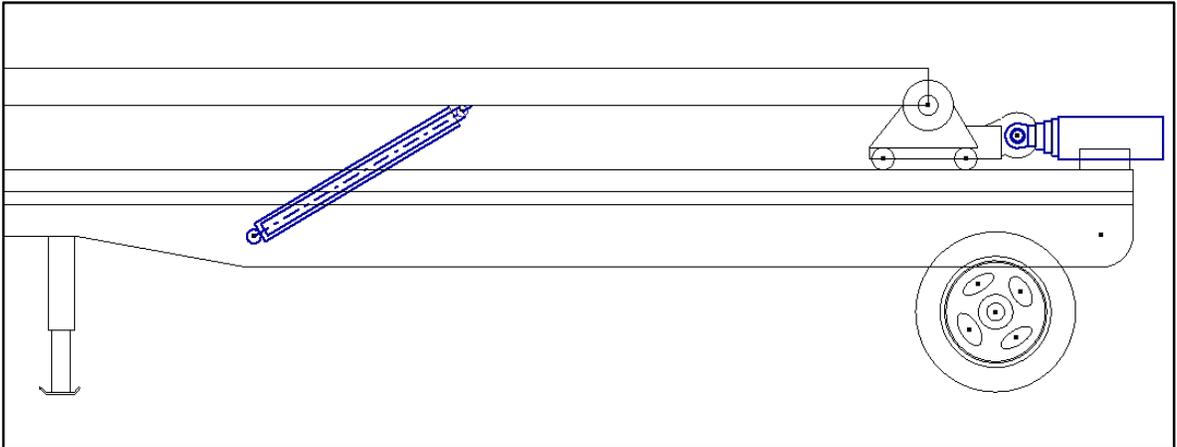
A continuación se muestra el accionamiento de los elementos que permitirán levantar la carga de la tea, que debido al diseño el tubo de la tea al levantarse quedará de una vez centrado en la plataforma.

Ilustración 10. Posición 2 de la alternativa 1



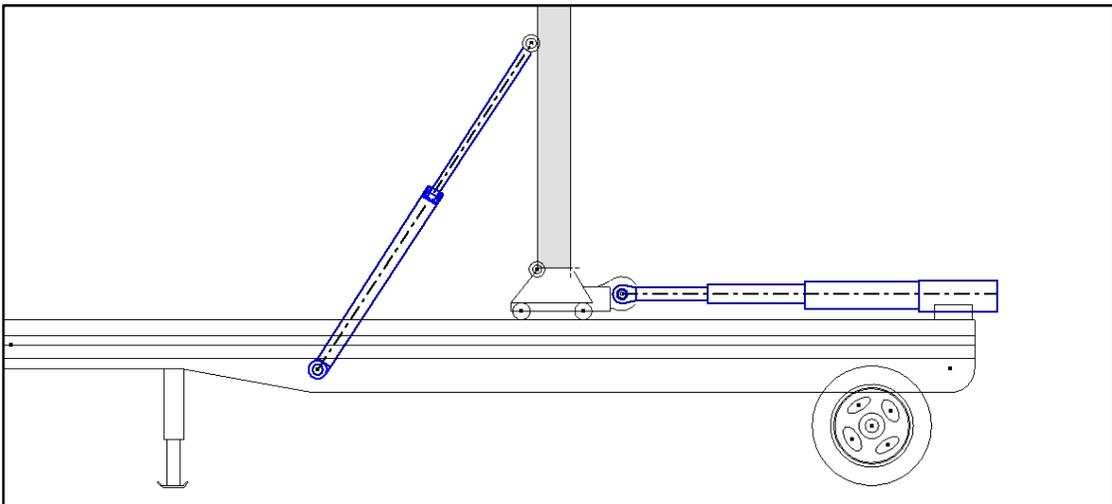
- Alternativa 2: mecanismo de izamiento del tubo de la TEA por medio de un sistema hidráulico, con dos cilindros hidráulicos, uno para el levantamiento del tubo y el otro un cilindro telescópico para el posicionamiento del tubo hacia el centro de la plataforma.

Ilustración 11. Posición 1 de la alternativa 2



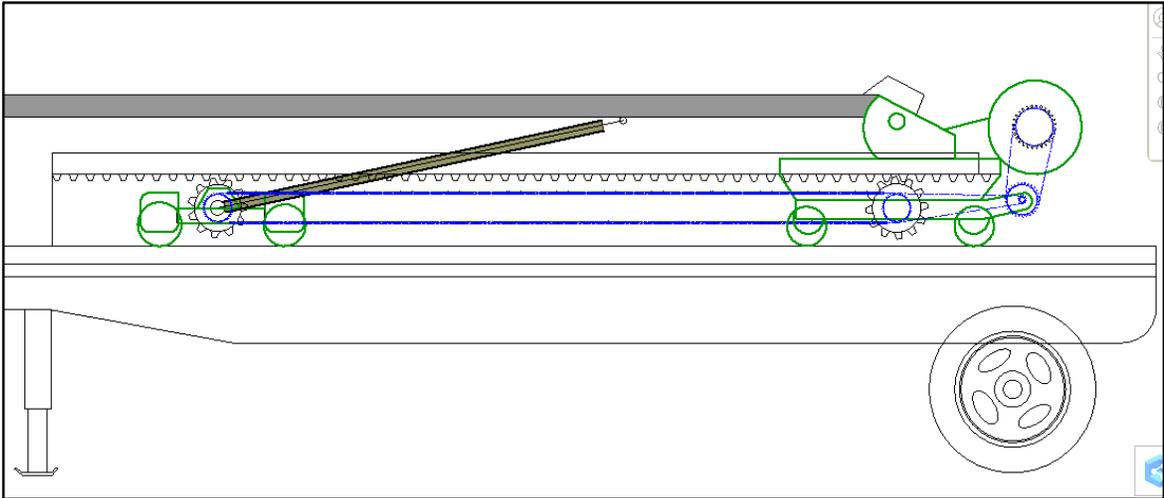
Este diseño permitirá que una vez se accione el cilindro telescópico la carga de la tea se posicione en la mitad de la plataforma a través de unos rieles por lo tanto el tubo de la tea requerirá en su base un sistema de deslizamiento por rodaduras.

Ilustración 12. Posición 2 de la alternativa 2



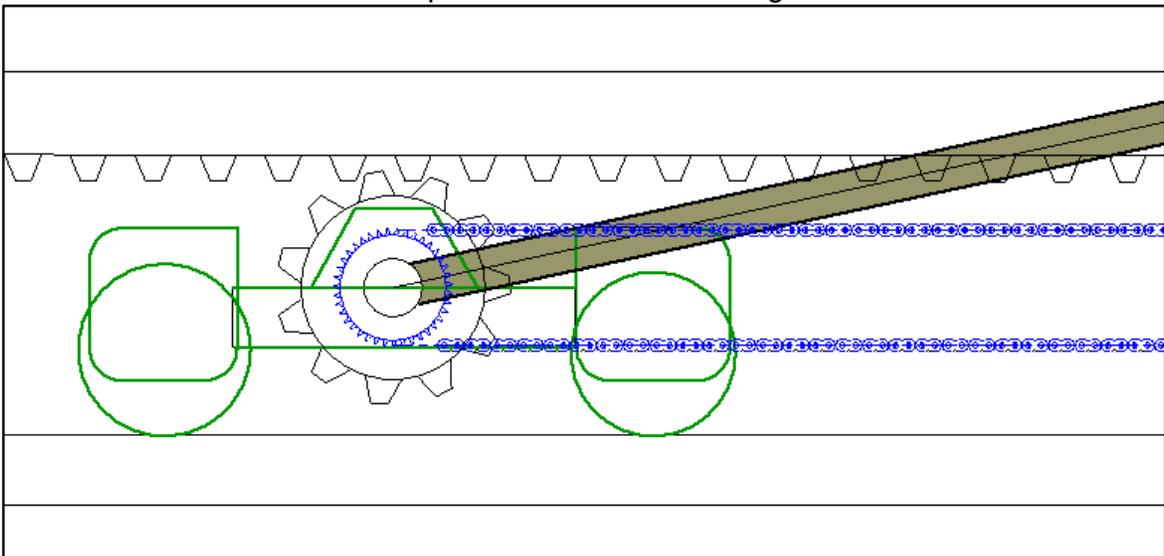
- Alternativa 3: mecanismo de izamiento del tubo de la TEA por medio de un sistema de engranajes y con un brazo rígido deslizable sobre la plataforma por cadenas para empujar el tubo de la tea, esto se realizará por medio de un riel con engranaje en cremallera para el posicionamiento e izaje del tubo de la Tea.

Ilustración 13. Posición 1 alternativa 3



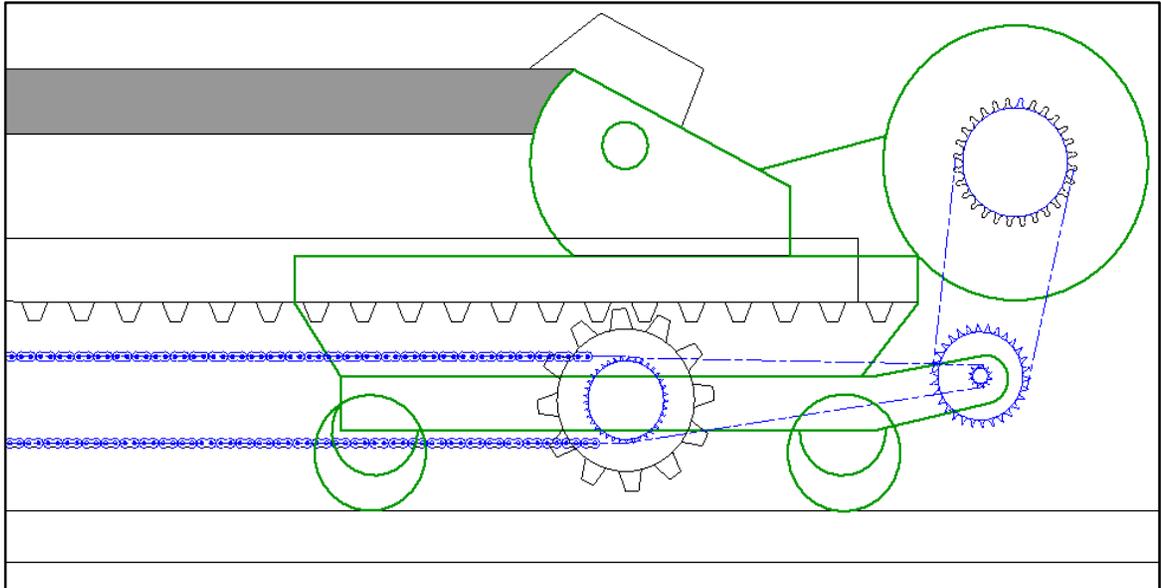
En la figura que está a continuación se muestra gráficamente el diseño del sistema de desplazamiento del brazo rígido el cual avanzará a través de la plataforma por el riel con engranajes accionado por la transmisión de potencia de la cadena y empujará la tea para levantarla.

Ilustración 14. Sistema de desplazamiento del brazo rígido



En la ilustración siguiente se muestra el diseño del sistema de desplazamiento de la base de la Tea la cual también permitirá avanzar por el riel de engranes accionado también por la potencia de la cadena y así se levantará el tubo de la Tea.

Ilustración 15. Sistema de desplazamiento base de la Tea



### 3.2 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

A partir de una búsqueda de la mejor alternativa para su posterior diseño, se tomarán algunos criterios fundamentales que evaluarán varios aspectos y mediante una matriz de selección se determinará la opción más viable. Los parámetros que serán tomados en cuenta se describirán a continuación:

3.2.1 Innovación. La satisfacción de la innovación no solo debe ser por parte de la empresa sino también debe generar aceptación en el cliente, este es un factor importante ya que las mejoras que se puedan implementar podrán ayudar a realizar un proceso más eficiente y rápido. La valoración de acuerdo a la innovación se detallará de la siguiente manera:

- **Calificativo 0:** una calificación 0 para la innovación representa implementación nula de subsistemas y elementos mecánicos modernos o nuevos que sean fuera de la tradición.
- **Calificativo 1:** una calificación 1 representa una mínima modificación en las fabricaciones tradicionales, y por lo tanto una valoración apreciativa muy baja en la innovación.
- **Calificativo 2:** representa unas variaciones un poco más importantes, denota unas modificaciones no muy connotativas a diseños ya existentes.

- **Calificativo 3:** esta calificación demuestra una propuesta nueva sin romper los esquemas tradicionales de construcción y diseños existentes, por lo tanto se considera ya un nivel aceptable de innovación.
- **Calificativo 4:** el calificativo denota una propuesta diferente a los diseños de elevación de Teas existentes, utilizando sistemas y subsistemas usados en otros tipos de maquinaria.
- **Calificativo 5:** representa una total innovación rompe todos los esquemas de fabricación de sistemas de elevación móviles, utiliza sistemas y subsistemas no usados nunca en este tipo de maquinaria.

3.2.2 Interés de la Empresa. De acuerdo con el conocimiento que tiene la empresa Servimecol respecto al mercado y la demanda de los clientes tiene ciertas preferencias a la hora de seleccionar algunos subsistemas para sus máquinas, y respecto a la funcionalidad conoce los beneficios para el cliente en cuanto al desempeño de la máquinas en operación, por ello es de gran importancia conocer el criterio de la empresa. La valoración de acuerdo al interés de la empresa se detallará de la siguiente manera:

- **Calificativo 0:** la calificación 0 denota una completa negación o desacuerdo con el diseño propuesto, por lo tanto conlleva a la inviabilidad por parte de la empresa.
- **Calificativo 1:** demuestra muy poco interés en el diseño y por lo tanto el criterio de la empresa es negativo frente a la fabricación de ese diseño.
- **Calificativo 2:** es un calificativo que demuestra ciertas inconformidades de la empresa frente al diseño propuesto y por lo tanto la empresa en su criterio recomienda no construirlo.
- **Calificativo 3:** genera cierta aceptación en la empresa pero su bajo valor en el interés de la empresa demuestra ciertas dudas en cuanto a confiabilidad y mercado para la máquina.
- **Calificativo 4:** este calificativo da viabilidad al diseño por parte de la empresa y se considera un diseño aceptable
- **Calificativo 5:** denota una total aceptación e interés de la empresa por la construcción de ese diseño propuesto

3.2.3 Experiencia. La empresa SERVIMECOL tiene una gran experiencia en la fabricación de maquinaria móvil, por ello está muy bien posicionada e informada sobre en la fabricación de máquinas, y seleccionando qué sistemas son más

recomendables para cada máquina. La empresa demuestra sus 20 años de experiencia en ciertos tipos de maquinaria y algunos sistemas mecánicos son preferidos unos más que otros debido a su gran experiencia. La valoración de acuerdo a la experiencia se detallará de la siguiente manera:

- **Calificativo 0:** es un calificativo en el cual demuestra una total inexperiencia de la empresa donde se desconocen las tecnologías aplicadas en el diseño, y no hay un antecedente en la fabricación de los elementos que los componen.
- **Calificativo 1:** demuestra un bajo conocimiento de los componentes y sistemas usados en el diseño propuesto, por lo tanto una inexperiencia en la fabricación de este diseño.
- **Calificativo 2:** es un calificativo que denota una baja experiencia de la empresa en el diseño, aunque hay un leve conocimiento sobre las tecnologías y fabricación de los elementos.
- **Calificativo 3:** se denota una experiencia no muy notable pero existente en los sistemas y componentes.
- **Calificativo 4:** hay una gran experiencia en la fabricación de los sistemas y subsistemas seleccionados para el diseño, y hay un gran conocimiento de los procesos de ensamble.
- **Calificativo 5:** se demuestra una alta experiencia con total conocimiento de los diseños de fabricación y tecnologías usadas.

3.2.4 Fabricación. Este es un ítem muy importante a la hora de ver la viabilidad de un proyecto como este donde a pesar de que se cuenta con varios recursos tecnológicos, es debido planificar una construcción del diseño que se seleccione para que de una viabilidad aceptable. La valoración de acuerdo a la fabricación se detallara de la siguiente manera:

- **Calificativo 0:** demuestra una total imposibilidad en la fabricación a causa de la inexistencia de los recursos tecnológicos, el personal calificado, disposición de herramientas y un gran dificultad en la fabricación
- **Calificativo 1:** denota una alta dificultad en la fabricación y recursos insuficientes para su ensamble
- **Calificativo 2:** el calificativo refiere a una falencia en la capacidad para desarrollar el diseño o en los recursos para fabricarlo.

- **Calificativo 3:** el diseño representa una dificultad moderada aunque los recursos para fabricarlo son existentes en la empresa.
- **Calificativo 4:** la dificultad en el diseño no es muy alta y los recursos tecnológicos se adaptan fácilmente a los procesos de fabricación y ensamble.
- **Calificativo 5:** el diseño no representa ninguna dificultad en su fabricación, y sus procesos de fabricación y ensamble son de fácil manejo.

3.2.5 Costo de fabricación. El costo de fabricación es un factor ligado a la aceptación de la empresa ya que el diseño de la Tea debe estar entre los parámetros impuestos por la empresa y por lo tanto su costo de fabricación para definir la viabilidad del proyecto debe estar en lo estimado y los límites presupuestados para que resulte rentable el proyecto. La valoración de acuerdo a los costos de fabricación se detallará de la siguiente manera:

- **Calificativo 0:** los costos de fabricación, tecnologías y componentes usados en el ensamble y el personal requerido son de muy alto costo, por lo tanto denota una imposibilidad la construcción del diseño.
- **Calificativo 1:** los recursos económicos no alcanzan a cubrir la totalidad de necesidades técnicas para desarrollar el proyecto
- **Calificativo 2:** los costos de fabricación son altos comparados con la rentabilidad a largo plazo y no generan una ganancia próxima o cercana para el desarrollo del proyecto.
- **Calificativo 3:** genera una mínima rentabilidad con relación a los costos de fabricación.
- **Calificativo 4:** los costos de fabricación son muy factibles y genera buenas proyecciones de remuneración.
- **Calificativo 5:** denota un costo muy bajo en todos los factores necesarios para el desarrollo del diseño.

3.2.6 Efectividad de Operación. El proyecto a desarrollar es un proyecto con el fin de satisfacer las necesidades del cliente operando de manera eficiente durante el proceso *Gas Flaring*, brindando un izamiento deseado y cumpliendo con todos los requerimientos técnicos, adicionalmente debe tener una gran efectividad en la ejecución de montaje de la Tea, todos los sistemas y subsistemas mecánicos seleccionados para la Tea deben generar la suficiente confianza para el levantamiento de la estructura y las probabilidades de falla en la ejecución debe ser mínima a causa de los entornos en los que se desarrolla la operación. La

valoración de acuerdo a la efectividad de operación se detallará de la siguiente manera:

- **Calificativo 0:** el diseño no genera ningún nivel de confianza para la ejecución de las acciones de montaje y operación de la máquina, y las probabilidades de presentar una falla en su mecanismo son altas.
- **Calificativo 1:** el diseño puede generar fallas durante el montaje de la Tea imposibilitando la rápida acción de evaluación de un pozo, por lo tanto el valor de la efectividad es muy bajo
- **Calificativo 2:** la efectividad de este diseño está dado a factores que afectan su rendimiento como tiempo de montaje y mantenimiento.
- **Calificativo 3:** el calificativo 3 demuestra una aceptable eficiencia en la ejecución de las acciones tanto como operativas como de montaje.
- **Calificativo 4:** este calificativo denota una buena actuación de los sistemas y dispositivos mecánicos seleccionados.
- **Calificativo 5:** el diseño presenta características ideales en su ejecución y sus sistemas y subsistemas generan gran confianza

3.2.7 Tiempo de montaje. Este es un factor importante para poder comercializar la máquina en el mercado, ya que logrando una mejora en el tiempo de montaje causará un aspecto enriquecedor a este dispositivo. Los montajes tradicionales de Teas requieren de mucho tiempo, personal y recursos, por ello este diseño debe lograr una rápida ejecución en su montaje necesaria para que sea rentable. La valoración de acuerdo al tiempo de montaje se detallará de la siguiente manera:

- **Calificativo 0:** el tiempo de montaje que toma este diseño es muy alto, muy similar a los montajes tradicionales con estructuras fijas tomando un tiempo mayor a tres días.
- **Calificativo 1:** el tiempo que toma este diseño está muy por debajo de las expectativas de funcionamiento y el tiempo de montaje podría tomar más de un día.
- **Calificativo 2:** toma un tiempo de montaje superior a 12 horas
- **Calificativo 3:** el diseño podría tener un rango de tiempo en el montaje alrededor de 6 horas
- **Calificativo 4:** el tiempo de montaje no supera las 3 horas

- **Calificativo 5:** el tiempo de montaje no supera la hora y media

3.2.8 **Mantenibilidad.** Debido al entorno en el que debe operar la máquina y los requerimientos en cuanto a velocidad y en agilidad en la operación de pruebas y análisis a un pozo, el mantenimiento debe en lo posible limitarse a mantenimientos preventivos y programados de tal manera que el diseño no requiera en lo mínimo mantenimientos correctivos. La valoración de acuerdo a mantenibilidad se detallará de la siguiente manera:

- **Calificativo 0:** el grado de mantenibilidad del diseño de la máquina es considerablemente bajo, por lo tanto un daño en algún componente del diseño podría no ser restaurado o exigir muchos recursos para restaurarlo.
- **Calificativo 1:** denota una gran cantidad de fallas requiriendo inmediatos mantenimientos correctivos, lo que hace que su rendimiento sea deficiente.
- **Calificativo 2:** presenta algunas fallas durante lapsos aleatorios, por lo tanto es impredecible sus fallas y su mantenibilidad es aún baja.
- **Calificativo 3:** demuestra este calificativo que hay presencia de un grado de mantenibilidad aceptable donde sus mecanismos y sistemas fallan remotamente.
- **Calificativo 4:** denota un muy buen grado de mantenibilidad, sus sistemas y componentes requieren un mínimo de mantenimientos preventivos y la probabilidad de una falla es baja.
- **Calificativo 5:** el diseño de la máquina tiene propiedades de mantenibilidad ideales y requiere solo de mantenimientos preventivos normativos, y la probabilidad de falla es casi nula.

3.2.9 **Repuestos.** Este ítem de evaluación es muy importante que como se había mencionado anteriormente el entorno de operación de la máquina no se dispone de un almacén de repuestos ni del personal para realizar un mantenimiento correctivo inmediato, por ello se requiere que los sistemas y mecanismos seleccionados no contengan repuestos de difícil alcance ni de costos altos.

- **Calificativo 0:** el diseño propuesto contiene componentes que requieren repuestos que no se consiguen, sino que son de fabricación bajo pedido y requerimientos y especificaciones técnicas especiales y fabricantes escasos a nivel mundial.
- **Calificativo 1:** el diseño denota repuestos de difícil adquisición donde los proveedores son limitados a nivel mundial.

- **Calificativo 2:** los componentes de la Tea contienen repuestos de adquisición moderada pero requiere de mucho tiempo para obtenerlos
- **Calificativo 3:** este calificativo denota que el diseño contiene repuestos de fácil adquisición a nivel nacional
- **Calificativo 4:** los repuestos que componen el diseño son de fácil adquisición a nivel regional y el tiempo que requiere para obtenerlos no es tan prolongado
- **Calificativo 5:** los repuestos se pueden conseguir muy fácilmente localmente y/o probablemente estén disponibles en el lugar de pruebas y análisis del pozo.

3.2.10 Personal. Uno de los propósitos del proyecto es simplificar la actividad exploratoria, la cual no se podría alcanzar esa meta si el personal requerido es amplio (de varias personas) y que tenga capacitación especializada y específica, ya que esto denotaría una complejidad en el manejo de la Tea. La valoración de acuerdo al personal se detallara de la siguiente manera:

- **Calificativo 0:** en el calificativo 0 se denota un requerimiento de personal altamente capacitado y debido a la complejidad del montaje requiere varias personas de distintas jerarquías para desarrollar tareas como coordinación, diseño, inspección y ejecución para realizar el izaje de la tea y controlar su operación.
- **Calificativo 1:** en este calificativo demuestra una alta necesidad de personal medianamente capacitado y una gran cantidad de personal de apoyo para ejecutar la operación de montaje.
- **Calificativo 2:** denota una complejidad moderada en el diseño por lo que requiere de varias personas y recursos de apoyo para ejecutar su montaje.
- **Calificativo 3:** el diseño de la máquina requiere de poco personal capacitado y unas cuantas personas que realicen apoyo manual en el montaje.
- **Calificativo 4:** denota un diseño poco complejo que no requiere más de unas siete personas para realizar el montaje, y en la operación su manejo es sencillo sin necesidad de ninguna capacitación específica.
- **Calificativo 5:** debido a la fácil operación de la máquina no requiere más de 2 personas para el montaje que sería una labor meramente manual

### 3.3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

Mediante las siguientes tablas se evaluará cada ítem de los que se explicaron en la sección anterior (3.2) y mediante una valoración de 1 a 5, se cuantificará los parámetros de diseño para el sistema de elevación y para el sistema de centrado, y esta calificación será proporcional al nivel de importancia que se le da a cada ítem.

Tabla 3. Evaluación de la alternativa 1

Evaluación de alternativas	Nivel De Importancia		Parámetros de diseño			
	Valor	(%)	Sistema de elevación		Sistema de centrado	
			Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
innovación	2	5,56%	2	0,11	2	0,11
Interés de la empresa	5	13,89%	1	0,14	1	0,14
experiencia	3	8,33%	4	0,33	4	0,33
fabricación	4	11,11%	3	0,33	3	0,33
Costo de fabricación	5	13,89%	4	0,56	4	0,56
Efectividad de operación	5	13,89%	4	0,56	4	0,56
Tiempo de montaje	3	8,33%	5	0,42	5	0,42
mantenibilidad	4	11,11%	4	0,44	4	0,44
repuestos	3	8,33%	3	0,25	3	0,25
personal	2	5,56%	4	0,22	4	0,22
<b>total</b>	36	100%	<b>3,36</b>		<b>3,36</b>	
Puntaje final de la alternativa			<b>3,36</b>			

ALTERNATIVA 1:

Tabla 4. Evaluación de la alternativa 2

Evaluación de alternativas	Nivel De Importancia		Parámetros de diseño			
	Valor	(%)	Sistema de elevación		Sistema de centrado	
			Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
innovación	2	5,56%	5	0,28	5	0,28
Interés de la empresa	5	13,89%	5	0,69	4	0,56
experiencia	3	8,33%	5	0,42	3	0,25
fabricación	4	11,11%	3	0,33	3	0,33
Costo de fabricación	5	13,89%	2	0,28	3	0,42
Efectividad de operación	5	13,89%	5	0,69	5	0,69
Tiempo de montaje	3	8,33%	4	0,33	4	0,33
mantenibilidad	4	11,11%	4	0,44	4	0,44
repuestos	3	8,33%	4	0,33	3	0,25
personal	2	5,56%	4	0,22	4	0,22
<b>total</b>	36	100%	<b>4,03</b>		<b>3,78</b>	
Puntaje final de la alternativa			<b>3.91</b>			

ALTERNATIVA 2:

Tabla 5. Evaluación de la alternativa 3

Evaluación de alternativas	Nivel De Importancia		Parámetros de diseño			
	Valor	(%)	Sistema de elevación		Sistema de centrado	
			Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
innovación	2	5,56%	5	0,28	5	0,28
Interés de la empresa	5	13,89%	2	0,28	2	0,28
experiencia	3	8,33%	4	0,33	4	0,33
fabricación	4	11,11%	2	0,22	2	0,22
Costo de fabricación	3	13,89%	5	0,69	5	0,69
Efectividad de operación	5	13,89%	3	0,42	3	0,42
Tiempo de montaje	3	8,33%	3	0,25	3	0,25
mantenibilidad	4	11,11%	3	0,33	3	0,33
repuestos	3	8,33%	4	0,33	4	0,33
personal	2	5,56%	5	0,28	5	0,28
<b>total</b>	36	100%	<b>3.42</b>		<b>3.42</b>	
Puntaje final de la alternativa			<b>3.42</b>			

ALTERNATIVA 3:

Después de una evaluación detallada en las tablas anteriores, cada alternativa está cuantificada donde la mejor opción por ponderación es la número 2, que se caracteriza por el uso de cilindros hidráulicos y un sistema de rieles, en el siguiente capítulo se centrará en el diseño de cada componente, sistema y subsistema de la alternativa seleccionada.

## 4. DISEÑO DEL PROYECTO

En este capítulo se detallarán los cálculos y dimensionamientos de cada sistema, subsistema y componente mecánico que hacen parte del diseño de un sistema de levantamiento de una tea. Los análisis que se realizan en este capítulo se corroborarán en el siguiente capítulo en donde se hará un modelamiento y simulación de las secciones críticas del diseño.

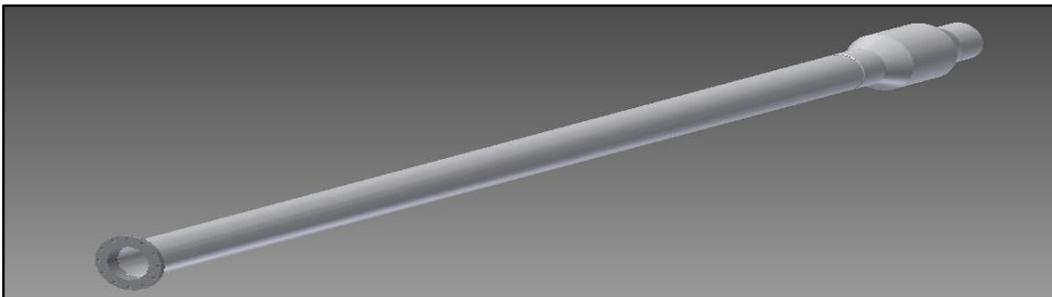
Para empezar a realizar cualquier procedimiento de diseño y/o cálculo se debe verificar que las condiciones iniciales seleccionadas aplican dentro de la norma API 521 para sistemas de alivio de presión y sistemas para despresurizar, una vez verificado que el diseño seleccionado está entre los parámetros de la norma se prosigue al análisis de los sistemas mecánicos.

### 4.1 PARÁMETROS FUNCIONALES DE LA TEA PARA EL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO

El conocer las diferentes características a la perfección del dispositivo que se está manipulando permitirá desarrollar un diseño que esté exento de fallas operativas, funcionales y evitará sobrecostos en la fabricación o en situaciones menos favorables en costos de reparación y acciones correctivas, en el ámbito de este proyecto donde el dispositivo es una antorcha de quema de gases con unas dimensiones considerablemente grandes es importante ajustar bien el diseño a los parámetros que da el dispositivo.

Para este proyecto se utilizarán dos secciones de la tea que se deben unir en el montaje, una sección de 8 metros y otra de 10 metros para una totalidad de 18 metros

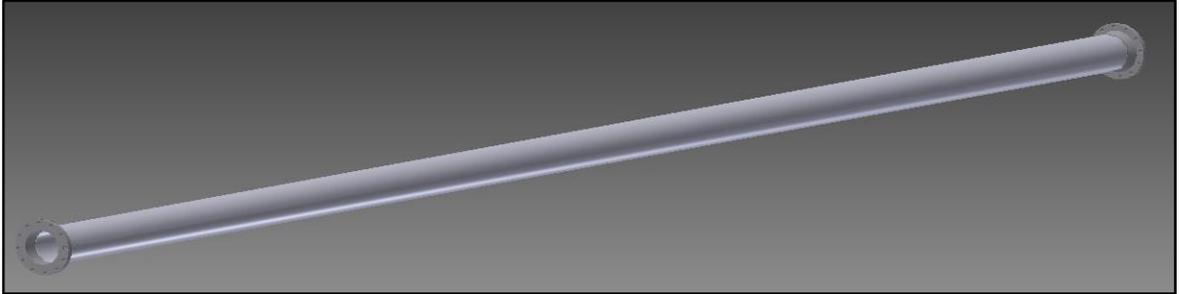
Ilustración 16. Sección de la tea de 8 metros



En la ilustración 16 se visualiza solamente 3 elementos, la sección de 8 metros del tubo de la tea, la brida que unirá la sección de 8 metros con la de 10 metros, y el flash back, este último elemento puede ser opcional puesto que no todas las Teas de baja capacidad manejan el sistema de retorno de llama. En la figura 17. Que está a continuación, se compone solamente de la sección de 10 metros del Ducto

de la Tea, y tres bridas, una cada extremo que estarán soldadas en su perímetro tubular, una brida permitirá la unión con la sección de 8 metros, la otra permitirá izar la totalidad del ducto de la tea situándola de manera horizontal y la tercera permitirá el acceso del gas a la Tea.

Ilustración 17. Sección de la tea de 10 metros

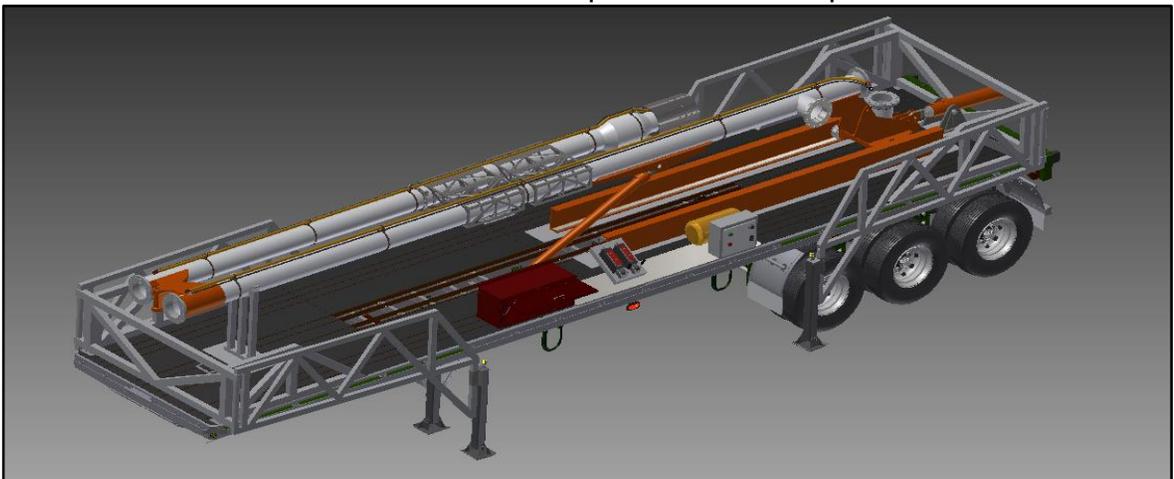


#### 4.2 DISEÑO FUNCIONAL

Una vez obtenido todos los parámetros y requerimientos de los mecanismos para el sistema de levantamiento de una tea de 18 metros, se realiza el diseño funcional del proyecto teniendo en cuenta la alternativa seleccionada, a partir de esta sección se conocerá el resultado esperado del diseño detallado, a continuación los segmentos del dispositivo móvil de todo el sistema se explicarán en dimensiones y funcionalidad

4.2.1 Disposición de elementos requeridos para el sistema de levantamiento. En la ilustración 18 se muestra la totalidad del diseño que se desarrollará en este proyecto, que se puede denotar la ubicación de la Tea, la cual en su posición de transporte estará seccionada en dos partes (8 y 10 metros), ambas secciones estarán en posición horizontal.

Ilustración 18. Visualización de la Tea en posición de transporte.



4.2.2 Extensiones laterales. Una vez el dispositivo esté en el lugar de la operación donde se realizará la conexión del gas que se va a incinerar, se prosigue al despliegue de los sistemas de estabilización, en los laterales del tráiler, este diseño llevará dos extensiones estructuradas que le proporcionarán al dispositivo estabilidad y a la vez sus extremos serán los puntos de anclaje para el izaje, estas estructuras que están unidas por un eje, les permite su fácil movilidad y ajuste en terrenos irregulares.

Ilustración 19. Despliegue de extensiones.



4.2.3 Puntos de movimiento de la Tea. Al expandir manualmente la Tea haciendo rotar sobre la unión de bisagra la sección de 8 metros y se ajusta con los 12 pernos de las bridas a la sección de 10 metros, a partir de ese momento la tea estará totalmente extendida y asegurada, esta estará sostenida por los apoyos que serán los puntos más importantes que permitirán el movimiento y levantamiento de la Tea.

Ilustración 20. Unión de la Tea

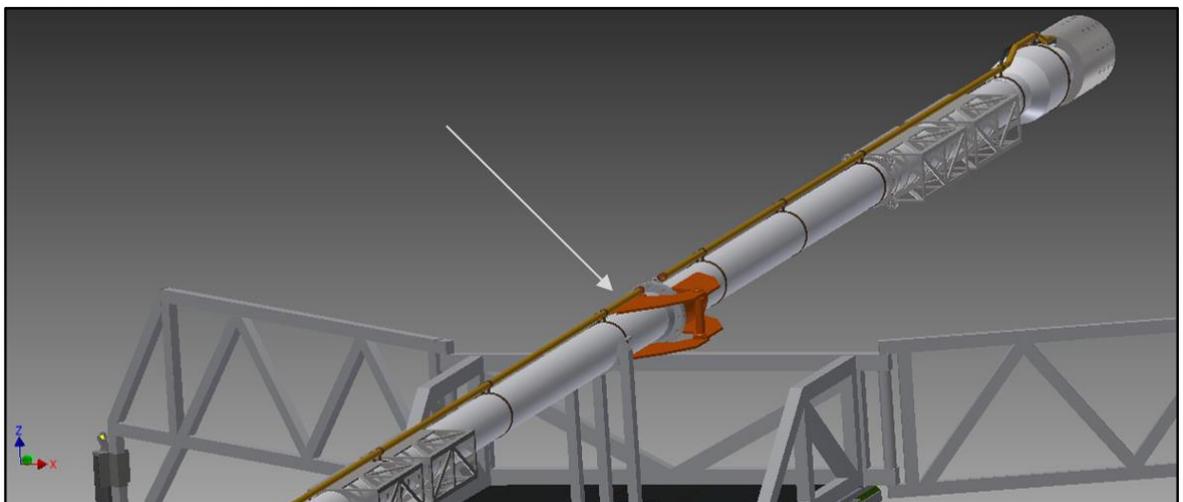
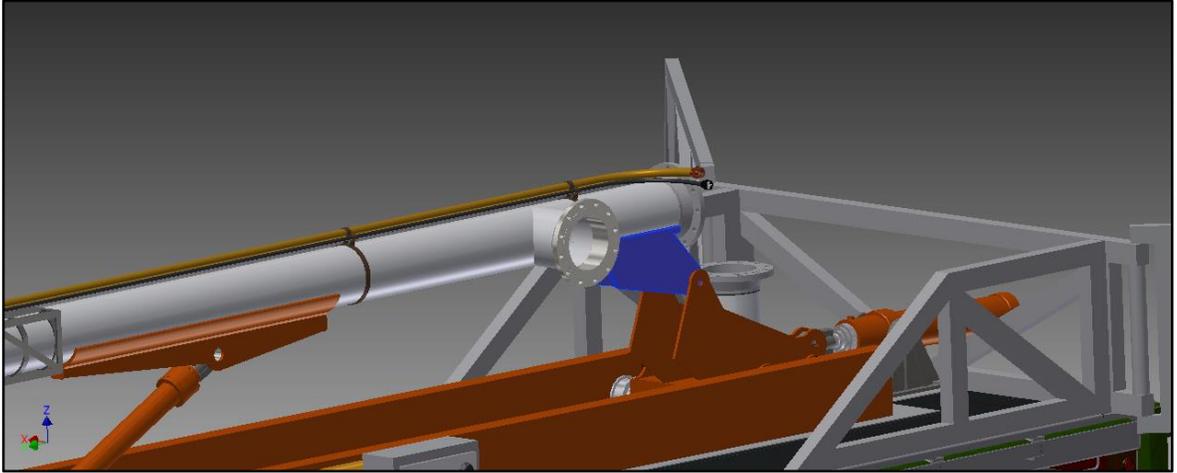


Ilustración 21. Apoyo en el extremo de la Tea



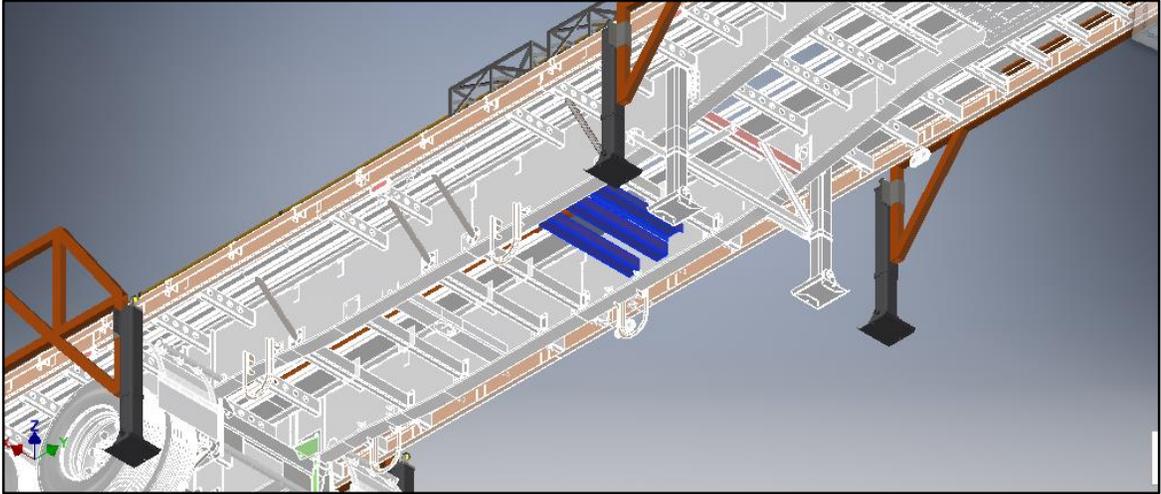
En la ilustración 21 está señalado en azul el apoyo sobre el cual la totalidad de la tea girará en torno a ese punto y quedará totalmente levantada en una posición Vertical.

4.2.4 Cilindros Hidráulicos y apoyos. En el orden de montaje el primer cilindro en actuar es el cilindro que está montado en el alma de la estructura de la plataforma, y a su vez en su extremo está situado a 3 metros del punto inicial de la Tea, este cilindro proporcionará un primer instante en donde la Tea quedara elevada a unos 44 grados de la horizontal, y dejara que el resto del levantamiento lo realice el cilindro telescópico tal y como se muestra en la figura 22.

Ilustración 22. Cilindro Hidráulico desplegado.



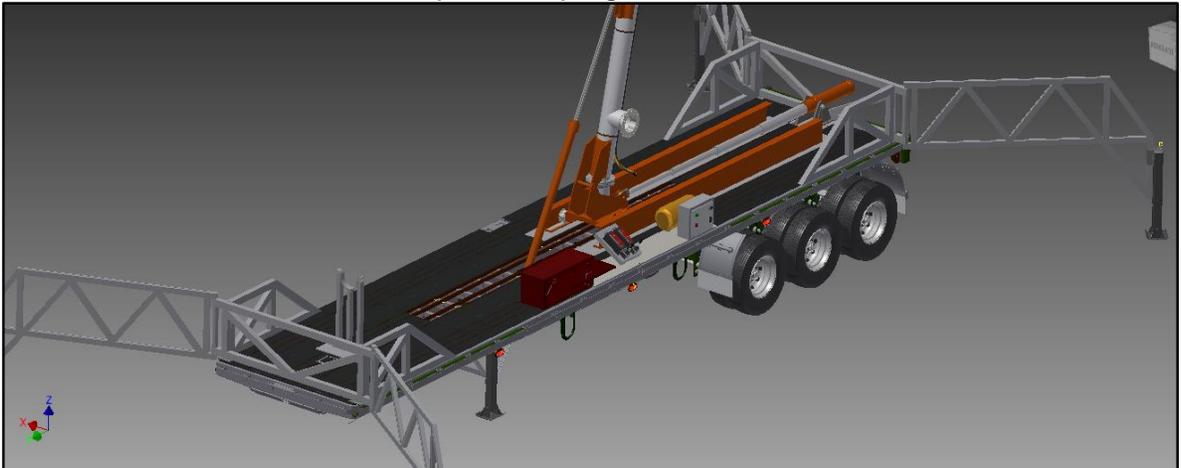
Ilustración 23. Apoyo del Cilindro Hidráulico- vista inferior



En la ilustración 23 se muestra resaltado en azul, las vigas que están aseguradas al alma de la estructura del tráiler, estas vigas serán los elementos que contendrán la fuerza que ejerce el cilindro hidráulico para levantar hasta 44 grados (determinado así en el análisis del mecanismo general ilustración 31) tubo de la Tea.

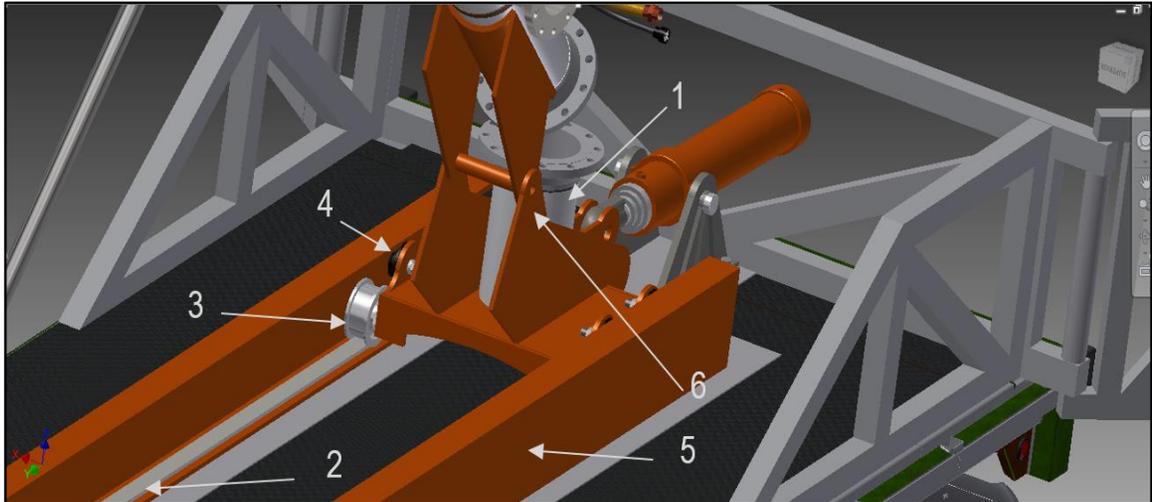
Posteriormente el cilindro Telescópico comenzará a actuar desplegando cada una de sus etapas hasta recorrer una distancia de carrera de 3800 milímetros (distancia determinada por las dimensiones de la plataforma) y por medio del sistema de deslizamiento la Tea logrará finalizar su posición vertical y quedará apta para realizar el anclaje a las extensiones laterales con guayas, conexiones eléctricas y del gas y finalmente empezar a operar.

Ilustración 24. Cilindro Telescópico Desplegado.



4.2.5 Sistema de Desplazamiento. Este sistema que está compuesto por rieles de tipo llantón, el sistema permite balancear la posición de la Tea equilibrado su centro de masa en el centro de la plataforma (tráiler), este sistema está compuesto por cuatro ruedas en acero con un segmento fijo que empalmará con el resto de la Tea, adicionalmente estará restringido su movimiento hacia arriba con cuatro rodaduras de alta capacidad de carga.

Ilustración 25. Sistema de deslizamiento sobre la plataforma



En la figura 25 se pueden detallar las siguientes partes: 1. Segmento de tubo con brida para el ajuste de la tea, 2. Riel tipo llantón, 3. Ruedas para riel en acero, 4. Rodadura para puente grúa de alta carga, 5. Guía para rodadura, 6. Apoyo de movimiento de la Tea.

#### 4.3 DISEÑO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL DEL TRANSPORTE MÓVIL

Para el diseño del sistema de transporte móvil se deben tomar en cuenta varios aspectos fundamentales e incógnitas que se irán desarrollando a través del capítulo, el problema del diseño radica en asignar y calcular los elementos necesarios para levantar el ducto de 18 metros de largo resistiendo los elementos que lo soportan y sin deformación del ducto debido a las fuerzas actuantes.

4.3.1 Parámetros iniciales de carga y dimensión. Para adaptar una tea móvil a un sistema de transporte, se requerirá de un tráiler o plataforma el cual va a soportar la carga del ducto de la tea y también el sistema de apoyos que debe estar adecuado de tal manera que la fuerzas implicadas en el levantamiento del tubo no produzcan alguna deformación en la estructura en general.

Ilustración 26. Tráiler de carga



Fuente: Montracon. En línea, <<http://www.montracon.com/>>

De acuerdo a la normatividad que estipula la **American Petroleum Institute (API)**, el material y tipo de ducto debe ser un tubo de acero ASTM A53 Schedule 40 (STD 40) y grado B para usos petroquímicos, los datos y características físicas que proporciona la ficha técnica del Tubo son:

Tabla 6. Propiedades del ASTM A53 (STD 40)

Diámetro nominal	10 Pulgadas
Diámetro exterior	10.75 pulgadas – 273.05 mm
Diámetro interno	10.02 pulgadas – 254.51mm
Espesor de lamina	9.27 mm
Masa	60.24 Kg/m
Límite de fluencia	35000 psi - 240 MPa
Resistencia a la tracción	60000psi – 415 MPa

Con datos de entrada que muestra la tabla anterior, se puede estimar las dimensiones específicas para cada elemento del diseño funcional, y se ajustará el diseño a los requerimientos de carga y dimensión.

La carga de la Tea está dada por:

Ecuación 1. Fórmula de peso

$$W = m * g$$

Donde:

W= peso

“m”= masa

“g”= gravedad, valor promedio (9,8 m/s<sup>2</sup>)

Para determinar la carga total del sistema de la tea hay que tener en cuenta que el tubo de la tea se divide en dos secciones, una de 10 metros y otra de 8 metros

para un total de 18 metros, estas secciones estarán unidas por medio de bridas normalizadas, la masa del tubo y de las bridas se pueden verificar por tablas (ver anexos A y B). La carga total de la tea está dada por:

Ecuación 2. Carga total de la Tea.

$$W_t = (m_{tubo} + m_{bridas} + m_{accesorios}) * g$$

Para la estimación del peso de los accesorios se tomará un valor estimativo del 10% de los elementos del sistema, ya que se desconocen los valores de masa.

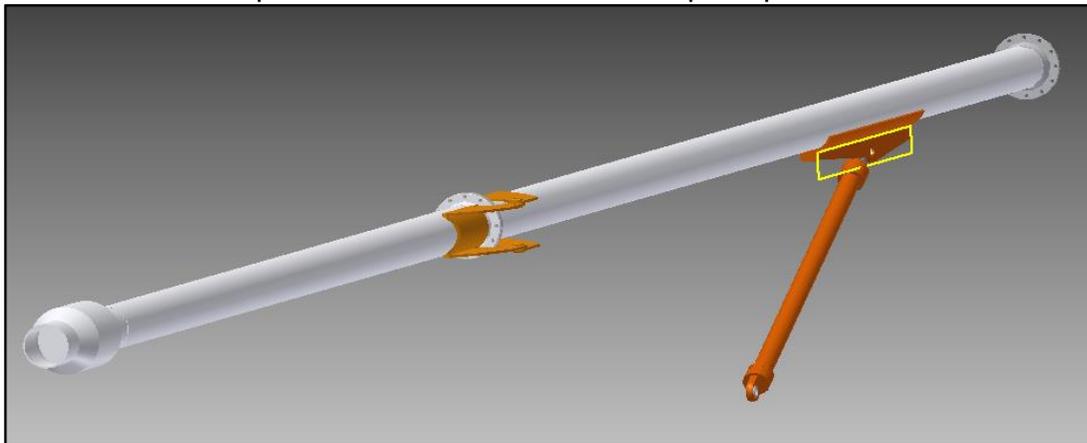
$$W_t = \left\{ \left( 60.24 \frac{kg}{m} * 18 m \right) + (23.6 Kg * 4 und) + [(m_{tubo} + m_{bridas}) * 0.1] \right\} * g$$

$$W_t = (1196.98 Kg + 119.69 Kg) * g$$

$$W_t = (1316.68 Kg) * g = 12903 N$$

Una vez conocida la carga se procede a analizar la fuerza que debe realizar el cilindro hidráulico para poder levantar esta carga desde la posición horizontal, de esta manera se podrán saber las otras fuerzas implicadas en el sistema estructural, además al conocer la fuerza que realiza el cilindro, se pueden determinar otros elementos como lo son los apoyos del cilindro y la estructura, en la ilustración que está a continuación se puede detallar la manera de la disposición de los accesorios.

Ilustración 27. Disposición del cilindro hidráulico principal



Debido al espacio en el que se debe adaptar todo el sistema, el cilindro hidráulico se pondrá en una posición inclinada de 30° con respecto a la horizontal de la plataforma y es allí donde se produce la fuerza crítica que es la necesaria para

romper el momento de inercia, el cilindro hidráulico solo levantará el tubo hasta cierto punto y después con ayuda del cilindro telescópico ubicado en la parte de atrás de la plataforma, deslizará el tubo de la tea sobre la plataforma por medio de un sistema de riel rodadura, y finalmente terminar de elevar la tea mientras se desliza través de la plataforma.

Ilustración 28. Diagrama cilindro hidráulico posición inicial

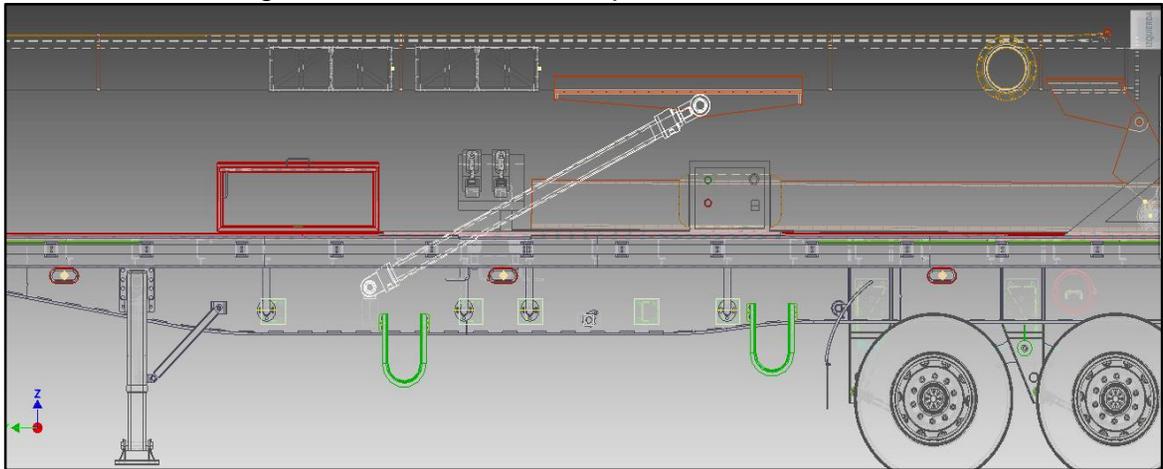
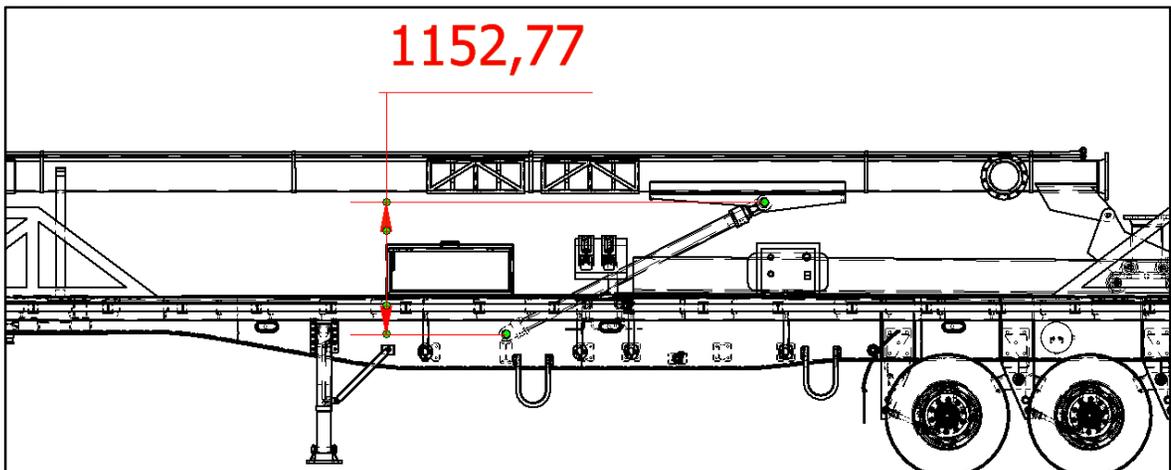
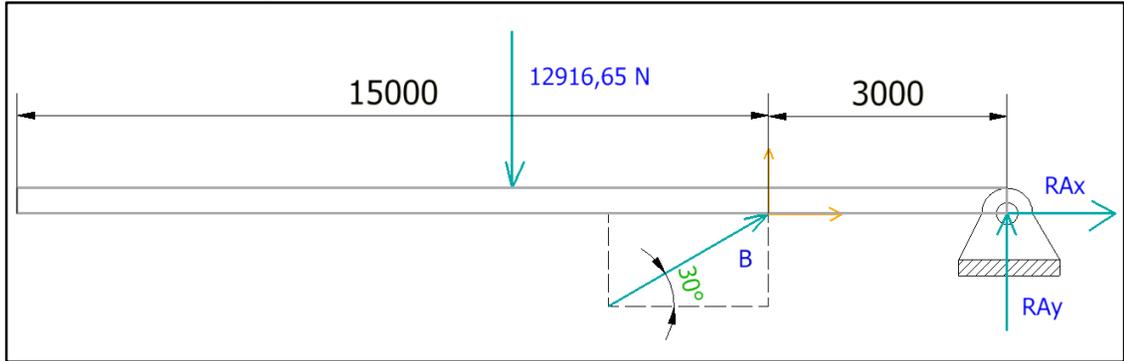


Ilustración 29. Distancia del punto de apoyo en la base al punto de apoyo en la Tea



En la figura anterior se puede ver la disposición del cilindro el cual levantará la carga total que incluye el peso del tubo, las bridas y accesorios, para conocer la fuerza necesaria que necesita el cilindro hidráulico en el punto B para levantar el tubo se dispone que el cilindro está situado a tres metros del punto A.

Ilustración 30. Diagrama de cargas, fuerza del cilindro y reacciones en el tubo



Una vez conociendo la distancia entre el punto A y el punto B (3 metros), se procede a realizar la determinación de la fuerza B mediante sumatoria de fuerzas y momentos.

$$\sum F_x = 0 \rightarrow B * \cos(30^\circ) + RA_x = 0$$

$$RA_x = -B * \cos(30^\circ)$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow RA_y + B * \text{sen}(30^\circ) - 12916.65 \text{ N} = 0$$

$$RA_y = -B \text{ sen}(30^\circ) + 12916.65 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$[(9\text{m}) * (-12916.65 \text{ N})] + [(3\text{m}) * B \text{ sen}(30)] = 0$$

$$B = \frac{118109.75 \text{ N} \cdot \text{m}}{3\text{m} * \text{sen}30} = 78739.9 \text{ N}$$

Reemplazando en la ecuación de sumatoria de fuerzas en x y sumatoria de fuerzas en y:

$$RA_x = -78739.9 \text{ N} * \cos(30^\circ)$$

$$RA_x = -68190.754 \text{ N}$$

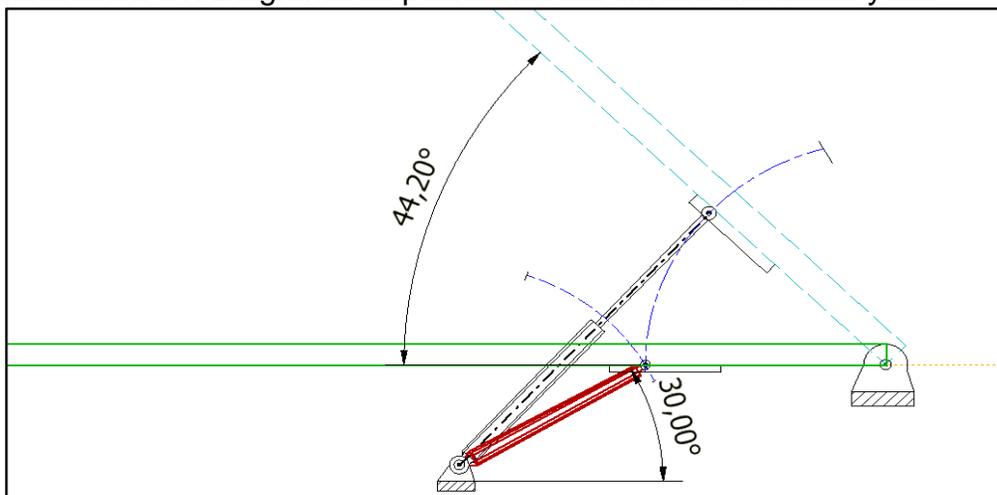
$$RA_y = -78739.9 \text{ N} \text{ sen}(30^\circ) + 12916.65 \text{ N} \rightarrow RA_y = 26453.3 \text{ N}$$

Una vez obtenida la magnitud en el punto B que es la necesaria en el cilindro hidráulico para generar el levantamiento del tubo se procede a hacer un cálculo

previo de las dimensiones del cilindro para saber el esfuerzo en los pasadores y por consiguiente el de los apoyos que lo contienen.

Para determinar la carrera necesaria del cilindro, se crea un diagrama de mecanismos, que para lograr una inclinación del tubo de al menos 44 grados a partir de la horizontal que es su posición de transporte, se necesita una carrera de 2000 milímetros tal y como se puede apreciar en la (figura 31), de la posición mostrada en la que queda el ducto (a 44.2 grados de la horizontal) se termina de levantar por medio de un cilindro telescópico que estará situado en la base de la plataforma, haciendo desplazar el sistema sobre la plataforma para lograr un izaje a 90 grados.

Ilustración 31. Diagrama de posiciones del cilindro hidráulico y tea



Para una carrera requerida de 2000mm y una fuerza requerida  $F = 78739.9 \text{ N}$ , se puede calcular el émbolo con la siguiente fórmula:

Ecuación 3. Cálculo de diámetro émbolo

$$\phi_e = \sqrt{\frac{4 * F}{\pi * P * \eta}}$$

Fuente: prontuario de hidráulica industrial, Pág. 102

Dónde:

$F$  es la fuerza requerida para levantar el ducto de la Tea,  $P$  es la presión nominal de trabajo del cilindro, y  $\eta$  es la eficiencia

La presión que se usa para el cálculo del émbolo será la recomendada por la norma ISO 6020 la cual sugiere una presión de trabajo de 160 Bar ( $160 \times 10^5$  Pa), y para la eficiencia se utilizará un valor de 0.9

$$\phi_e = \sqrt{\frac{4 * 78739.9 \text{ N}}{160 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * \pi * 0.9}}$$

$$\phi_e = 0.083439 \text{ m} \cong 83.818 \text{ mm}$$

Una vez obtenido el diámetro del émbolo se procede a calcular el diámetro del vástago que es el elemento que soportará la carga.

Ecuación 4. Cálculo diámetro vástago

$$\phi_v = \sqrt[4]{\frac{64 * F_p * L_p^2 * F_s}{\pi^3 * E}}$$

Fuente: prontuario de hidráulica industrial, Pág. 102

Dónde:  $F_p$  = fuerza,  $L_p$  = longitud de pandeo,  $F_s$  = factor de seguridad, y  $E$  = módulo de elasticidad

Para el cálculo de esta sección se tomará el módulo de elasticidad general del acero con un valor de  $2.1 \times 10^5$  Mpa, un factor de seguridad 2.0 y se establece que el punto de apoyo en la estructura al punto de apoyo del tubo estando el vástago totalmente desplegado hay una distancia de 4000 mm.

Ilustración 32. Dimensiones para calcular el cilindro Hidráulico

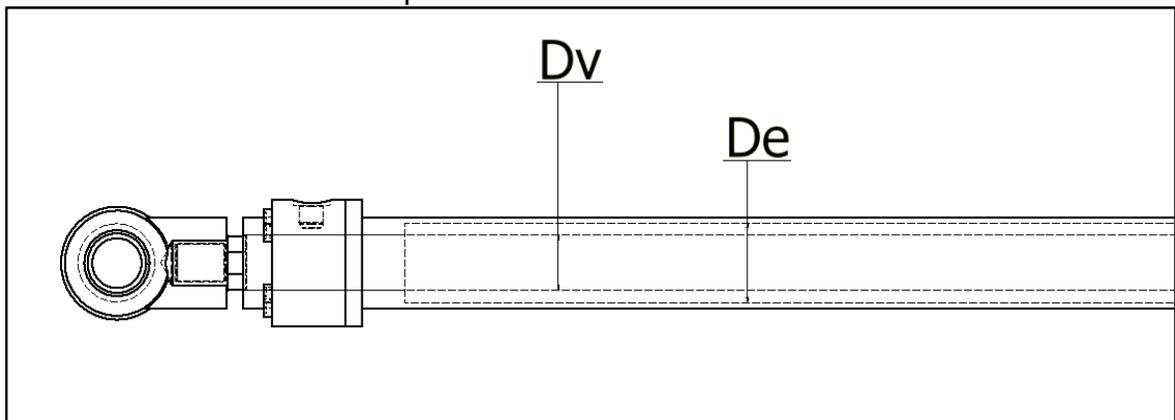
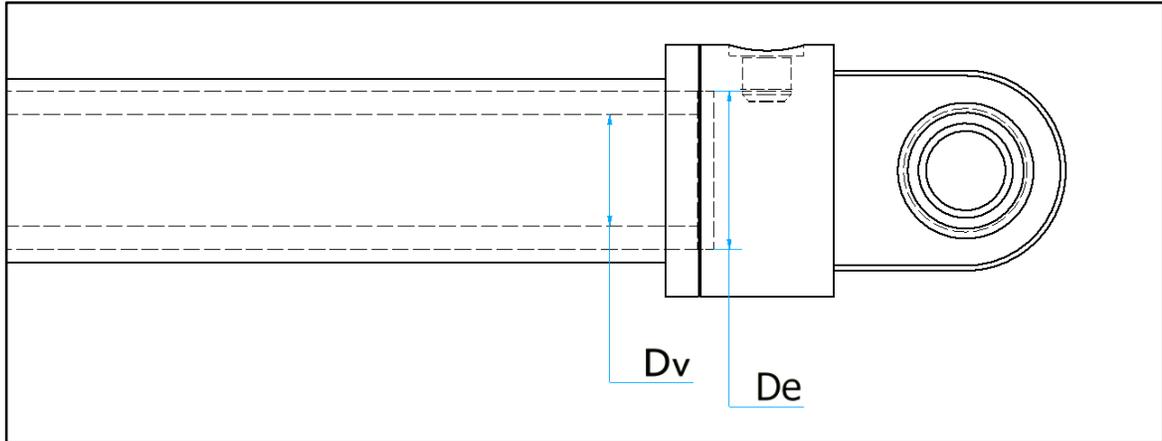


Ilustración 33. Dimensiones Cilindro hidráulico - detalle extremo de la camisa



$$\phi_V = \sqrt[4]{\frac{64 * 78739.9N * (4000mm^2) * 2.0}{\pi^3 * 2.1 \times 10^5 \frac{N}{mm^2}}}$$

$$\phi_V = 70.5 \text{ mm}$$

Los valores hallados del diámetro del vástago (70 mm) y del émbolo (80mm) se corroboran con una tabla de la norma ISO 6020

Tabla 7. Tabla de diámetros normalizados relación vástago-émbolo

			SECCIONES / AREAS			FUERZAS / FORCES (160bar) <sup>(1)</sup>		
PISTON	VASTAGO	RELACION SECCIONES	PISTON	VASTAGO	ANULAR	EMPUJE	DIFERENCIAL	TRACCION
PISTON	PISTON ROD	AREA RATIO	PISTON	PISTON ROD	ANNULUS	PUSH	REGEN.	PULL
AL Ø mm	MM Ø mm	$\phi$ A <sub>1</sub> / A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> cm <sup>2</sup>	A <sub>2</sub> cm <sup>2</sup>	A <sub>3</sub> cm <sup>2</sup>	F <sub>1</sub> kN	F <sub>2</sub> kN	F <sub>3</sub> kN
25	14 18	1.46 2.08	4.91	1.54 2.54	3.37 2.36	7.85	2.44 4.07	5.37 3.76
32	18 22	1.46 1.90	8.04	2.54 3.80	5.50 4.24	12.80	4.07 6.08	8.78 6.76
40	22 28	1.43 1.96	12.56	3.80 6.16	8.76 6.41	20.00	6.08 9.82	14.03 10.24
50	28 36	1.46 2.08	19.63	6.16 10.18	13.47 9.46	31.30	9.82 16.29	21.55 15.10
63	36 45	1.48 2.04	31.17	10.18 15.90	20.99 15.27	49.80	16.29 25.40	33.56 24.41
80	45 56	1.46 1.96	50.26	15.90 24.63	34.36 25.63	80.30	25.40 39.30	54.96 40.99
100	56 70	1.46 1.96	78.54	24.63 38.48	53.91 40.06	125.00	39.30 61.50	86.22 64.04
125	70 90	1.46 2.08	122.72	38.48 63.62	84.24 59.10	196.00	61.50 101.00	134.70 94.49

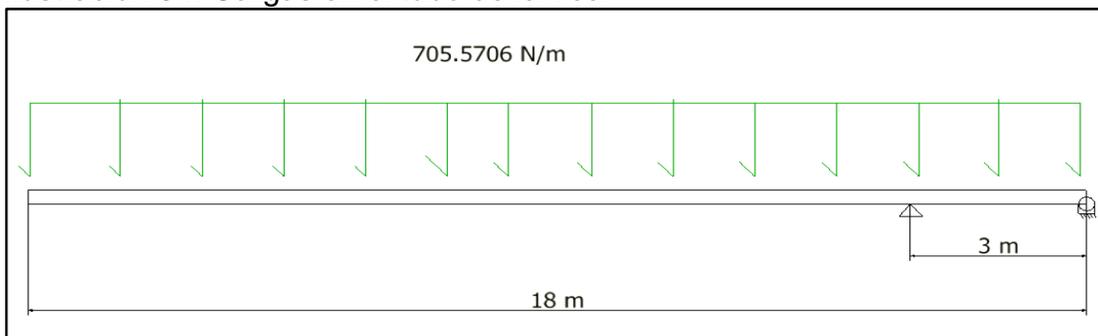
Fuente: catálogo de cilindros ALPESA S.L. Pag.5

Como se ve en la tabla que para un diámetro de vástago de 70 mm no se puede utilizar con un diámetro de embolo de 80 mm por lo que se opta por dejar un diámetro de 100mm, para las otra dimensiones se puede corroborar en el catálogo (ver anexo C) y este muestra que este cilindro dispone de un diámetro para el pasador delantero de 63 mm, y un diámetro de pasador de 50 mm en la base o parte trasera del cilindro.

4.3.2 Diseño y cálculo de estructura. Este es un paso fundamental en el diseño del sistema de transporte móvil ya que en esta sección se analizará el comportamiento de la mayoría de elementos frente a las cargas de peso y a las cargas de fuerza de los cilindros hidráulicos.

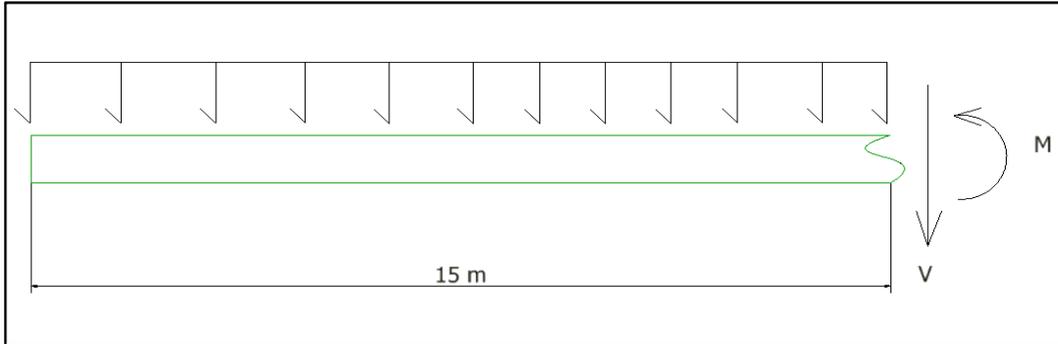
4.3.3 Análisis del ducto de la Tea. El tubo de la tea es el elemento que está expuesto a las cargas y esfuerzos dados por el peso del mismo tubo y la disposición de los apoyos, debido a la necesidad de transportar el dispositivo a distintos campos de trabajo es necesario realizarlo de manera horizontal, esto genera una serie de implicaciones como lo es la distancia de los puntos de apoyo para poder levantar el tubo. Así como se muestra en la ilustración 34, se denotan las cargas y reacciones a las que está expuesto el tubo, las cuales mediante un análisis se determinará si el tubo resiste las cargas.

Ilustración 34. Cargas en el tubo de la Tea



Para la determinación de los esfuerzos a los que estará sometido el tubo de la Tea se hará un análisis asumiendo el elemento como una viga de tal modo que se calculará como un elemento estructural sometido a flexión, siendo el ducto un elemento simétrico se comienza analizándolo por secciones realizando un corte en el punto exacto donde está el apoyo del cilindro hidráulico.

Ilustración 35. Corte seccional en tubo



Dónde:  $V$ = fuerza cortante en la sección de corte,  $M$ = momento flector

La fuerza cortante que es ejercida en esta sección es la magnitud de la carga distribuida a lo largo del elemento por la longitud de la sección:

$$V_1 = -705,5706 \frac{N}{m} * 15 m$$

$$V_1 = -10583.559 N$$

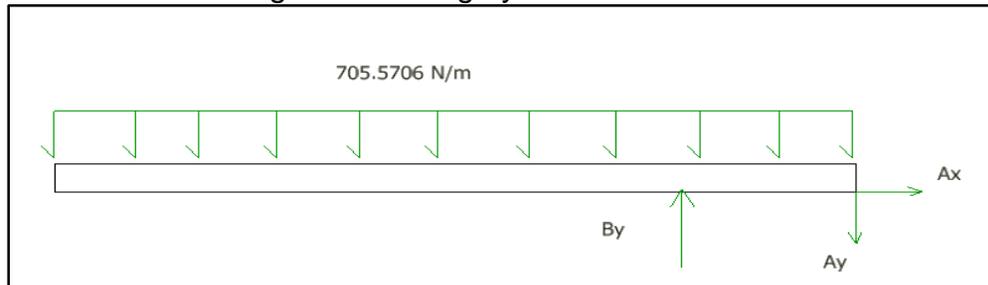
El momento flector se determina por la magnitud de la carga puntual por la distancia que genera el momento.

$$M_1 = \left[ -705.5706 \frac{N}{m} * 15m \right] * 7.5m$$

$$M_1 = -70376.6925 N \cdot m$$

Para determinar  $A_y$  y  $B_y$  se realiza una sumatoria de momentos:

Ilustración 36. Diagrama de carga y reacciones en el tubo



Tomando de referencia a los puntos A y B se obtiene la siguientes sumatorias de momentos

$$\sum M_B = 0$$

$$\left[ \left( 705.5706 \frac{N}{m} * 15m \right) * 7.5m \right] - \left[ \left( 705.5706 \frac{N}{m} * 3m \right) * 1.5m \right] - (A_y * 3m) = 0$$

$$A_y = \frac{79376.69 N \cdot m - 3175.068 N \cdot m}{3m}$$

$$A_y = \frac{76201.622 N \cdot m}{3m}$$

$$A_y = 25400.56 N$$

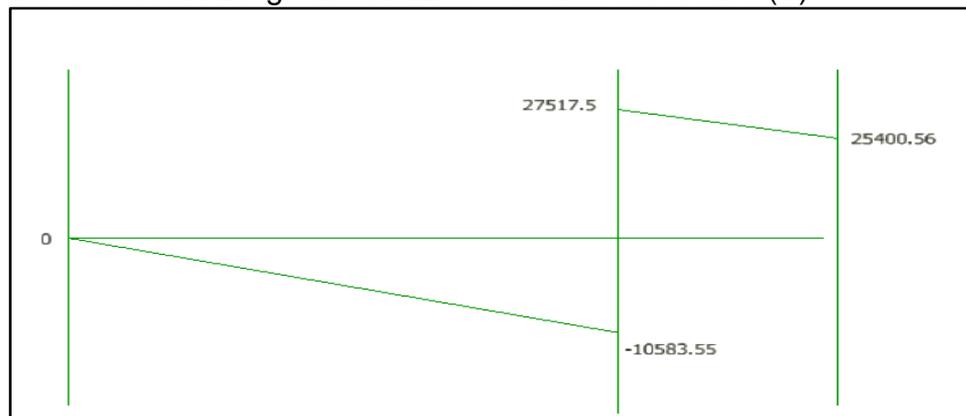
$$\sum M_A = 0$$

$$\left[ \left( 705.5706 \frac{N}{m} * 18m \right) * 9m \right] - [B_y * (3m)] = 0$$

$$B_y = 38100.81 N$$

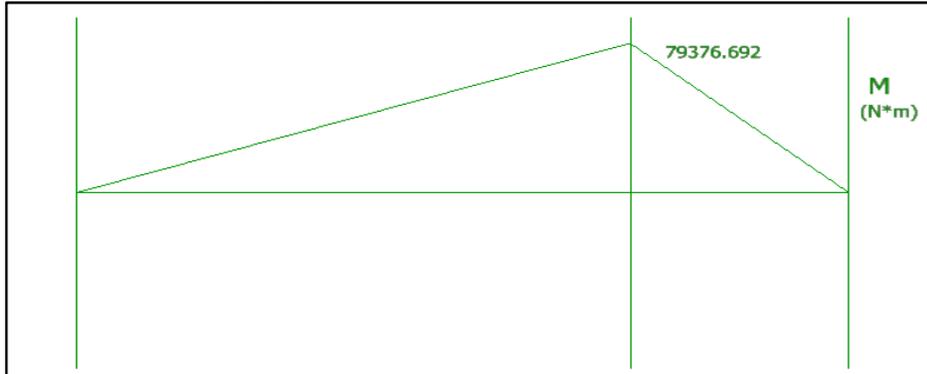
Una vez obtenidos las resultantes en los apoyos, se pueden conocer los puntos máximos de la fuerza cortante a la que está sometido el tubo y el momento máximo, que posteriormente ayudarán a determinar las deformaciones en el elemento, en el siguiente diagrama se expondrá la sumatoria de componentes verticales.

Ilustración 37. Diagrama fuerzas cortantes en el tubo (V)



En la figura se muestra que el punto crítico donde está la fuerza cortante máxima es donde se ubica el punto de apoyo del cilindro hidráulico

Ilustración 38. Diagrama de momento flector (M)



Al igual que en el diagrama de fuerza cortante, el momento máximo generado en el tubo es donde está ubicado el apoyo del cilindro hidráulico. Para determinar si el tubo está expuesto a una carga que supera su esfuerzo de fluencia y está sometido a una carga mayor a la permisible se determina por el esfuerzo del elemento que está dado por:

Ecuación 5. Esfuerzo máximo a la flexión

$$\sigma_m = \frac{M * C}{I}$$

Fuente: Mecánica de materiales, Ferdinand P. Beer, pág. 217

Dónde: M= es el momento máximo, C= es la distancia máxima desde el punto medio de la sección transversal, I= momento de inercia de la sección transversal

Para hallar el momento de inercia que actúa sobre el eje centroidal transversal se recurre a la ecuación de momento de inercia para un cilindro:

Ecuación 6. Momento de inercia de un cilindro

$$I_x = \frac{1}{4} \pi * r^4$$

Fuente: Mecánica de materiales, Ferdinand P. Beer, pág. Apéndice.

Debido a que el elemento es un cilindro hueco, la ecuación de momento de inercia se ve modificada convirtiéndose en una diferencia de momentos respecto al diámetro interior y al exterior.

$$I_x = \left( \frac{\pi}{4} * R^4 \right) - \left( \frac{\pi}{4} * r^4 \right)$$

$$I_x = \frac{\pi}{4} * (R^4 - r^4)$$

Reemplazando los valores obtenidos de los diámetros obtenidos de las especificaciones del tubo SCH 40 de diámetro nominal de 10 Pulg.

$$I_x = \frac{\pi}{4} * [(136.525mm)^4 - (127.254mm)^4]$$

$$I_x = 66896168.67 \text{ mm}^4$$

Reemplazando valores en la ecuación 5:

$$\sigma_m = \frac{79376693 \text{ N} \cdot \text{mm} * 136.325 \text{ mm}}{66896168.67 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_m = 161.995 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo máximo dado demuestra que el elemento resiste en condiciones extremas que es el instante en el que el cilindro hidráulico comienza a levantar el tubo, debido a que el esfuerzo de fluencia del ASTM A53 grado B es de 240 Mpa.

4.3.4 Análisis en los pasadores de los apoyos. Los apoyos del cilindro hidráulico son los elementos que reciben toda la carga necesaria del cilindro para efectuar el levantamiento del tubo de la Tea, los pasadores que deben estar adaptados a los pasadores que son designados por el cilindro seleccionado, el diseño de estos apoyos debe permitir soportar diferentes cargas durante el montaje de la Tea, lo cual requiere una resistencia a las cargas del cilindro y el peso de la estructura. Analizando los pasadores de los apoyos del cilindro hidráulico como elementos sólidos ideales. Para el pasador de la base del cilindro ( $\varnothing = 50 \text{ mm}$ ), pero hay que tener en cuenta que la articulación del cilindro debe llevar un buje para evitar el desgaste del apoyo:

Ilustración 39. Pasador en el apoyo que sostiene la tea

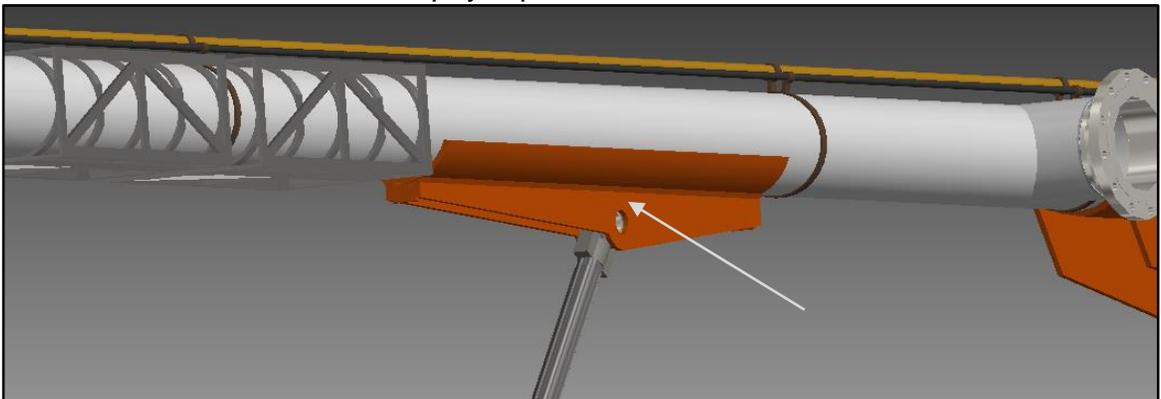


Ilustración 40. Pasador en el apoyo en la viga extremo de la camisa

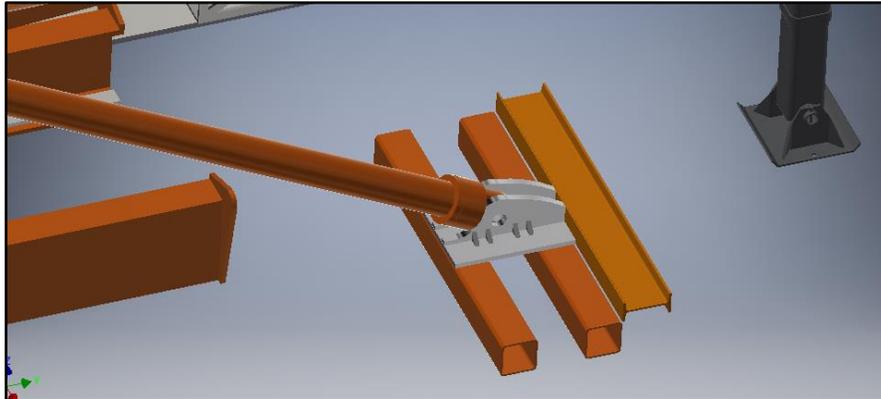
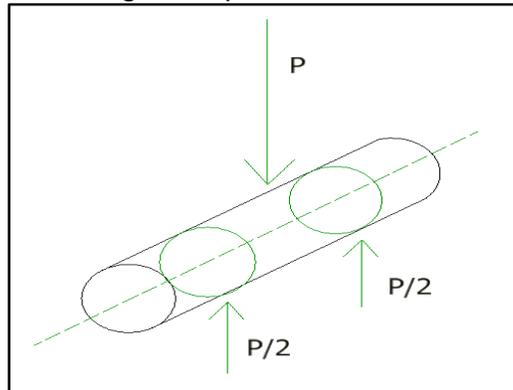


Ilustración 41. Cargas en pasador base cilindro hidráulico



Usando la relación del factor de seguridad con relación al esfuerzo permisible cortante se puede obtener que para un factor de seguridad de 2,5;

$$\tau_{perm} = \frac{\tau_{ult}}{F.S.}$$

Para el acero seleccionado para ejes, pasadores y bisagras para este proyecto (AISI SAE 1045) con un límite de fluencia de 310 Mpa. (Ver anexo D).

$$\tau_{perm} = \frac{310 \text{ MPa}}{2.5} \rightarrow \tau_{perm} = 124 \text{ MPa}$$

Como se puede apreciar en la figura 41 la carga que recibe el pasador causada por la fuerza que ejerce el cilindro crea dos reacciones que son las correspondientes a las láminas de los apoyos. El esfuerzo resultante en el pasador es un esfuerzo cortante que se denota en la siguiente expresión:

Ecuación 7. Esfuerzo cortante

$$\tau = \frac{P}{A} = \frac{F}{2A}$$

Fuente: mecánica de materiales, Ferdinand P. Beer, pág. 11

$$F = 78739.9 \text{ N}$$

$$P = 39369.95 \text{ N}$$

Reemplazando en la fórmula 7.

$$A = \frac{P}{\tau} = \frac{39369.95 \text{ N}}{124 \text{ N/mm}^2} = 317,49 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} * D^2 \rightarrow D = \sqrt{\frac{A * 4}{\pi}} \rightarrow D = \sqrt{\frac{317,49 \text{ mm}^2 * 4}{\pi}}$$

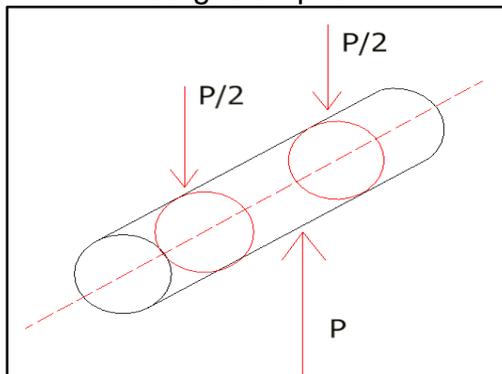
$$D = 20,11 \text{ mm}$$

Para el análisis del pasador del vástago se obtiene que:

$$\tau_{perm} = 124 \text{ MPa}$$

$$A = \frac{P}{\tau} = \frac{39369.95 \text{ N}}{124 \text{ N/mm}^2} = 317,49 \text{ mm}^2$$

Ilustración 42. Cargas en pasador del vástago



$$D = \sqrt{\frac{317,49 \text{ mm}^2 * 4}{\pi}} = 20,11 \text{ mm}$$

4.3.5 Dimensionamiento de los apoyos. Los apoyos como ya se había mencionado reciben toda la carga que efectúa el cilindro hidráulico y este transmite esta carga por medio de los pasadores a los apoyos, las dos incógnitas que se deben desarrollar son el espesor del apoyo y el ancho de la sección transversal del apoyo.

Debido a que la carga máxima se presenta cuando los apoyos están a compresión, con la relación siguiente se determina el espesor:

Ecuación 8. Esfuerzo medio a compresión

$$\sigma_b = \frac{P}{A} = \frac{P}{i * D}$$

Fuente: mecánica de materiales, Ferdinand P. Beer, pág. 11

Dónde: P= carga transmitida por el pasador del cilindro hidráulico, A= área de carga, D= diámetro del pasador, i= espesor de la lámina del apoyo

Ilustración 43. Apoyo en la base del cilindro

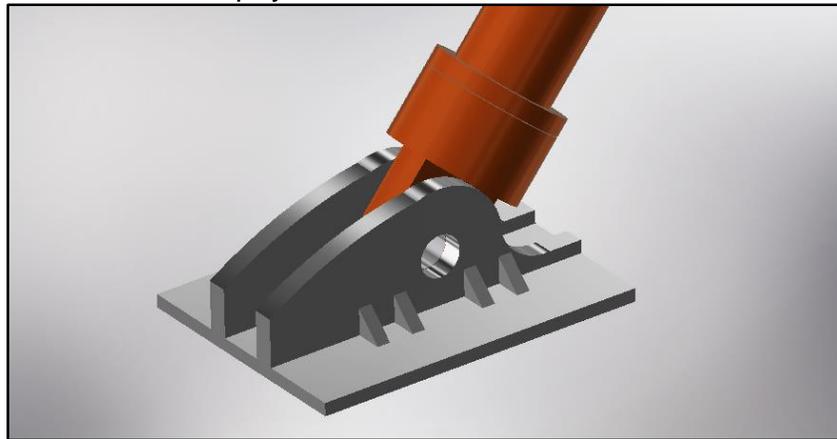
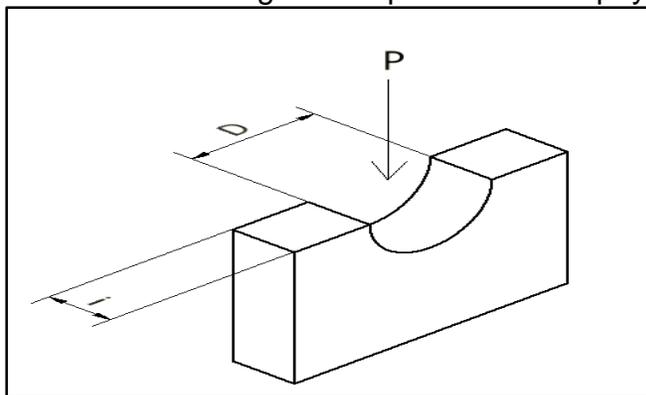


Ilustración 44. Carga a compresión en el apoyo



Para determinar el esfuerzo apropiado que debe actuar en el apoyo se debe suponer un esfuerzo permisible calculado por un factor de seguridad seleccionado para el diseño, existe una serie de criterios que determinan el factor de seguridad apropiado para el cálculo del esfuerzo permisible en una sección.

Ecuación 9. Factor de seguridad

$$\text{Factor de Seguridad} = \frac{\text{Carga última}}{\text{Carga permisible}}$$

Fuente: mecánica de materiales, Ferdinand P. Beer, pág. 28

Despejando de la anterior fórmula se obtiene que el esfuerzo permisible está dado por:

$$\sigma_p = \frac{\sigma_{ult}}{F.S}$$

El esfuerzo permisible se obtiene por medio del esfuerzo último o esfuerzo de fluencia del material para este caso es el ASTM A 572 Grado 50 con un esfuerzo de fluencia de 345 MPa. (Ver apéndice G). En cuanto al factor de seguridad se selecciona un factor de 3.5 debido al criterio de ser una sección estructural estática sometida a cargas dinámicas.

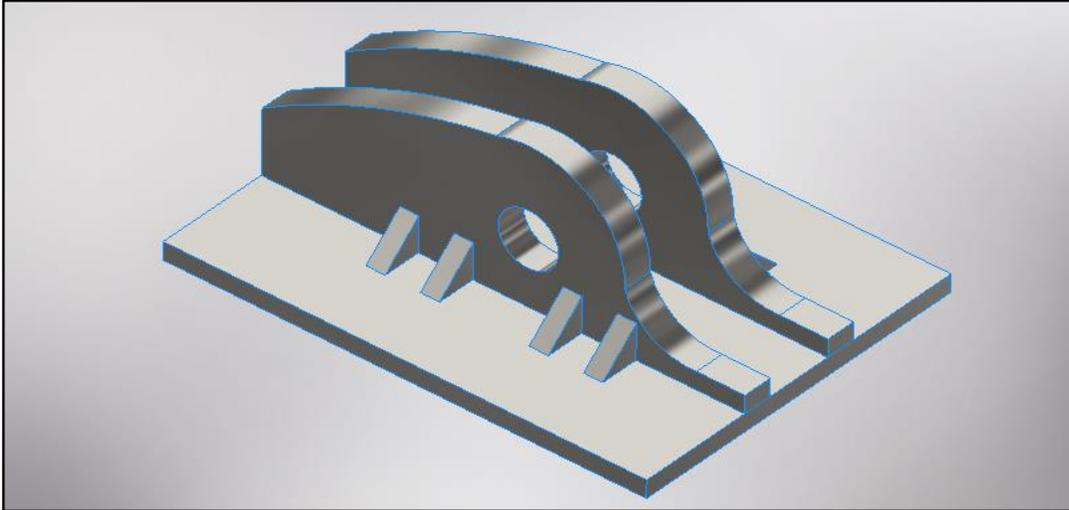
Otros criterios más específicos referentes a la selección del factor de seguridad se pueden verificar en el libro Mecánica de Materiales de Ferdinand P. Beer en la página 29, donde se describen factores como los son variaciones en el material, fatiga del material respecto a la vida del diseño, cambio de cargas por alguna alteración o situación presentada en la operación, entre otras.

$$\sigma_p = \frac{345 \text{ MPa}}{3.5}$$

$$\sigma_p = 98.571 \text{ MPa}$$

Ahora reemplazando en la ecuación 8 para determinar el espesor de la lámina del apoyo en la sección de la base del cilindro hidráulico, se tiene que:

Ilustración 45. Apoyo del cilindro hidráulico en la Viga



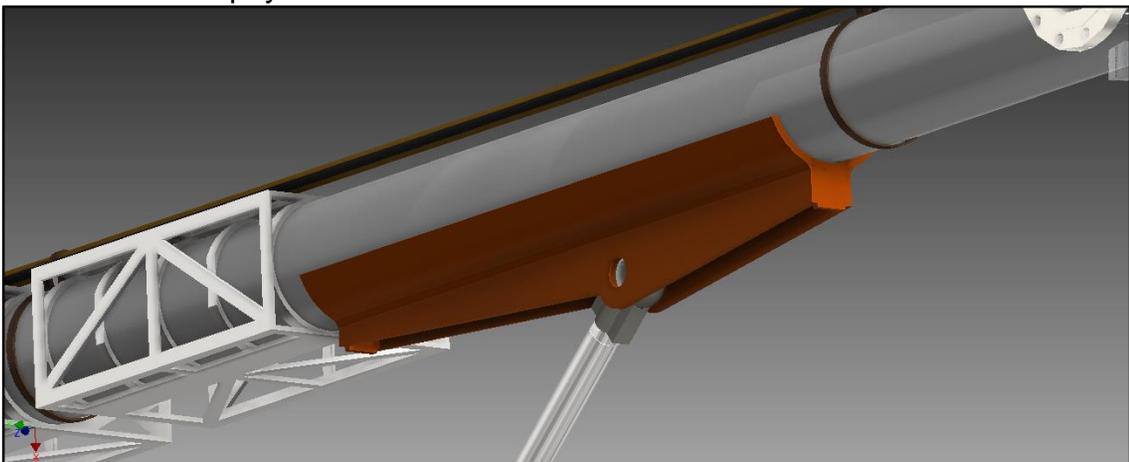
$$98.571 \text{ MPa} = \frac{78739.9 \text{ N}}{50 \text{ mm} * e}$$

$$e = \frac{78739.9 \text{ N}}{50 \text{ mm} * 98.571 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$e = 15,97 \text{ mm}$$

El espesor hallado se aproxima al comercial que es equivalente a 5/8 de pulgada (aproximadamente 15.88 mm). Ahora se procede a analizar y a determinar el espesor en la sección del apoyo que está conectado al vástago del cilindro hidráulico.

Ilustración 46. Apoyo del cilindro hidráulico en el Tubo



$$98.571 \text{ MPa} = \frac{78739.9 \text{ N}}{63 \text{ mm} * e}$$

$$e = \frac{78739.9 \text{ N}}{63 \text{ mm} * 98.571 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$e = 12.67 \text{ mm}$$

El espesor hallado en este apoyo es menor al calculado en la base del cilindro o sea el que va en la viga de apoyo, por consiguiente se decide dejar el espesor (15.88 mm) del apoyo de la viga también para el apoyo del tubo para generar una mayor confiabilidad debido a las cargas fluctuantes que se pueden presentar en el tubo.

Para terminar de dimensionar los apoyos se necesita conocer las dimensiones del ancho de las láminas de los apoyos, necesarios para resistir la carga a la que estará sometida:

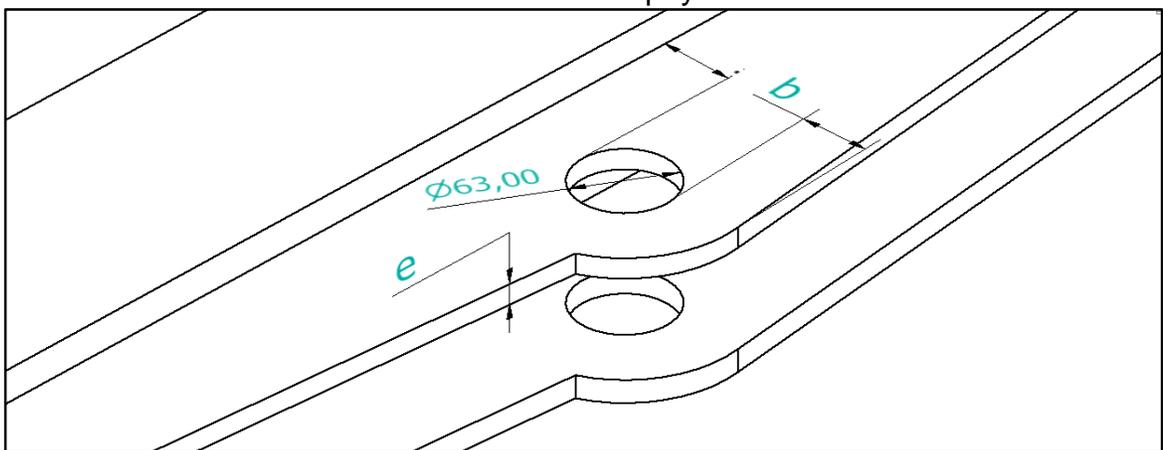
Ecuación 10. Esfuerzo admisible

$$\sigma_{adm} = \frac{P}{A}$$

Fuente: Mecánica de materiales, Ferdinand P. Beer, pág.7

$$A = \frac{P}{\sigma_{adm}}$$

Ilustración 47. Dimensiones de la lámina de apoyo



De la figura 47 se puede deducir que en el apoyo en la viga:

$$(b - D)e = \frac{F}{2\sigma_{adm}}$$

Dónde:  $b$ = es el ancho total de la sección transversal del apoyo,  $e$ = es el espesor del área transversal del apoyo y  $D$ = es el diámetro del pasador.

$$(b - 50mm) * 15.88mm = \frac{78739.9 N}{2} \cdot \frac{1}{98.571 \frac{N}{mm^2}}$$

$$(b - 50mm) * 15.88mm = 399.41 mm^2 \rightarrow b = 75.152 mm$$

Ahora analizando el apoyo en el apoyo del tubo:

$$(b - 63mm) * 15.88mm = \frac{78739.9 N}{2} \cdot \frac{1}{98.571 \frac{N}{mm^2}}$$

$$(b - 63mm) * 15.88mm = 399.41 mm^2$$

$$b = 88.1517 mm$$

4.3.6 Diseño de las vigas de apoyo del cilindro. Otro de los elementos más críticos del sistema y de la estructura son las vigas que soportan toda la fuerza que ejerce el cilindro sobre este elemento, además de la carga del peso de la Tea, las vigas estarán ubicadas en la parte inferior de la plataforma, de tal manera que estarán soldadas en sus extremos a las dos vigas principales del tráiler-plataforma las vigas que estarán a cargas fluctuantes durante el levantamiento del tubo como en la contracción del sistema y soportando el peso de la Tea.

Ilustración 48. Visualización de vigas de apoyo del cilindro hidráulico.

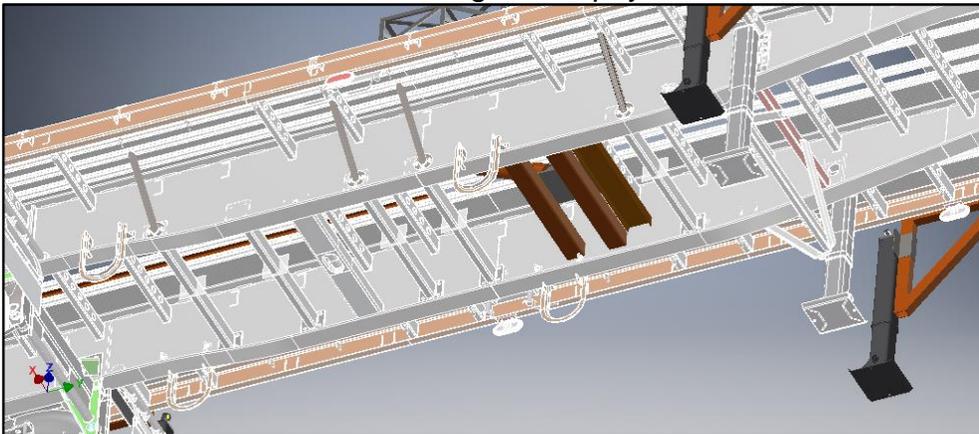
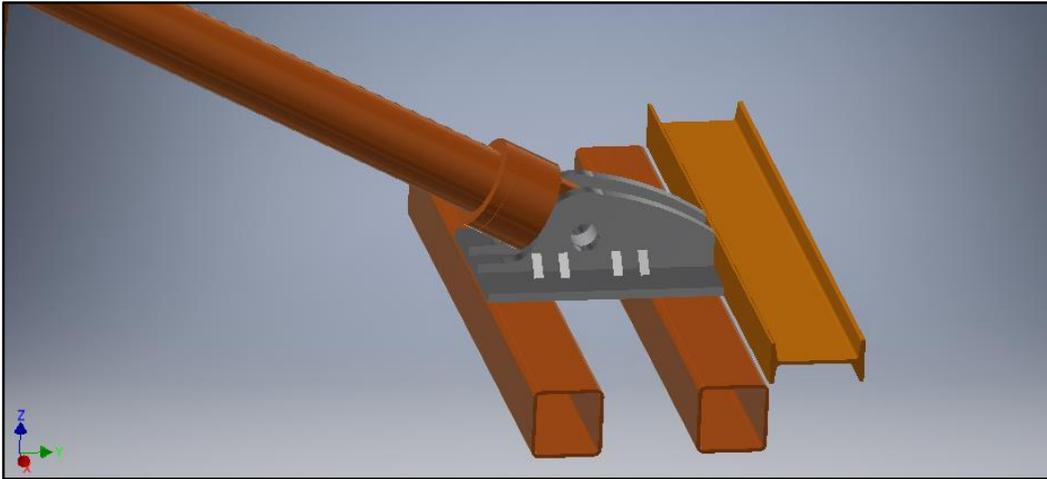
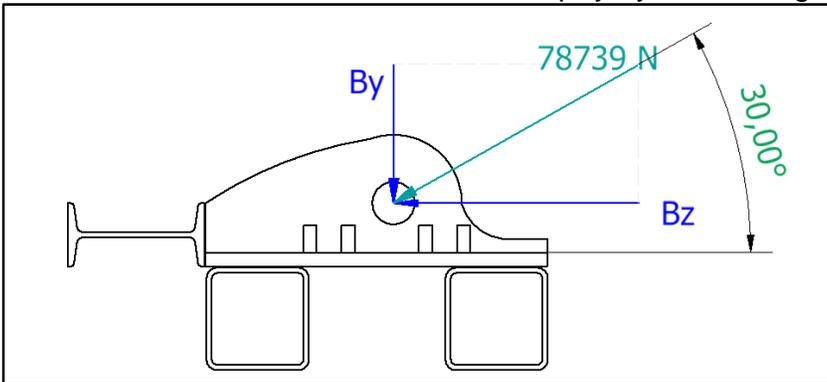


Ilustración 49. Vigas como soporte de carga del cilindro



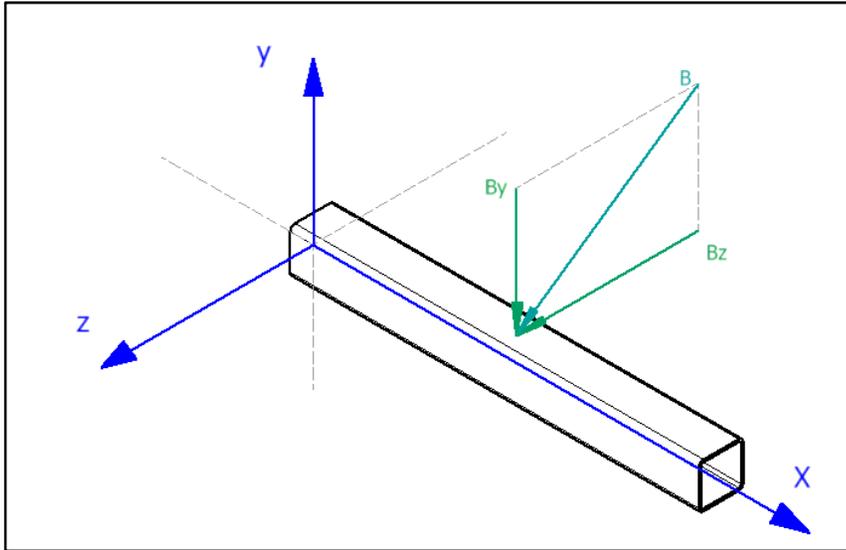
En las figuras anteriores se muestra la distribución espacial de la disposición de las vigas las cuales estarán como lo muestra la figura 48 empotradas en la estructura de la plataforma, y en la figura 49 se muestra como reposara la carga sobre las vigas transmitida por el apoyo del cilindro hidráulico. La carga que está definida por la fuerza que ejerce el cilindro hidráulico al momento de accionarse cuando la Tea está en posición horizontal, esta carga tiene una magnitud de 78739 N, en la ilustración que está a continuación muestra cómo está definida la fuerza y su descomposición vectorial.

Ilustración 50. Fuerzas actuante en el apoyo y las dos vigas



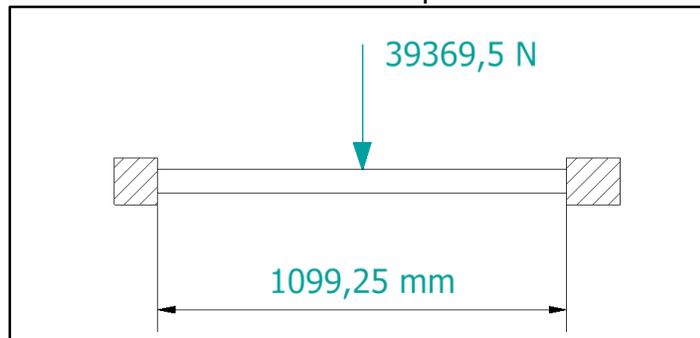
En la ilustración 51 se muestra cómo actúan las cargas en cada viga donde se tiene que  $B_y = 39369,5$  N ejercerá en esfuerzo a flexión y  $B_z = 68189,97$  N ejercerá un esfuerzo a torsión.

Ilustración 51. Fuerzas actuantes en la viga.



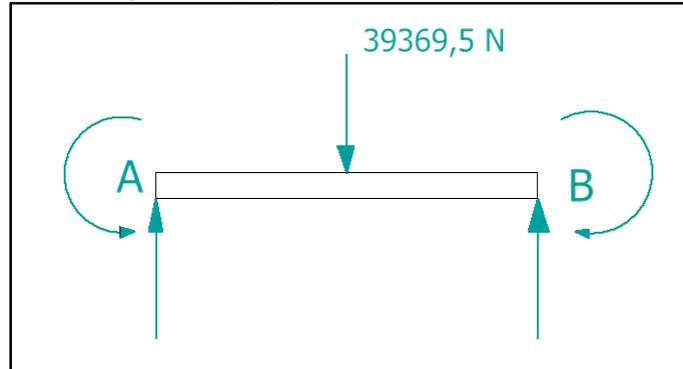
Debido a que aún no se conoce unas dimensiones para determinar el esfuerzo a la torsión primero se calcularán las vigas a flexión con la carga total como si fuera solo una viga, esto quiere decir que la componente  $B_y$  no se dividirá en dos debido a que la carga en el componente  $y$  es mucho menor que en el componente  $z$  que genera la torsión.

Ilustración 52. Diagrama de Viga del apoyo del Cilindro hidráulico plano X-Y



Como se muestra en la figura 52 la viga principal estará soportando una carga puntual de 39369,5 N en el centro del elemento correspondiente a la fuerza que ejerce el cilindro hidráulico, también se puede apreciar sus restricciones en la viga donde estará soldada en sus extremos y las dimensiones de la viga. Se realiza una sumatoria de momentos y de fuerzas para determinar las resultantes:

Ilustración 53. Diagrama de reacciones  
En la Viga del apoyo



$$\sum M_A = 0 \rightarrow R_{By}(1.09m) - 39369.5 N (0.545 m) = 0$$

$$R_{By} = 19684,7 N$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{Ay} - 39369.5 N + 19684,7 N = 0$$

$$R_{Ay} = 19684,7 N$$

Una vez obtenidos estos datos se procede a hallar un método que pueda permitir hallar el momento flector máximo para vigas hiperestáticas y en condiciones de carga y reacciones como se muestra en la figura 27, la cual dará una aproximación del perfil adecuado para este elemento.

Ecuación 11. Superposición en ángulo a flexión

$$\phi_1 = \frac{1}{2} * \frac{L}{2} * \frac{PL}{4} = \frac{PL^2}{16EI}$$

Fuente: Mecánica de Materiales, Ferdinand P. Beer, pág. 564 y apéndice D

Este es un método muy utilizado para hallar y determinar la deflexión en vigas con cargas puntuales en la mitad del elemento. Dónde: P= fuerza aplicada en la viga, E=módulo de elasticidad del acero, I= momento de inercia y L= longitud d la viga

Otro método utilizado para hallar la flexión en vigas está dado por:

Ecuación 12. Superposición de ángulo en viga

$$\phi_2 = \frac{ML}{2} = \frac{ML}{2EI}$$

Fuente: Mecánica de Materiales, Ferdinand P. Beer, pág. 561 y apéndice D

Dónde: M=momento flector, E=módulo de elasticidad, I= momento de inercia y L= longitud de la Viga

Igualación de ecuaciones suponiendo que en ambos casos se presenta el mismo ángulo de flexión para la viga. Se obtiene que:

$$\frac{ML}{2EI} = \frac{PL^2}{16EI}$$

Despejando el momento flector:

$$M = \frac{2 * P * L^2 * E * I}{16 * L * E * I} = PL/8$$

Para el momento en A:

$$M_A = \frac{PL}{8}$$

$$M_A = \frac{39369.5 \text{ N} * 1.09 \text{ m}}{8} \rightarrow M_A = 5364,09 \text{ N} \cdot \text{m}$$

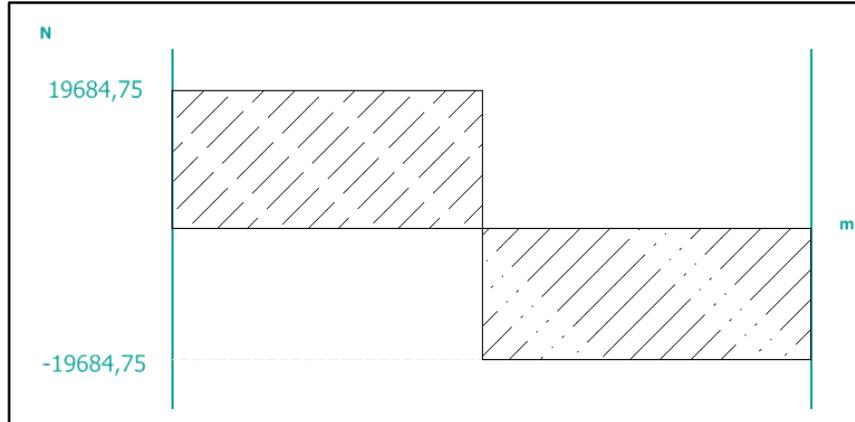
Para el momento en B:

$$M_B = -\frac{PL}{8}$$

$$M_B = \frac{-39369.5 \text{ N} * 1.09 \text{ m}}{8}$$

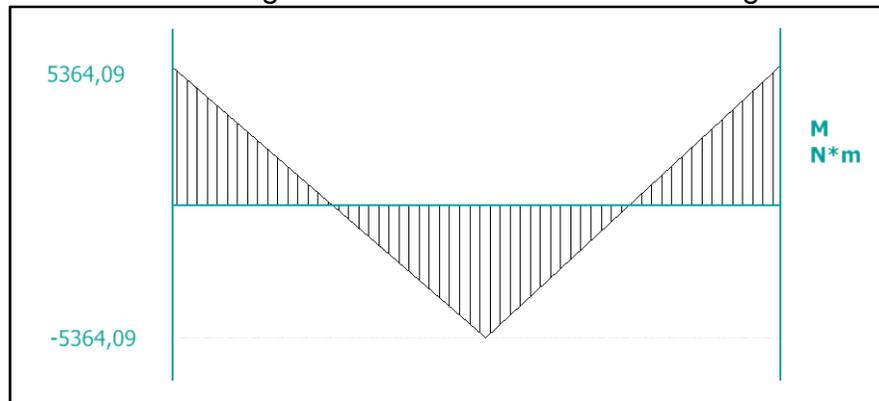
$$M_B = -5364,09 \cdot \text{m}$$

Ilustración 54. Diagrama de fuerzas cortante en la viga



En la figura 54 se puede apreciar que las fuerzas cortantes máximas se encuentran en los puntos de las reacciones es decir en los extremos donde va soldada la viga con un valor de 39369.95 N, estos puntos críticos se analizarán en una sección posterior donde se tomará en cuenta la soldadura. A continuación se realiza el diagrama de la viga para localizar el punto máximo del momento flector

Ilustración 55. Diagrama de momento flector en la viga



En este diagrama (figura 55) se puede determinar el punto máximo del momento flector con un valor de 5364,09 N\*m, con este valor se puede hacer una estimación del perfil ideal para estas condiciones de viga.

De la ecuación presentada en el libro de Mecánica de Materiales de Beer:

Ecuación 13. Esfuerzo normal en la sección

$$\sigma_m = \frac{|M|}{S}$$

Fuente: Mecánica de Materiales, Ferdinand P. Beer. Pág. 310

Dónde:  $|M|$  = es la magnitud momento máximo y  $S$ = módulo de sección elástico

$$S = \frac{|M|}{\sigma_m}$$

El esfuerzo normal se deduce a partir de un factor de seguridad de  $F.S = 2.0$  el cual está determinado en el capítulo 5 del libro Diseño de Elementos de Máquinas de Robert Mott, y usando un acero estructural, con esfuerzo de fluencia de 250 MPa se tiene que:

$$\sigma_m = \frac{250 \text{ MPa}}{2} = 125 \text{ MPa}$$

Usando un esfuerzo admisible 125 MPa, obtenemos que:

$$S = \frac{5364,09 \text{ N} \cdot \text{m}}{125 \times 10^6 \text{ N/m}^2}$$

$$S = 4,291272 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$S = 42.91 \text{ cm}^3$$

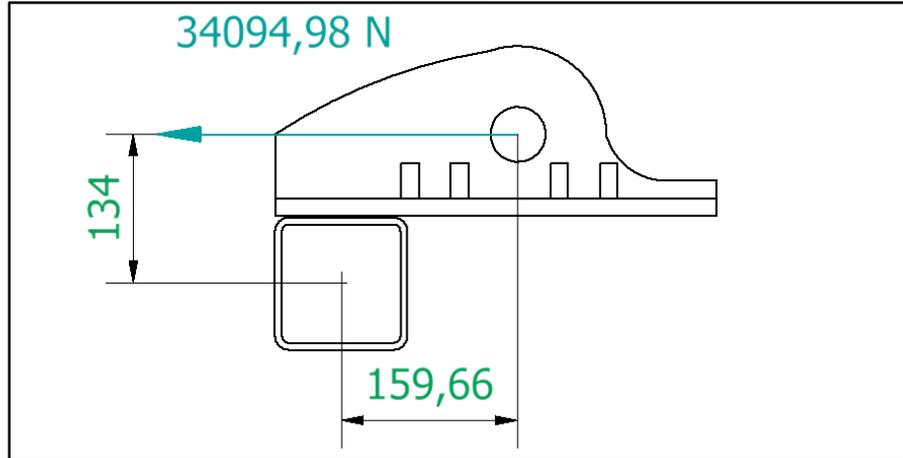
Hallando este valor se puede proseguir a hallar el perfil estructural para esta viga y el que mejor se ajusta al valor del módulo de sección:

Tabla 8. Propiedades del perfil cuadrado 120X120x6

IPN 140			
A (cm <sup>2</sup> )	26,1	Módulo resistente cm <sup>3</sup> (Wx)	91,8
Momento de inercia cm <sup>4</sup> (Ix)	551,00	Módulo resistente cm <sup>3</sup> (Wy)	91,8
Momento de inercia cm <sup>4</sup> (Iy)	551,00	Radio de giro Cm (Ix)	4,59
Sx cm <sup>3</sup>	55,1	Radio de giro Cm (Iy)	4,59

El perfil designado comprende un perfil cuadrado cuyo Momento estático de media sección, respecto a X, y Momento de inercia de la sección, respecto a X cumplen con el perfil hallando de la sección con unas dimensiones especificadas en el anexo E. ahora se debe analizar el elemento a torsión para lo cual se dividirá la carga en 2 de la componente Bz debido a que son dos vigas.

Ilustración 56. Diagrama Viga carga a torsión Plano Y-Z



$$\sum M_0 = 0 \rightarrow 34094,98 \text{ N} * 134 \text{ mm} = 4\,568\,727,32 \text{ N} \cdot \text{mm} = T$$

Se tiene que para determinar el esfuerzo cortante seccional en un elemento de sección no circular está dado por la fórmula del libro de Diseño de Elementos de Máquinas de Robert Mott que está a continuación:

Ecuación 14. Esfuerzo cortante seccional

$$\tau_{max} = \frac{T}{Q}$$

Diseño de Elementos de Máquinas. Robert Mott. Pag. 98

En donde:  $T$  es el par torsor y  $Q$  es una constante que remplazará el momento de sección polar. La constante  $Q$  se puede obtener de la tabla de la figura 3-10 en la página 99 del libro de diseño de elementos de máquinas de Robert Mott

$$Q = 2e * (a - e) * (b - e)$$

$$Q = 2 * 6\text{mm} (120\text{mm} - 6\text{mm})(120\text{mm} - 6\text{mm})$$

$$Q = 155952\text{mm}^3$$

$$\tau_{max} = \frac{4\,568\,727,32 \text{ N} \cdot \text{mm}}{155952\text{mm}^3} = 29,295 \text{ MPa}$$

Ahora se procede a determinar su deformación debido al par de torsión que se efectúa en el cuerpo:

Ecuación 15. Angulo de torsión

$$\theta = \frac{TL}{GK}$$

Diseño de Elementos de Máquinas. Robert Mott. Pag. 98

En donde: L es la longitud del elemento, G es el módulo de elasticidad y K es la constante que reemplaza el momento de inercia polar debido a que no es un elemento de sección transversal circular. La constante Q se puede obtener de la tabla de la figura 3-10 en la página 99 del libro de diseño de elementos de máquinas de Robert Mott. (G para acero 80 GPa = 80 x 10<sup>3</sup> N/mm<sup>2</sup>).

$$K = \frac{2e(a - e)^2(b - e)^2}{(a + b - 2e)}$$

$$K = \frac{2 * 6mm(120mm - 6mm)^2(120mm - 6mm)^2}{(120mm + 120mm - 2 * 6mm)}$$

$$K = 8\,889\,264\,mm^4$$

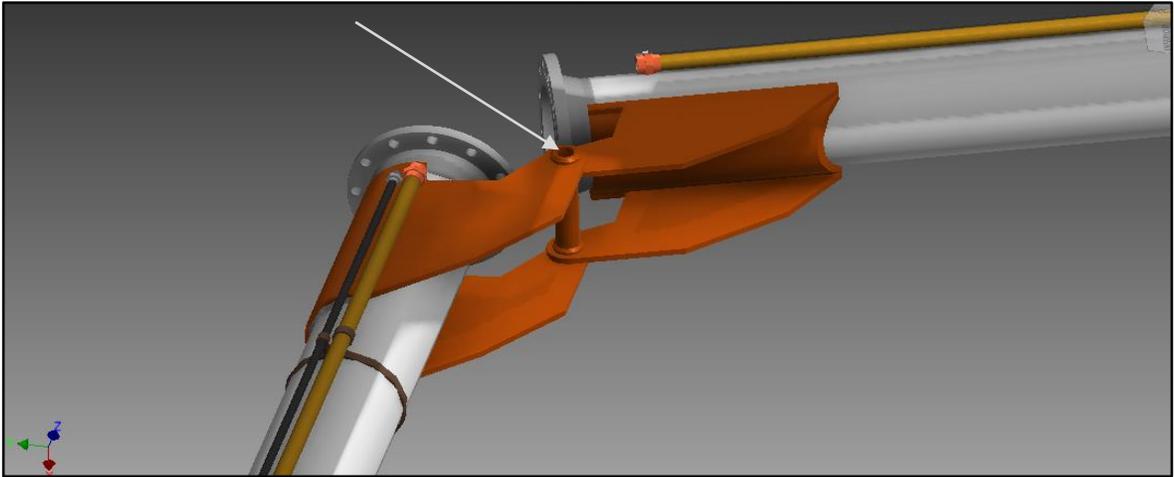
$$\theta = \frac{4\,568\,727,32\,N \cdot mm * 1099,28\,mm}{80\,000 \frac{N}{mm^2} * 8\,889\,264\,mm^4} = 0,0071\,rad$$

$$\theta = 0,0071rad \frac{(180grados)}{\pi rad} = 0,406\,grados$$

Se puede determinar que la deformación es depreciable y el elemento cumple con los requerimientos

4.3.7 Análisis de los pasadores en las bisagras. Estos elementos van a ir ubicados en las uniones de las bridas por medio de bisagras donde, la carga que cada uno tiene que soportar varía de acuerdo a la sección en la que se encuentre ubicado el pasador, de acuerdo al diseño se disponen de dos uniones del tubo de la Tea por medio de dos bridas, la primera unión se realiza en la estructura del sistema rodante, la siguiente unión se realiza a 10 metros del tubo o sea donde termina la primera sección del tubo de la Tea.

Ilustración 57. Pasador en uniones (bisagras) de los segmentos de la Tea



Debido al tipo de elemento que se va a analizar el acero seleccionado para el pasador será un AISI SAE 1045 con un límite de fluencia de 310 MPa. Usando la base de la relación del factor de seguridad, y utilizando un factor de seguridad de 2.5, se obtiene que:

$$\tau_{perm} = \frac{\tau_{ult}}{F.S.}$$

$$\tau_{perm} = \frac{310 \text{ MPa}}{2.5} \rightarrow \tau_{perm} = 124 \text{ MPa}$$

Usando la relación de la ecuación esfuerzo cortante.

$$\tau = \frac{P}{A} \rightarrow A = \frac{V}{\tau_{perm}}$$

Dónde: A= área del pasador, V= carga a soportar del pasador y  $\tau$ = esfuerzo permisible cortante

Para el pasador que une la sección del tubo de 8 metros con la sección de 10 metros, el esfuerzo al que está sometido se comprende en su estado de transporte, ya que cuando las secciones de los tubos se encuentran extendidos la carga la soportan los tornillos de las bridas, la carga que debe soportar el pasador está dada por:

$$W = W_{brida} + W_{tubo} + W_{accesorios}$$

$$W = 23.6 \text{ Kg} + \left(60.24 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * 8\text{m}\right) + [(W_{brida} + W_{tubo}) * 0.1]$$

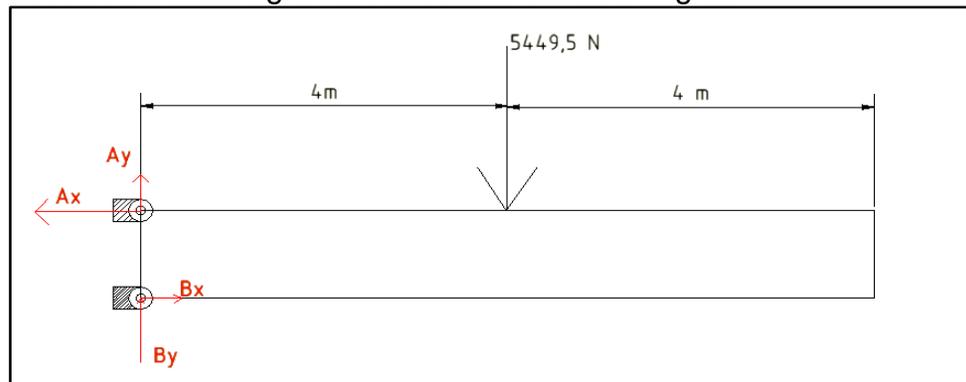
$$W = 556.072 \text{ Kg}$$

$$P = V = W * g$$

$$V = 556.072 \text{ Kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$V = 5449.5 \text{ N}$$

Ilustración 58. Diagrama de fuerzas en las bisagras



$$\sum Fy = 0$$

$$By + Ay = 5449,5 \text{ N}$$

$$\sum MA = 0$$

$$Bx(0.273\text{m}) - 5449,5\text{N}(4\text{m}) = 0$$

$$Bx = 79846,15\text{N}$$

$$B = \sqrt{(79846,15\text{N})^2 + (2724,75\text{N})^2} = 79892,62 \text{ N}$$

Reemplazando valores para determinar el área:

$$A = \frac{79892,62 \text{ N}}{124 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \rightarrow A = 644.29 \text{ mm}^2$$

El área de un círculo está dada por:

$$A = \frac{\pi}{4} (D^2)$$

$$644.29 \text{ mm}^2 = \frac{\pi}{4} * (D^2)$$

$$D = \sqrt{\frac{644.29 \text{ mm}^2 * 4}{\pi}} \rightarrow D = 28.6 \text{ mm}$$

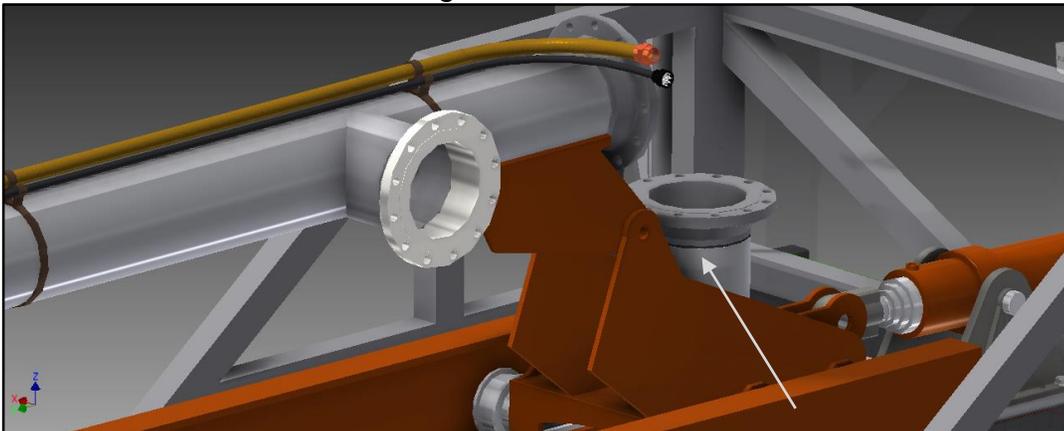
El diámetro seleccionado da un valor de 28.6 mm, aproximando el valor se puede seleccionar un diámetro de 1 1/8 de pulgada (28,575mm).

Para el pasador de la bisagra que une la totalidad del tubo con el sistema de rodaduras se emplean las reacciones halladas en el análisis de la fuerza del cilindro y se obtiene una magnitud de:

$$P = \sqrt{(26453.33 \text{ N})^2 + (68190 \text{ N})^2}$$

$$P = 73142.02 \text{ N}$$

Ilustración 59. Pasador en bisagra



$$A = \frac{36571.01 \text{ N}}{124 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \rightarrow A = 295 \text{ mm}^2$$

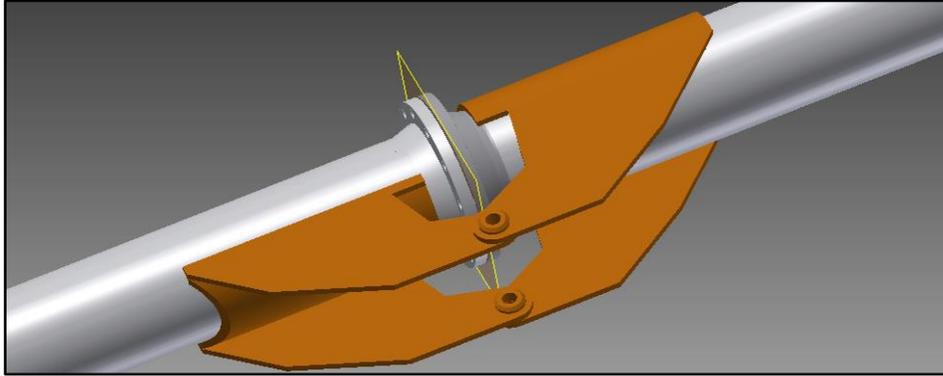
$$295 \text{ mm}^2 = \frac{\pi * D^2}{4} \rightarrow D = 19.38 \text{ mm}$$

El diámetro encontrado da un valor de 19.38 mm que aproximado a un valor comercial se dejará el diámetro de 20 milímetros.

4.3.8 Uniones articuladas. Estos elementos mostrados en la figura 51 cumplen dos funciones las cuales consisten en unir las dos secciones del tubo de la Tea (8

y 10 metros) y acoplar la totalidad del tubo de la tea o sea los 18 metros, al sistema rodante, las cargas que deben resistir se mostrarán a continuación y se determinará las dimensiones de estos apoyos de acuerdo al agujero para el pasador, donde se obtiene que para el esfuerzo último para determinar las dimensiones se usará un factor de seguridad de 2,2 con un acero el ASTM A 572 Grado 50.

Ilustración 60. Uniones de acople (bisagras)



$$\sigma_p = \frac{\sigma_{ult}}{F.S} = \frac{345 \text{ MPa}}{2.5} = 138 \text{ MPa}$$

Dado este valor se procede a calcular las dimensiones en la unión de los tubos, y se determinará el espesor de lámina necesario para las uniones.

$$\sigma_b = \frac{P}{A} = \frac{P}{e * D}$$

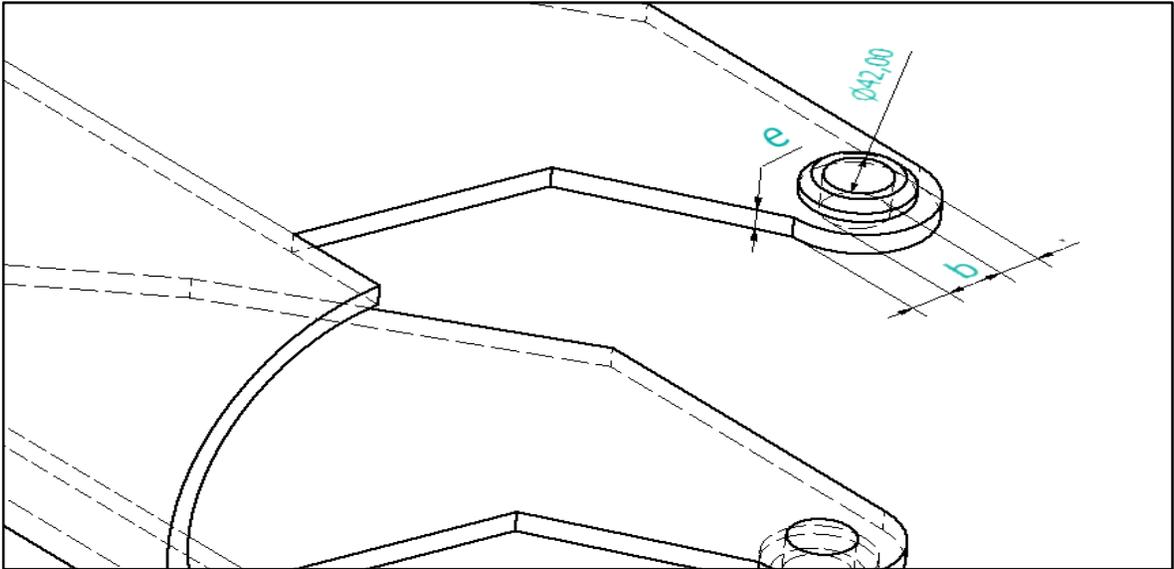
$$e = \frac{P}{\sigma_b * D}$$

Como se vio anteriormente en el cálculo del pasador la carga que estará actuando en este punto, P es igual a 79892,62 N y el diámetro que se estableció era de 28 mm aproximado a 30 mm más el espacio para el buje, se utilizara un diámetro requerido de 42 mm y se obtiene que:

$$e = \frac{79892,62 \text{ N}}{138 \text{ N/mm}^2 * 42 \text{ mm}} = 13,78 \text{ mm}$$

El espesor de lámina dado se puede aproximar al comercial que es equivalente a 5/8 de pulgada (aproximadamente 15.88 mm) el usado anteriormente en los apoyos del cilindro hidráulico, ahora bien una vez conocido el espesor de lámina se procede a determinar el ancho requerido.

Ilustración 61. Dimensionamiento de la unión de acople



$$(b - D)e = \frac{F}{2} \frac{1}{\sigma_{adm}}$$

$$(b - 42mm) * 15.88mm = \frac{79892,62 \text{ N}/2}{138 \text{ N}/mm^2}$$

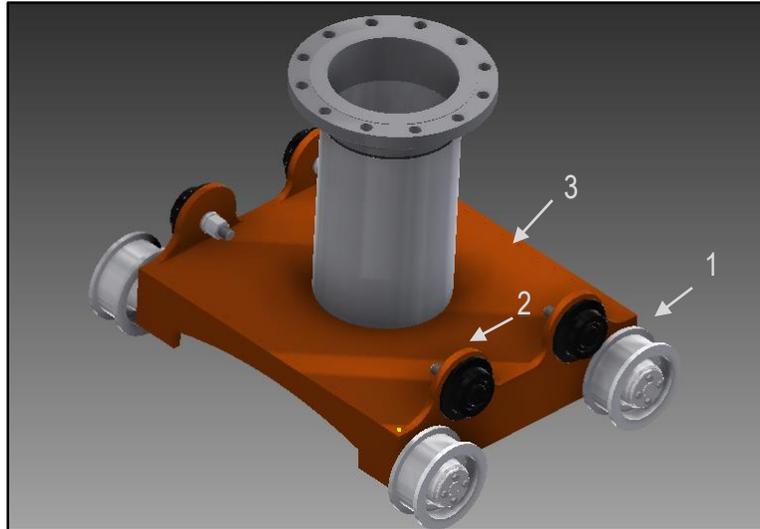
$$b = 60,22 \text{ mm}$$

#### 4.4 DISEÑO SISTEMA RODANTE

El sistema rodante, consiste en un conjunto de vigas ensambladas transversalmente sobre una viga con perfil en I, con el fin de obtener un mecanismo efectivo para acoplar apropiadamente la Tea de manera vertical sobre el Tráiler.

Las vigas que componen el sistema rodante de la estructura, tienen la función de soportar todo el peso de la Tea cuando está totalmente vertical y los cilindros hidráulicos están totalmente desplegados. Por ende los movimientos de este sistema van a ser totalmente dependientes al cilindro telescópico

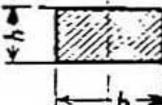
Ilustración 62. Diagrama sistema rodante



La ilustración 62 muestra los tres componentes principales para realizar la función de desplazar la tea sobre la plataforma del tráiler:

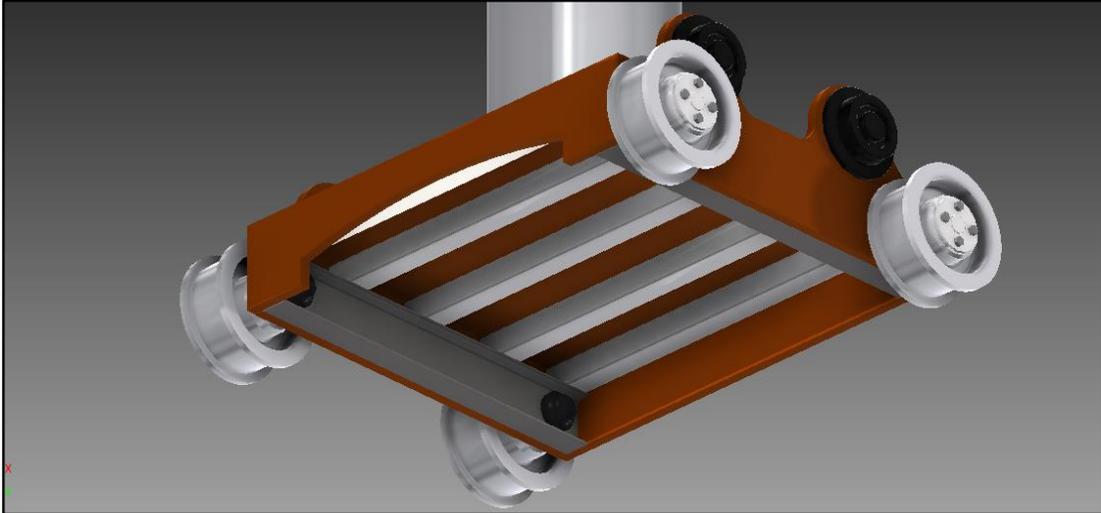
- 1. Ruedas de acero para rieles, rueda normalizada DIN 15 049 con un diámetro nominal de 160 mm (ver anexo F), esta rueda se acopla al riel tipo llantón usado en puente grúa:

Ilustración 63. Vista transversal del perfil de rieles tipo llantón

$b \cdot h$ (mm <sup>2</sup> ) .....	50-30	50-40	60-30	60-40
Pesos (kg/m) .....	11,8	15,7	14,1	18,8
				

- 2. Rodadura para puentes grúa, este elemento va a restringir cualquier movimiento que se pueda generar hacia arriba impidiendo así un posible descarrilamiento, ver anexo G para su selección.
- 3. Cuerpo del sistema, este va a estar compuesto por dos vigas en perfil en I y vigas transversales en perfil cuadrado cuyos elementos van a ser la estructura del sistema de desplazamiento, el cual debe soportar la carga de toda la tea con sus componentes.

Ilustración 64. Estructura sistema deslizante



El peso total que deben soportar las vigas está dado por:

$$W_t = W_{bridas} + W_{tubos} + W_{accesorios}$$

El número de bridas del que se compone el sistema son 4 bridas para ajustar y ensamblar el tubo de la Tea y una adaptada para la entrada de flujo del gas a través del ducto. Dos secciones del tubo de la Tea con 10 metros y 8 metros, adicionalmente, los accesorios de ignición y refuerzos en la estructura se contemplarán como un 15% del peso total.

$$W_t = (5 \text{ unds} * 23.6 \text{ Kg}) + \left(18\text{m} * 60.24 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}\right) + [(W_{bridas} + W_{tubos}) * 0.15]$$

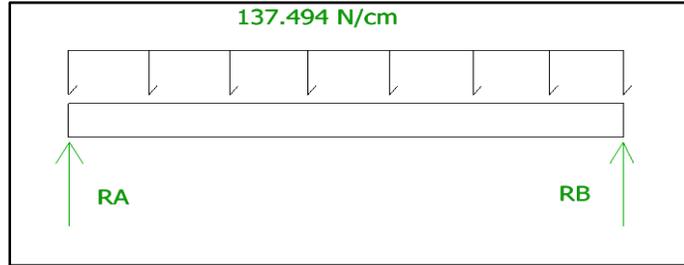
$$W_t = 1403 \text{ Kg} \rightarrow P = W * g$$

$$P = 1403 \text{ Kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P = 13749.4 \text{ N}$$

Debido a que son dos vigas las que contienen el peso de la Tea, la carga que cada una debe resistir es de 6674.7 N

Ilustración 65. Cargas en viga de sistema rodante



Debido a que los puntos de apoyo se encuentran en puntos equilibrados con respecto a la carga distribuida, las reacciones en los apoyos están dadas por:

Ecuación 16. Resultantes en los apoyos

$$R_A = R_B = \frac{1}{2} W * L$$

Fuente: Mecánica de Materiales, Ferdinand P. Beer. Pág.564

$$R_A = \frac{1}{2} * 137.494 \frac{N}{cm} * (60 cm)$$

$$R_A = 4124.82 N \rightarrow R_B = 4124.82 N$$

Ilustración 66. Sección de corte viga 2



$$\sum F_y = 0$$

$$4124.82 N - V = 0 \rightarrow V = 4124.82 N$$

Ecuación 17. Momento de una viga hiperestática

$$M = \frac{P * L^2}{8}$$

Fuente: Mecánica de Materiales, Ferdinand P. Beer. Pág 535

$$M = \frac{137.494 \frac{N}{cm} * (60 cm^2)}{8}$$

$$M = 61872.3 N \cdot cm \cong 618.72 N \cdot m$$

A continuación se prosigue a realizar lo diagramas de fuerza cortante y momento flector que podrán ayudar a determinar los puntos críticos de esfuerzo.

Tal y como se puede apreciar en la ilustración 67. Las fuerzas cortantes máximas se encuentran dónde van situados los apoyos en la viga, y en la ilustración 68 el momento flector máximo en la viga tiene un valor máximo de  $618 N \cdot m$ .

Ilustración 67. Diagrama de fuerza cortante en viga sistema rodante

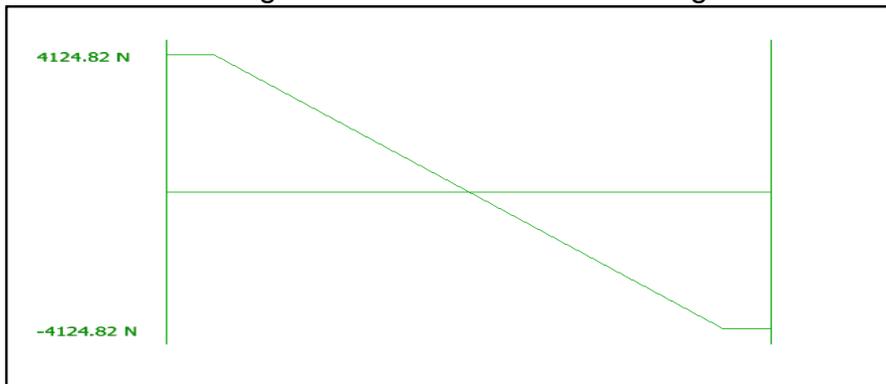
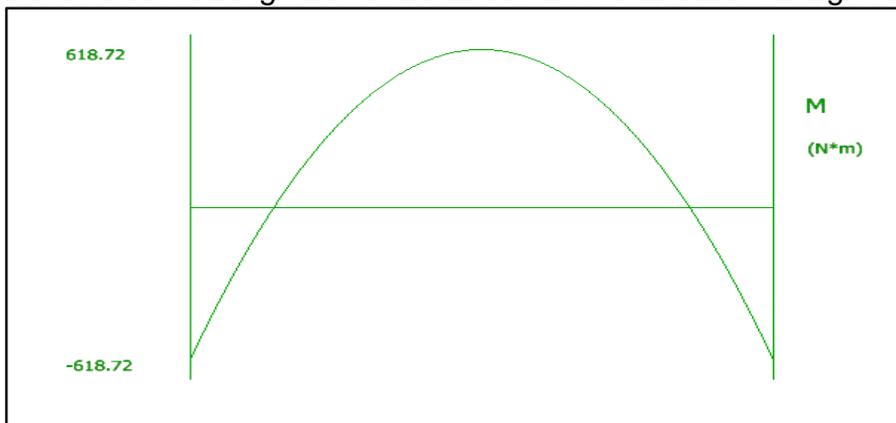


Ilustración 68. Diagrama de Momento flector máximo en viga sist. Rodante



Una vez obtenido los valores de los diagramas, se procede a seleccionar el perfil ideal para esta viga siendo el material base un ASTM A53 grado 50, con un esfuerzo de fluencia de  $345 \text{ MPa}$ . Y seleccionando un factor de seguridad de  $2.0$  y utilizando la ecuación de factor de seguridad se despeja el esfuerzo permisible donde queda:

$$\sigma_m = \frac{345 \text{ MPa}}{2} \rightarrow \sigma_m = 172 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{|M|}{\sigma_m}$$

$$S = \frac{618.72 \text{ N} \cdot \text{m}}{172 \text{ MPa}}$$

$$S = 3.507 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cong 3.597 \text{ cm}^3$$

Luego de haber obtenido el esfuerzo permisible de la viga para un factor de seguridad de 2.0 y posteriormente hallado el módulo de sección elástico, se compara en tablas (ver anexo E para ver otras propiedades) y se define un perfil estructural en I IPN80 donde el módulo resistente está por encima del estimado de módulo de sección elástico.

Tabla 9. Propiedades del perfil IPN 80

IPN 80			
A (cm <sup>2</sup> )	7,58	Módulo resistente cm <sup>3</sup> (Wx)	19,5
Momento de inercia cm <sup>4</sup> (Ix)	77,8	Módulo resistente cm <sup>3</sup> (Wy)	3,00
Momento de inercia cm <sup>4</sup> (Iy)	6,29	Radio de giro Cm (Ix)	3,20
Sx cm <sup>3</sup>	11,4	Radio de giro Cm (Iy)	0,91

- Diseño de vigas transversales del sistema rodante

Las vigas transversales son las que están situadas transversalmente en las vigas que soportan el peso de la estructura en el sistema de rodaduras, estas están soldadas en los extremos y sus cargas están dispuestas de la siguiente manera:

Ilustración 69. Viga transversal – sistema rodante

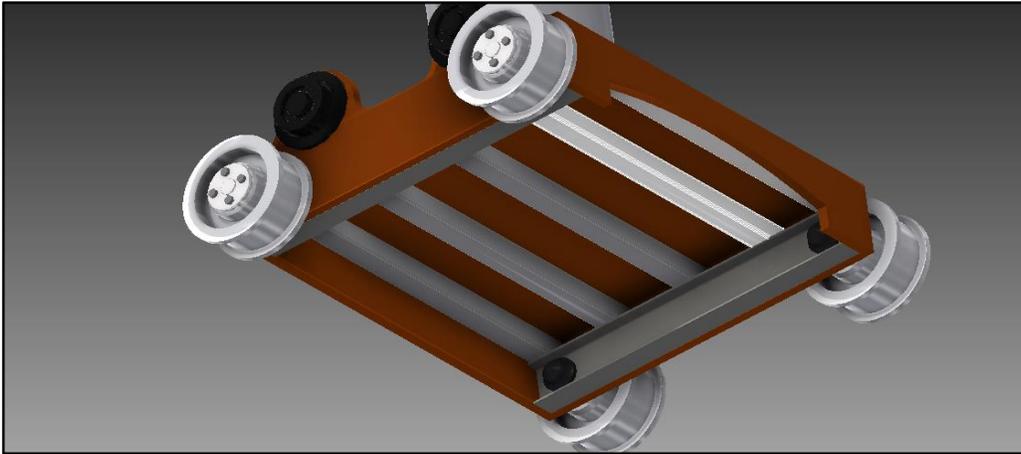
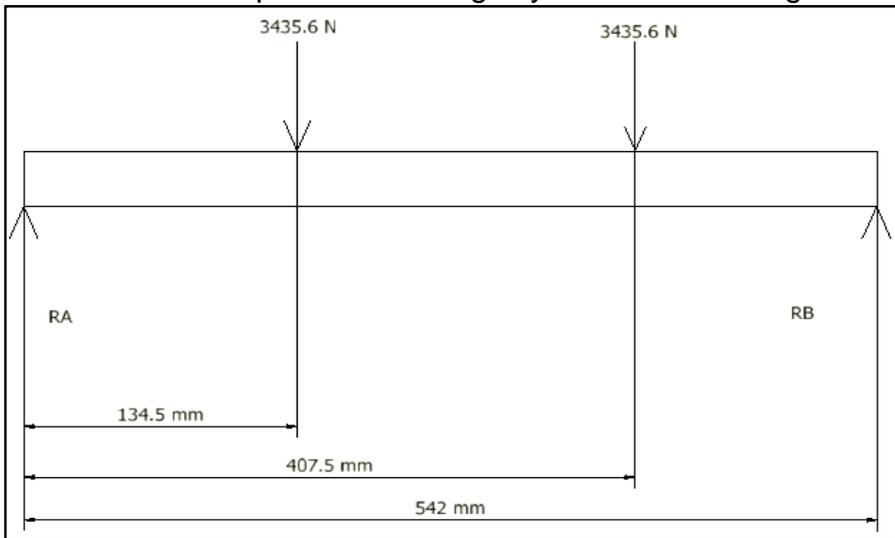


Ilustración 70. Disposición de cargas y reacciones en viga transversal



$$\sum M_A = 0$$

$$-[3435.6 \text{ N} * 134.5 \text{ mm}] - [3435.6 \text{ N} * 407.5 \text{ mm}] + [R_B * 542 \text{ mm}] = 0$$

$$R_B = \frac{1862095.2 \text{ N} \cdot \text{mm}}{542 \text{ mm}}$$

$$R_B = 3435.6 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A - 3435.6 \text{ N} - 3435.6 \text{ N} + 3435.6 \text{ N} = 0 \rightarrow R_A = 3435.6 \text{ N}$$

Ilustración 71. Diagrama de fuerza cortante en viga transversal

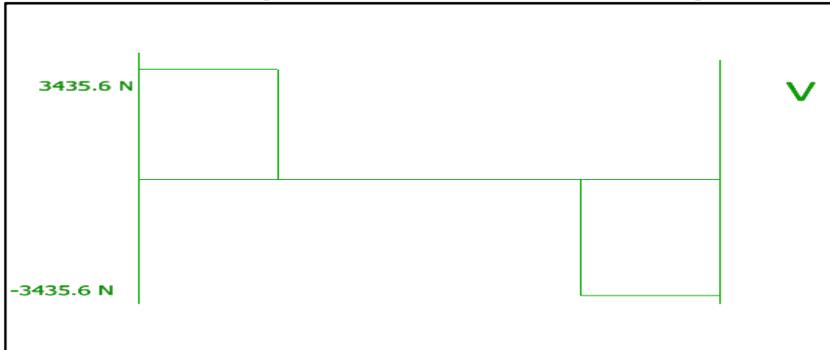
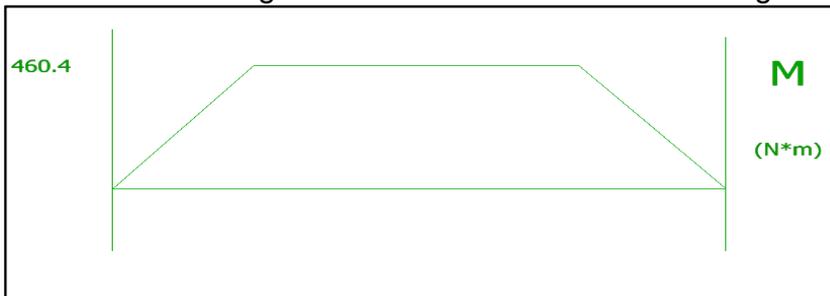


Ilustración 72. Diagrama de momentos flector en la viga transversal



Una vez encontrados los valores de momento flector y fuerza cortante, se procede a determinar el esfuerzo permisible para determinar un perfil de viga adaptable a las cargas requeridas, con factor de seguridad de 2,3.

$$\sigma_m = \frac{345 \text{ MPa}}{2.3} \rightarrow \sigma_m = 150 \text{ MPa}$$

Hallado el esfuerzo permisible se halla el módulo de la sección

$$S = \frac{|M|}{\sigma_m}$$

$$S = \frac{460.4 \text{ N} \cdot \text{m}}{150 \times 10^6 \text{ Pa}} = 3.069 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cong 3.069 \text{ cm}^3$$

Una vez hallado el módulo de la sección se busca un perfil cuadrado que se ajuste con las designaciones requeridas (ver anexo E), de acuerdo con las designaciones mecánicas el perfil hallado para las diferentes cargas a las que va a estar expuesto es:

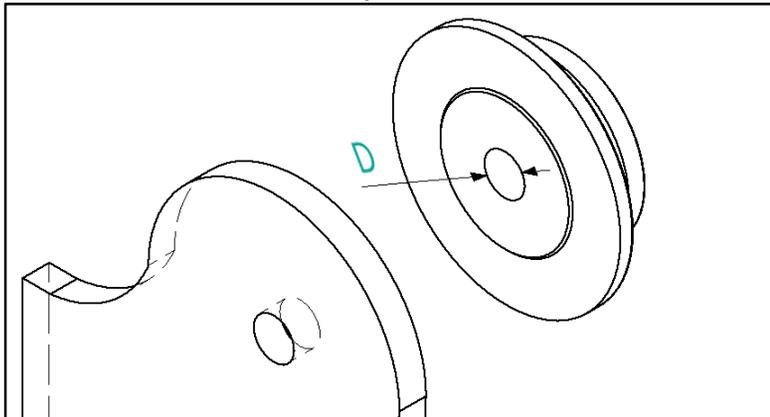
Tabla 10. Propiedades perfil cuadrado SHS 40x40x3

Perfil 40x40x3			
A (cm <sup>2</sup> )	4,13	Módulo resistente cm <sup>3</sup> (Wx)	4,51
Espesor de lámina (mm)	3	Módulo resistente cm <sup>3</sup> (Wy)	4,51
Peso (Kg/m)	3,24	Momento estático de media sección (S)	2,80
Momento de inercia I (cm <sup>4</sup> )	9,01	Radio de giro Cm (i)	1.48

- Diseño de apoyos de rodaduras

En la estructura del sistema de deslizamiento es importante determinar las dimensiones de los apoyos de las rodaduras los cuales van a estar sometidos a las cargas del peso del tubo de la tea. A continuación se muestra las dimensiones a determinar. Inicialmente se determina el diámetro del pasador de la rodadura.

Ilustración 73. Diámetro eje de rodadura



$$\tau_{perm} = \frac{\tau_{ult}}{F.S.} \rightarrow \tau_{perm} = \frac{310 \text{ MPa}}{2.5} \rightarrow \tau_{perm} = 124 \text{ MPa}$$

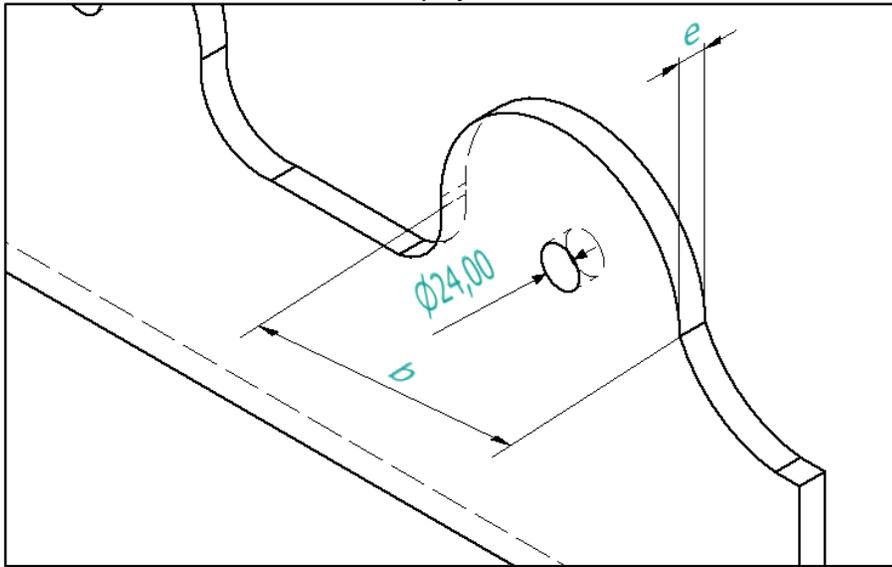
La fuerza que actuará en la rodadura será la reacción a la carga del tubo de la tea cuando el cilindro hidráulico comienza a levantar la carga y la mayor parte de la longitud del cilindro queda libre. (Ver numeral 4.3.3 análisis del ducto de la Tea)

$$\tau = \frac{P}{A} \rightarrow A = \frac{V}{\tau_{perm}} \rightarrow A = \frac{25400 \text{ N}}{124 \text{ N/mm}^2} = 204,8 \text{ mm}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{A * 4}{\pi}} \rightarrow D = \sqrt{\frac{204,8 \text{ mm}^2 * 4}{\pi}} = 16,1495 \text{ mm}$$

El Valor del diámetro del pasador arroja un valor de 16,1495 mm, de acuerdo al anexo G se procede a realizar una selección de un diámetro de eje de 24mm según los diámetros disponibles. Ahora se procede a determinar las dimensiones de los apoyos en el sistema de deslizamiento.

Ilustración 74. Dimensiones apoyos de rodaduras



Se debe determinar el espesor a partir de un esfuerzo permisible, para un acero ASTM A 572 Grado 50 con un esfuerzo de fluencia de 345 MPa y un factor de seguridad de 2.5 para esta situación donde el esfuerzo es compartido por 4 elementos, se tiene que:

$$\sigma_p = \frac{\sigma_{ult}}{F.S} = \frac{345 \text{ MPa}}{2.5} = 138 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \rightarrow 138 \text{ MPa} = \frac{25400 \text{ N}}{24 \text{ mm} * e} \rightarrow e = \frac{25400 \text{ N}}{24 \text{ mm} * 138 \text{ N/mm}^2} = 7,67 \text{ mm}$$

$$(b - D)e = \frac{F}{2 \sigma_{adm}} \rightarrow (b - 24 \text{ mm}) 8 \text{ mm} = \frac{25400 \text{ N}}{138 \text{ MPa}} \rightarrow b = 47 \text{ mm}$$

Siendo,  $b$  el ancho total de la sección transversal del apoyo,  $e$  es el espesor del área transversal del apoyo,  $D$  es el diámetro del pasador, se obtiene que el espesor y el ancho del apoyo serán 8 mm y 47 mm respectivamente.

#### 4.5 SISTEMA DE RIENDAS Y ANCLAJE

El sistema de riendas y anclaje comprende varios componentes que permiten la estabilidad del tubo de la Tea cuando está en una posición totalmente vertical, en esta posición de izaje, se deben analizar varios factores que pueden influir en la falla de la estructura entre ellos el viento y la uniformidad del terreno, debido a estos dos factores la cargas que se efectuaran en el sistema de levantamiento deberán ser analizadas para evitar la inestabilidad del equipo en operación.

4.5.1 Carga del viento. La carga del viento es un factor muy importante en el momento de analizar la estabilidad del tubo ya que se deben tener en cuenta estas cargas y sus efectos en la base del tubo donde se contempla el mayor esfuerzo debido a una ráfaga de viento. Para conocer la fuerza del viento que actúa sobre una superficie se debe conocer primero la presión dinámica del viento:

Ecuación 18. Presión dinámica del viento

$$q = 0.00625 * V_s^2 * S_d$$

Fuente: Normas Colombianas de Diseño y Construcción NSR-98, título B

Dónde:  $V_s$  = velocidad del viento para diseño,  $S_d$  = coeficiente de la variación de la densidad del aire con la altura sobre el nivel del mar.

Para determinar la altura promedio de las zonas en las que va a operar la Tea móvil, es importante conocer las zonas de mayor explotación a nivel nacional, estas zonas por la geografía y la geología del país su altura de localización no sobrepasa generalmente los 500 metros sobre el nivel del mar, y la probabilidad de efectuar una operación a mayor altura es baja, el coeficiente será de 0.94 de acuerdo con la tabla 11 ilustrada a continuación.

Tabla 11. Selección del coeficiente S<sub>4</sub>

Coeficiente S <sub>4</sub>	
ALTITUD	
(m)	S <sub>4</sub>
0	1.00
500	0.94
1000	0.88
1500	0.83
2000	0.78
2500	0.73
3000	0.69

Fuente: Normas Colombianas de Diseño y Construcción NSR-98, título B

Para hallar la presión dinámica del viento se supondrá una velocidad de 22.6 m/s, que dentro de la clasificación del IDEAM supone un viento con perfil bastante fuerte que puede generar daños en casas y estructuras frágiles.

$$q = 0.000625 * \left(22.6 \frac{m}{s}\right)^2 * 0.94$$

$$q = 0.30007 \frac{KN}{m^2} \cong 300.07 \frac{N}{m^2}$$

Para analizar la fuerza del viento se debe suponer la tea como una estructura tipo pórtico simple, ya que no posee elementos adicionales que afecten la carga que recibe, de tal manera que se obtiene:

Ecuación 19. Fuerza del viento actuante

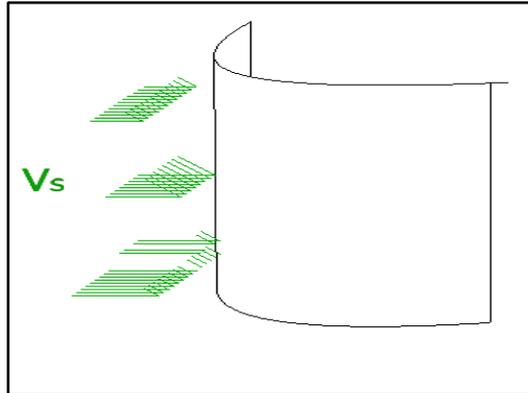
$$F = Cr * q * A$$

Fuente: Normas Colombianas de Diseño y Construcción NSR-98

Dónde: F= es la fuerza que actúa el viento en cierta dirección, Cr= es el coeficiente de fuerza para la estructura o edificación, A= es el área de contacto en la que se ejerce la fuerza, q= presión dinámica del viento.

El área en el que efectúa la carga del viento es la de un cilindro, ya que para este caso toda la carga la recibe el tubo de la Tea, pero el área de contacto será la mitad del cilindro, por ello el área está dado por el perímetro del cilindro por la altura del cilindro:

Ilustración 75. Visualización del viento contra un cilindro



$$A = \frac{(2 * \pi * r) * h}{2}$$

$$A = \frac{2 * \pi * 0.13652 \text{ m} * 18 \text{ m}}{2} \rightarrow A = 7.84 \text{ m}^2$$

Para el coeficiente  $C_r$  se debe tener en cuenta la relación diámetro- altura y por medio de tablas se determina este valor (ver anexo H). Para hallar  $F C_r = 1.2$

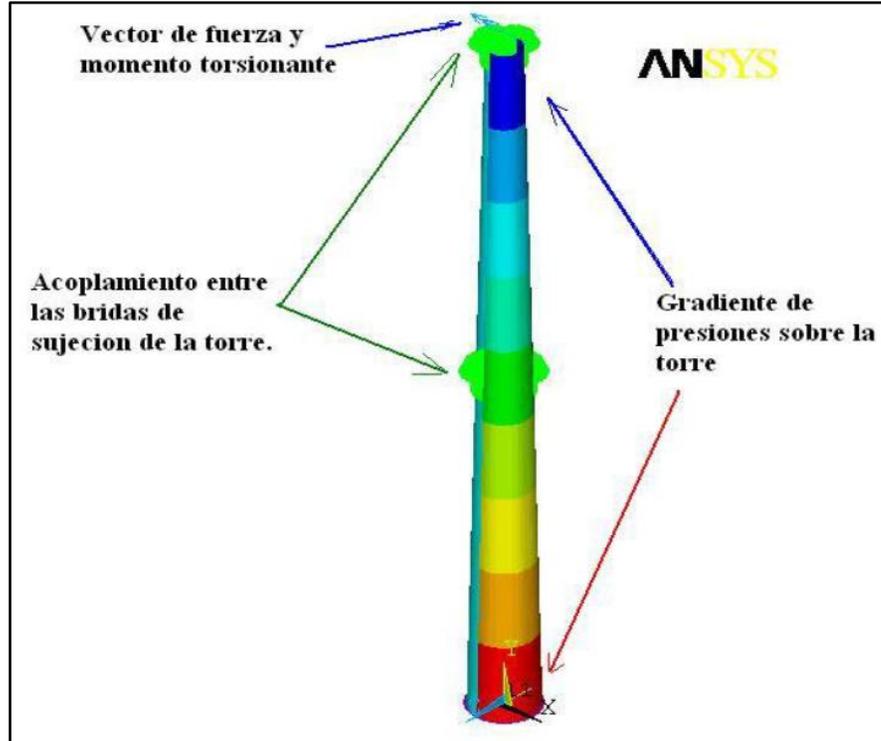
$$F = 1.2 * 0.30007 \frac{KN}{m^2} * 7.84 \text{ m}^2$$

$$F = 2.8 \text{ KN} \cong 2800 \text{ N}$$

La fuerza que ejerce el viento sobre el área del tubo de la Tea en una dirección es de 2800 N para un área de 7.48 metros cuadrados del tubo.

4.5.2 Diseño de sistema de riendas y anclado. El sistema de riendas y anclaje es el sistema que se tiene para contrarrestar el efecto que ejecuta el viento contra el tubo y disminuir el esfuerzo que se presenta en la base de la Tea.

Ilustración 76. Esfuerzos en una torre cilíndrica



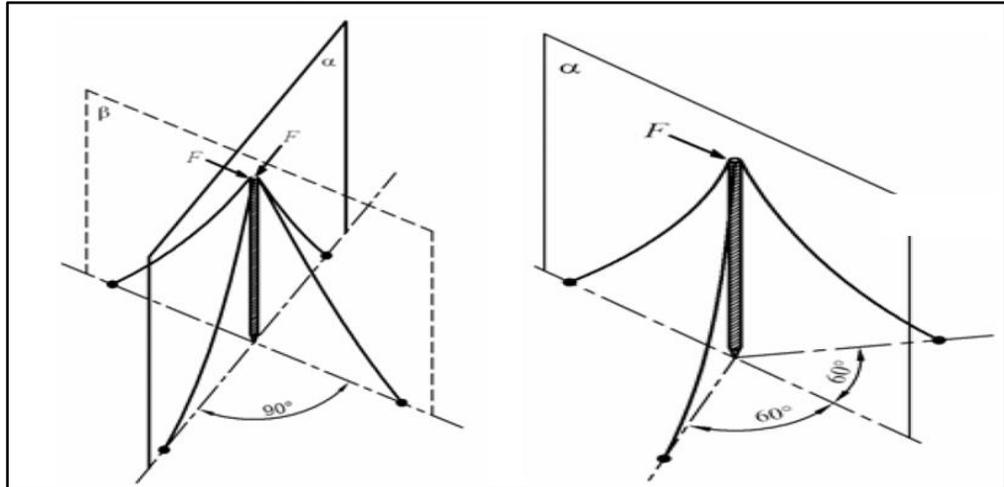
Fuente: LAPEM, análisis causa-raíz gen eólico, <en línea>, <http://www.cigre.org.mx/>

Como se puede ver en la ilustración 76, los esfuerzos más críticos se localizan en la base del tubo, estos esfuerzos pueden ser críticos en la medida que se pueden presentar fallas mecánicas en los tornillos que unen las bridas de las secciones, o en el mismo tubo.

Para el anclaje de la Tea se dispone de dos configuraciones muy comunes de la disposición de los ángulos de distancia entre las riendas, comercialmente para las Teas de tráiler portátil es muy frecuente la configuración de 120 grados de distancia entre riendas, ajustando una rienda al tráiler y disponiendo de las otras dos para los apoyos traseros, para el diseño escogido que dispone de una altura y un diámetro de la Tea mayor que los ejemplares comerciales, se necesita una rigidez en la estructura mayor, por lo que una distancia angular de riendas óptima sería de 90 grados.

En la ilustración 77 se puede ver el diagrama de un mástil con los sistemas de anclaje en el plano con riendas a 90 grados y a 120 grados, lo que necesariamente argumenta la imagen sobre el uso de tres o cuatro riendas o cables para lograr una mayor o menor rigidez en el sistema.

Ilustración 77. Configuraciones de riendas

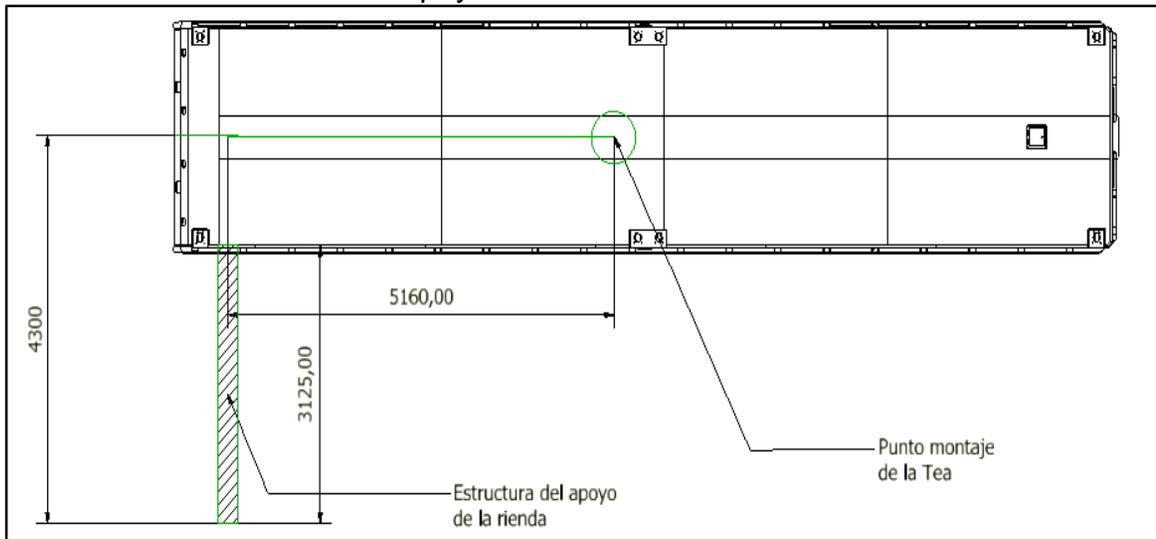


Fuente: ANÁLISIS DINÁMICO DE MÁSTILES ARRIOSTRADOS, Sergio Preidikman, Julio C. Massa, Bruno A. Rocca. 2005. Pág. 8.

Para comenzar a diseñar el sistema de anclaje se debe tomar en cuenta el criterio de la NSR-10 de las normas colombianas de diseño donde sugieren una distancia mínima entre la estructura y el punto de anclaje o apoyo como un tercio de la altura de la estructura. Debido a que la altura de la Tea es aproximadamente 18 metros la distancia mínima de los apoyos debe ser 6 metros.

En la figura 78 se puede ver cómo será dispuesto uno de los apoyos para la rienda con una longitud total desde el centro de la plataforma del tráiler de 4300 mm y una distancia de la base del apoyo de 5160 mm.

Ilustración 78. Distancia del apoyo de la rienda



La distancia del tubo de la tea al extremo del apoyo está dada por la ecuación:

$$C^2 = A^2 + B^2$$

Dónde: C= es la distancia de la Tea al extremo de la estructura del apoyo, A= es la distancia del extremo de la estructura al punto medio del tráiler, B=es la distancia de la tea a la base del apoyo.

$$C = \sqrt{(4300mm)^2 + (5160mm)^2}$$

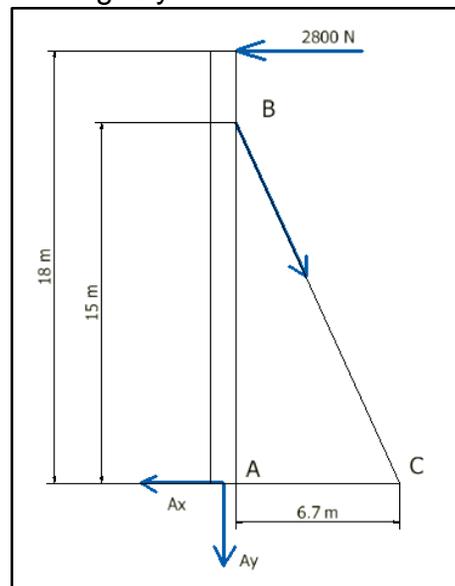
$$C = 6710 \text{ mm} \cong 6.7 \text{ metros}$$

Con esta distancia se cumple el requerimiento del punto de apoyo a la estructura.

4.5.3 Análisis de la rienda. Una vez obtenidas las distancias necesarias para analizar el punto de anclaje o apoyo de la rienda se prosigue a analizar la estructura. Se debe tener en cuenta que la rienda se va a enganchar en el tubo a 15 metros y no en el extremo (18 metros).

El análisis a continuación se asumirá como la situación más crítica que se puede presentar que es cuando el viento tiene una dirección exactamente paralela a una de las riendas, ya que para ese caso solo una rienda haría el trabajo de la tensión.

Ilustración 79. Cargas y reacciones en el tubo y la rienda



Para poder realizar el análisis se debe conocer el ángulo que conforma la rienda con el tubo de la Tea

Ecuación 20. Función trigonométrica de tangente

$$\boxed{\text{Tan } \alpha = \frac{\text{cat. opuesto}}{\text{cat. adyacente}}}$$

Fuente: Monterey Institute. <<http://www.montereyinstitute.org/>>

$$\alpha = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{6.7 \text{ m}}{15 \text{ m}}\right) \rightarrow \alpha = 24^\circ$$

Realizando sumatoria de fuerzas y momentos:

$$\sum F_y = 0 \quad \rightarrow \quad -A_y - B \cos(24) = 0$$

$$\sum F_x = 0$$

$$B \text{ sen } (24) - 2800 \text{ N} - A_x = 0$$

$$\sum M_A = 0$$

$$18 \text{ m} * 2800 \text{ N} - [15 \text{ m} * B \text{ sen}(24)] = 0$$

$$B = \frac{50400 \text{ N} \cdot \text{m}}{15 \text{ m} * \text{sen}(24)}$$

$$B = 8260.8 \text{ N}$$

La tensión que debe hacer el cable para resistir la fuerza del viento es de 8260.8 N y así evitar una deformación en la base de la Tea.

Para seleccionar el cable adecuado se determina el esfuerzo permisible por medio del factor de seguridad. Bajo los estándares ASTM A1007 para cables, (ver anexo I), Para un cable de 6 mm de diámetro

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

$$\sigma = \frac{8260.8 \text{ N}}{\frac{\pi}{4} * (6 \text{ mm})^2}$$

$$\sigma = 292.16 \text{ MPa}$$

El cable que tiene una carga de ruptura de 21200 N (ver anexo I), mediante este dato de la carga de ruptura se puede calcular el esfuerzo de ruptura dado por el diámetro del cable:

$$\sigma = \frac{21200 \text{ N}}{\frac{\pi}{4} * (6 \text{ mm})^2}$$

$$\sigma = 749.79 \text{ MPa}$$

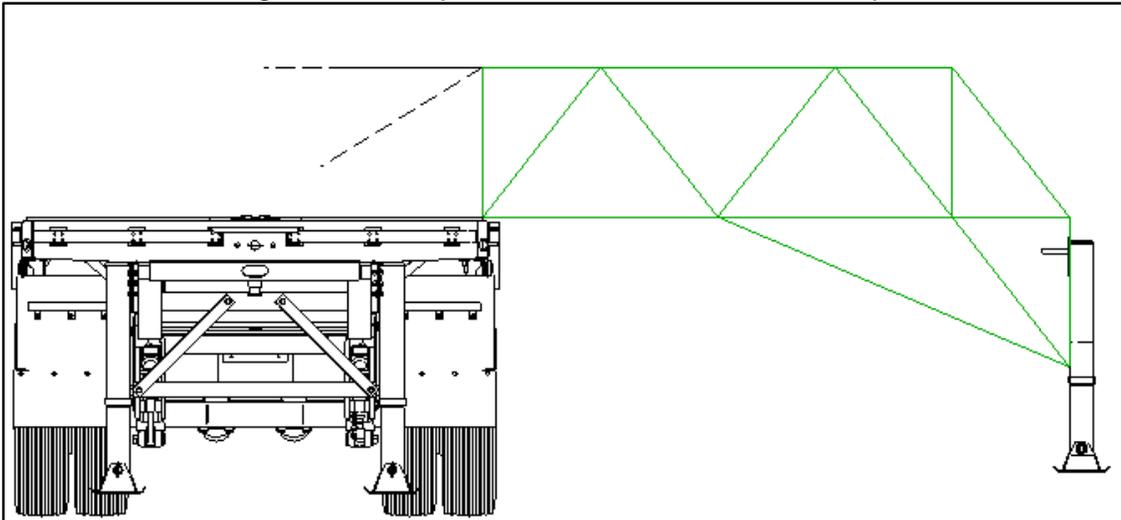
El nivel de seguridad que genera este cable está dado por el factor de seguridad:

$$F.S. = \frac{749.79 \text{ MPa}}{292.16 \text{ MPa}} \rightarrow F.S. = 2.5$$

El factor de seguridad que genera un cable de 6 mm tipo “6X7 ALMA de Fibra AF” es de 2.5, cabe aclarar que este es un cálculo estimativo para hacer una aproximación del nivel de seguridad que genera el cable, mas no es el valor real ya que un cable es la conformación de varios alambres unidos en forma espiral y por lo tanto el esfuerzo no se genera de manera axial al alambre, por lo tanto el esfuerzo de cada fibra del alambre no es paralela a la carga en el cable.

4.5.4 Análisis de la estructura del apoyo de las riendas. La estructura del apoyo consta de una armadura formada por elementos estructurales, la unión de estos elementos permite que se le pueda dar una mayor estabilidad al conjunto del transporte móvil con la Tea, este conjunto global que se puede ver afectado por diversos factores como lo es el viento y la inestabilidad del terreno, puede compensarse con una estructura que en dado caso pueda evitar un volcamiento del conjunto.

Ilustración 80. Diagrama de disposición de la estructura en la plataforma



En la ilustración 80 se ve la descripción de cómo va la disposición de la estructura del apoyo, donde se puede ver que la carga total de la estructura y de la Tea está distribuida entre las llantas, los soportes centrales y los apoyos de las riendas. Debido a las causas expuestas anteriormente se debe evaluar un cambio en la distribución de cargas.

Siendo la carga total:

$$W_T = W_{Tea} + W_{estructura}$$

$$W_T = 1403 \text{ Kg} + 4022 \text{ Kg}$$

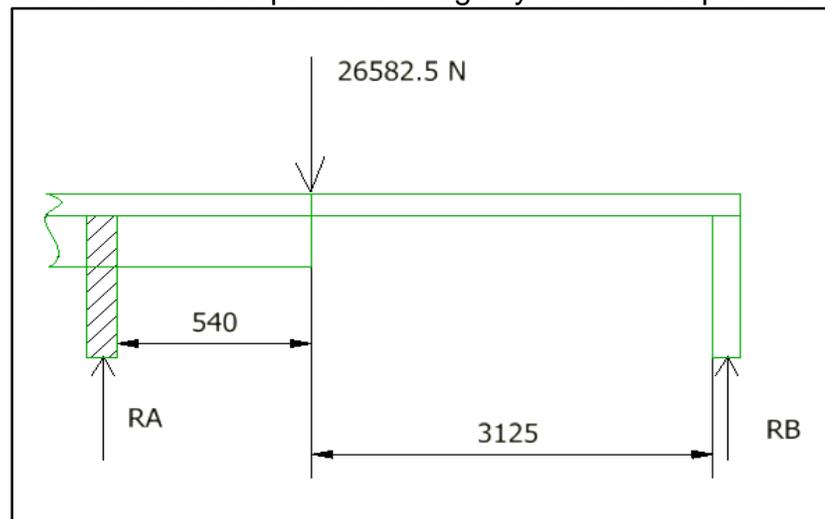
$$W_T = 5425 \text{ kg}$$

$$P = W_T * g \rightarrow P = 53165 \text{ N}$$

La carga total hallada es de 53165 N pero esta carga como es una carga distribuida no es la totalidad que recibe un solo apoyo.

De tal modo que la carga máxima para un apoyo se asume que se concentra en el borde de la plataforma del tráiler así como se muestra en la ilustración 81.

Ilustración 81. Esquema de cargas y reacciones para un apoyo



$$\sum F_y = 0$$

$$R_A - 26582.5 \text{ N} + R_B = 0$$

$$\sum M_B = 0$$

$$(26582.5 \text{ N} * 3125 \text{ mm}) - R_A * (3665 \text{ mm}) = 0$$

$$R_A = \frac{83070312.5 \text{ N} \cdot \text{mm}}{3665 \text{ mm}}$$

$$R_A = 22665.8 \text{ N}$$

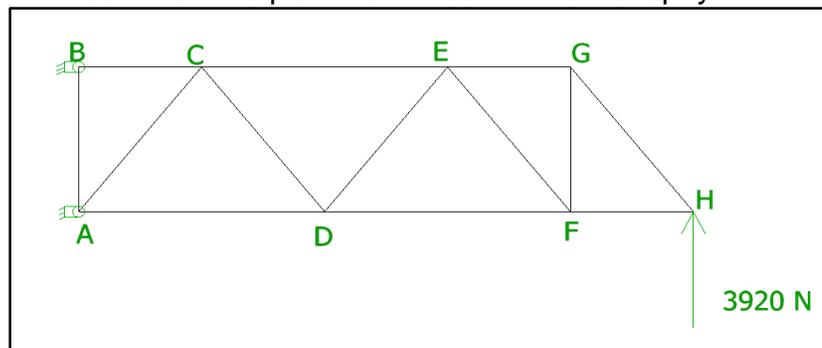
Reemplazando en sumatoria de fuerzas:

$$22665.8 \text{ N} - 26582.5 \text{ N} + R_B = 0$$

$$R_B = 3920 \text{ N}$$

Para determinar un perfil para la estructura se debe analizar como una armadura y la sección más crítica que debe ser analizada se expone en la figura 82:

Ilustración 82. Esquema de la estructura del apoyo



$$\sum M_A = 0$$

$$- B_x * (800 \text{ mm}) + 3920 \text{ N} * (3125 \text{ mm}) = 0$$

$$B_x = \frac{12250000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{800 \text{ mm}}$$

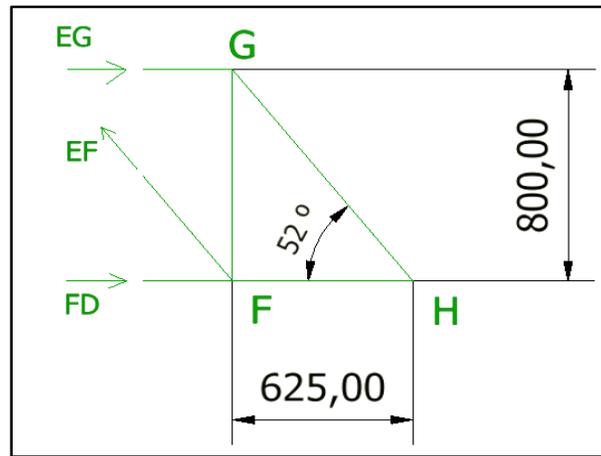
$$B_x = 15312.5 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$B_x - A_x = 0 \rightarrow B_x = A_x \rightarrow A_x = 15312.5 \text{ N}$$

Haciendo un análisis por secciones:

Ilustración 83. Corte seccional en armadura



$$\sum F_x = 0$$

$$EG + DF - EF \cdot \cos(52) = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$3920 \text{ N} + FE \cdot \text{sen}(52) = 0$$

$$FE = -4974.55 \text{ N}$$

$$\sum M_F = 0$$

$$(625 \text{ mm} \cdot 3920 \text{ N}) - (EG \cdot 800 \text{ mm}) = 0$$

$$2450000 \text{ N} \cdot \text{mm} - 800 \text{ mm} \cdot EG = 0$$

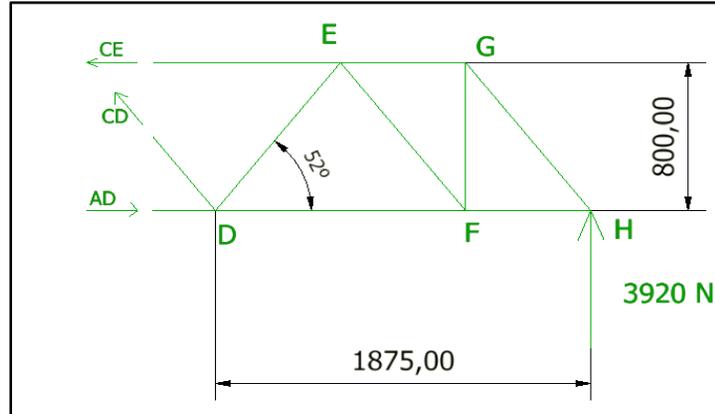
$$EG = 3062.64 \text{ N}$$

Reemplazando en la sumatoria de fuerzas en x:

$$3062.5 \text{ N} + DF + 3062.64 \text{ N} = 0 \quad \rightarrow \quad DF = -6125.27 \text{ N}$$

Haciendo un corte en otra sección:

Ilustración 84. Corte seccional en armadura 2



$$\sum F_x = 0$$

$$-CE + AD - CD * \cos(52) = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$3920 N + CD * \sin(52) = 0$$

$$CD = \frac{3920 N}{\sin(52)} = -4974.55 N$$

$$\sum M_D = 0$$

$$(1875 mm * 3920 N) + (CE * 800 mm) = 0$$

$$CE = -9185.5 N$$

$$9185.5 N + AD + 4974.55 N * \cos(52) = 0$$

$$AD = 12248.13 N$$

Una vez obtenidos los datos se puede ver que la mayor carga la reciben los apoyos en los puntos A y B, donde la carga en estos puntos es de 15312,5 N.

Si se utiliza un factor de seguridad de 2.0, seleccionado este valor debido a la frecuencia de carga y dependencia de este elemento frente a todo el sistema, utilizando el acero que es usado en toda la estructura un ASTM A 572 grado 50, con un esfuerzo de fluencia de 345 MPa, se obtiene que el esfuerzo permisible:

$$\sigma_m = \frac{345 \text{ MPa}}{2} \rightarrow \sigma_m = 172 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{|M|}{\sigma_m}$$

$$S = \frac{3190.10 \text{ N} \cdot \text{m}}{172 \times 10^6 \text{ Pa}} = 1.8547 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cong 18.54 \text{ cm}^3$$

Para la estructura se escogerá un perfil estructural rectangular adecuado para un módulo de sección de  $18.54 \text{ cm}^3$ . A continuación la propiedades del perfil seleccionado, (ver anexo E)

Tabla 12. Propiedades de perfil rectangular RHS 80X60X5

Perfil rectangular RHS 80X60X5			
A (cm <sup>2</sup> )	12.1	Módulo resistente cm <sup>3</sup> (Wx)	25.00
Momento de Inercia cm <sup>4</sup> (Ix)	99.8	Módulo resistente cm <sup>3</sup> (Wy)	21.20
Momento de Inercia cm <sup>4</sup> (Iy)	63.7	Momento estático de media sección Cm <sup>3</sup> (Sx)	15.80
Espesor (mm)	5	Momento estático de media sección Cm <sup>3</sup> (Sy)	12.9

#### 4.6 ANÁLISIS DE UNIONES

Para determinar si un diseño estructural está completamente finalizado se debe conocer no solo la resistencia de los elementos que lo componen sino también de las uniones por la cual está armada la estructura.

4.6.1 Análisis de tornillos. Los tornillos juegan un papel fundamental en el armado de la estructura ya que permiten la sujeción de partes grandes de este diseño, y realizando el trabajo con gran fuerza y permitiendo que se puedan desarmar con gran facilidad, ya que estos son elementos perfectos para uniones no permanentes, siendo específicos los tornillos que cabe resaltar su análisis es donde se unen las bridas de las secciones de los tubos de la Tea, donde la cargas que deben soportar son grandes debido a la masa y a las longitudes que se trabajan. Para las uniones roscadas de las bridas se seleccionará mediante las norma DIN 6914 para las dimensiones del tornillo, DIN 6915 para la tuerca y DIN 6916 para las arandelas. (Ver anexo J).

Tabla 13. Propiedades tornillo DIN 6914

Tornillo DIN 6914 calidad 10.9 Zincado			
Diámetro nominal (d)	24 mm	Longitud roscada	37 mm
longitud	105 mm	Área externa	452.3893 mm <sup>2</sup>
Longitud no roscada	68 mm	Paso	3

Para determinar si la longitud seleccionada es la correcta se verifica el agarre del tornillo que está dado por dos bridas, dos arandelas y la empaquetadura de la unión de las bridas, mostrado de la siguiente manera respectivamente:

$$\text{agarre} = 60.452 \text{ mm} + 4\text{mm} * 2 + 2\text{mm} = 70.452 \text{ mm}$$

Determinado el agarre del tornillo en el elemento se puede ver que las dimensiones se acoplan a las necesidades del diseño, por otra parte es necesario analizar el tornillo determinando sus esfuerzos, la fuerza que ejerce el tornillo, Etc.

Ecuación 21. Rigidez del tornillo

$$K_b = \frac{A_d * A_t * E}{(A_d * L_t) + A_t * L_d}$$

Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, Budynas G. Richard. Pág. 413

Dónde:  $A_d$  = área externa,  $A_t$  = área del esfuerzo a tensión,  $E$  = módulo de elasticidad de tensión,  $L_t$  = longitud roscada en el perno,  $L_d$  = longitud no roscada.

El área del esfuerzo a tensión es determinada por la tabla 8.1 del libro Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley en la página 398, donde para un valor de diámetro nominal de 24 mm  $A_t = 353 \text{ mm}^2$ . Para el módulo de elasticidad se utiliza el valor dado por la tabla sugerida por el libro: donde para el acero tiene un valor de 207 GPa el módulo de elasticidad.

$$K_b = \frac{452.38 \text{ mm}^2 * 353\text{mm}^2 * 207000\text{MPa}}{(425.38\text{mm}^2 * 37\text{mm}) + (384\text{mm}^2 * 68\text{mm})}$$

$$K_b = 811344.81 \text{ MPa}$$

Es necesario conocer la rigidez de ambos elementos tanto como el que se está sujetando como la del tornillo, para así determinar el efecto que trae la fuerza que ejerce el tornillo al aprisionar el material por ello la rigidez del material base está dado por:

Ecuación 22. Rigidez del material base

$$K_m = \frac{0.5774 \pi * E * d}{2 * Ln * \left[ 5 * \frac{0.5774 * L - 0.5d}{0.5774 * L - 2.5 d} \right]}$$

Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, Budynas G. Richard. Pág. 415

$$K_m = \frac{0.5774 * \pi * 207000MPa * 24mm}{2 * Ln * \left[ 5 * \frac{0.5774 * 105mm - 0.5 * 24mm}{0.5774 * 105mm - 2.5 * 24mm} \right]}$$

$$K_m = 755963.75 N/mm^2$$

Módulo de rigidez:

Ecuación 23. Módulo de rigidez

$$C = \frac{K_b}{K_b + K_m}$$

Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, Budynas G. Richard. Pág.421

$$C = \frac{811344.81 \frac{N}{mm^2}}{811344.81 \frac{N}{mm^2} + 755963.75 \frac{N}{mm^2}}$$

$$C = 0.517$$

Fuerza interna del tornillo está dada por la ecuación 21, y esta es utilizada para conexiones no permanentes:

Ecuación 24. Fuerza interna del tornillo

$$F_i = 0.75 F_p$$

Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, Budynas G. Richard. Pág. 427

Siendo:

$$F_p = A_t * S_p \rightarrow F_i = 0.75 * (A_t * S_p)$$

Donde  $S_p$  es la resistencia de prueba que se obtiene de las tablas 8-9 y 8-11 del libro Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, donde un tornillo clase 10.9 tiene una resistencia de 830 MPa.

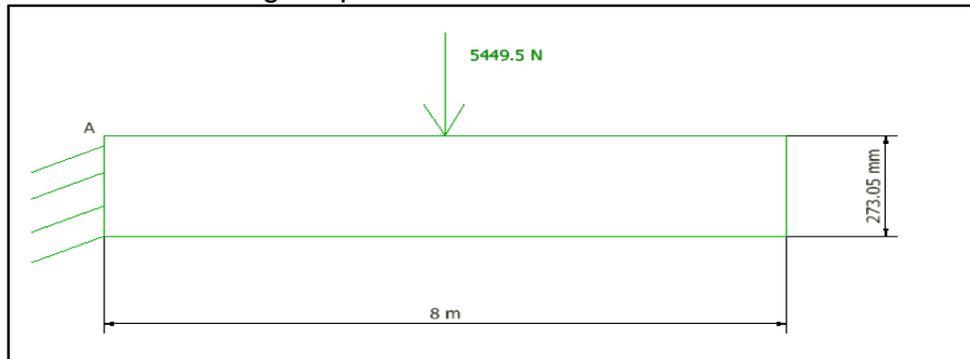
$$F_i = 0.75 * (353\text{mm}^2 * 830\text{ MPa})$$

$$F_i = 219742.5\text{ N}$$

- Tornillo en sección del tubo 1

La sección 1 está dada donde se conecta la sección del tubo de 10 metros con la de 8 metros, esta sección se caracteriza por estar el tubo de 8 metros sin ningún otro apoyo más que los tornillos de la bridas, la determinación para el esfuerzo que tiene que soportar el tornillo se muestra en la siguiente figura, dado por la carga puntual de la masa del tubo:

Ilustración 85. Carga expuesta en el tubo de 8 metros



$$\sigma_A = \frac{21798000\text{ N} \cdot \text{mm} * 180.98\text{ mm}}{\frac{\pi}{4} * [(136.525\text{mm})^4 - (127.255\text{mm})^4]}$$

$$\sigma_A = 58.972\text{ MPa}$$

Una vez obtenido el esfuerzo de la sección se deduce:

$$P = \sigma * A_t$$

$$P = 58.972 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 353\text{mm}^2 \rightarrow P = 20817.12\text{ N}$$

Ecuación 25. Factor de carga o seguridad

$$\eta = \frac{S_p * A_t - F_i}{C * P}$$

Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, Budynas G. Richard. Pág. 425.

$$\eta = \frac{830 \frac{N}{mm^2} * 353 mm^2 - 219742.5 N}{0.517 * 20817.12 N} \rightarrow \eta = 6.8$$

Carga resultante en el perno:

Ecuación 26. Carga resultante en el perno

$$F_b = P_b + F_i = C * P + F_i$$

Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, Budynas G. Richard. Pág.421

$$F_b = 0.517 * 20817.12 N + 219742 N$$

$$F_b = 230504.95 N$$

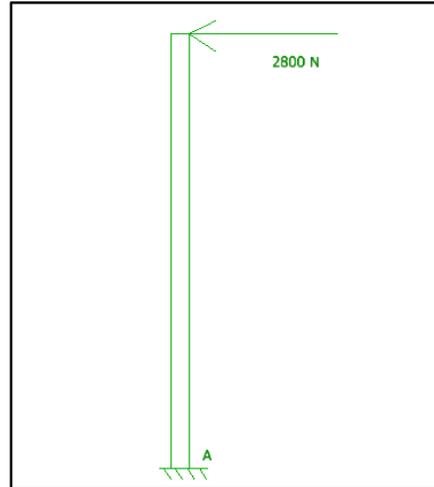
Por lo tanto el esfuerzo del tornillo estará dado por

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t} = \frac{230504.95 N}{353 mm^2} \rightarrow \sigma_b = 652.98 MPa$$

- Tornillo en la sección del tubo 2:

Este tornillo está expuesto a los esfuerzos que son producto de la totalidad del tubo o sea los 18 metros del tubo estando en una posición totalmente vertical, el esfuerzo de los tornillos de esta sección está dado por la fuerza que pueda actuar el viento sobre la superficie del tubo, tal y como se analizó en la sección anterior, se asumirá como una fuerza unidimensional que actúa en la punta del extremo superior de la Tea, dadas las condiciones anteriores la carga está mostrada en la siguiente figura:

Ilustración 86. Esquema de esfuerzo en la base por el viento



$$\sigma_A = \frac{50400000 \text{ N} \cdot \text{mm} * 180.98 \text{ mm}}{\frac{\pi}{4} * [(136.525 \text{ mm})^4 - (127.255 \text{ mm})^4]}$$

$$\sigma_A = 136.3514 \text{ MPa}$$

Una vez obtenido el esfuerzo de la sección se deduce:

$$P = \sigma * A_t$$

$$P = 136.3514 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 353 \text{ mm}^2 \rightarrow P = 48132.07 \text{ N}$$

$$\eta = \frac{830 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 353 \text{ mm}^2 - 219742.5 \text{ N}}{0.517 * 48132.07 \text{ N}} \rightarrow \eta = 2.94$$

La carga resultante del perno en la sección 2 está dada por:

$$F_b = 0.517 * 48132.07 \text{ N} + 219742.5 \text{ N}$$

$$F_b = 244626.78 \text{ N}$$

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t} = \frac{244626.78 \text{ N}}{353 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_b = 692.99 \text{ MPa}$$

Se Puede concluir de esta sección del análisis de los tornillos en las dos secciones donde se unen los tubos, que el esfuerzo del tornillo no supera la resistencia de prueba (830 MPa) y se debe considerar aún más que por norma la bridas que unen los tubos requieren de 12 pernos.

4.6.2 Análisis de la soldadura. Para el análisis de soldaduras se debe tener en cuenta que se pueden analizar los 4 tipos de carga a los que puede estar expuesto un cordón de soldadura, el procedimiento permite analizar de manera independiente la soldadura de los elementos que componen la unión.

Ecuación 27. Relaciones de fuerza de la soldadura por pulgada

Tipo de carga	Relación o ecuación
Tensión o compresión directa	$f = P/A_W$
Cortante vertical directo	$f = V/A_W$
Flexión	$f = M/S_W$
Torsión	$f = T_c/J_W$

Fuente: Diseño de Elementos de Máquinas, Mott L. Robert. Pág. 785

En la ecuación 27 como se puede ver en la citación anterior, la relación para determinar la fuerza por pulgada de soldadura, varía conforme se analice la carga actuante, ya sea una carga a tensión, cortante, flexión o torsión la relación maneja el mismo principio.

Los elementos más importantes que serán analizados en esta sección serán los tubos que están soldados a las bridas y las vigas principales que soportan las cargas de los cilindros hidráulicos y del peso de la Tea.

- Tubo de la Tea

Para el análisis de las soldaduras es importante conocer el factor geométrico, el cual se determina por medio de la figura 20-8 del libro Diseño de Elementos de Máquinas de Mott, (ver anexo k), de esta figura se puede determinar la dimensión de la soldadura, el cordón a flexión y a torsión. Para una figura tubular se tiene:

Ecuación 28. Dimensión de soldadura, perfil circular

$$A_W = \pi * d$$

Fuente: Diseño de Elementos de Máquinas, Mott L. Robert. Pág. 786

Para el tubo de la tea se tiene que:

$$A_w = \pi * 10.75 \text{ pulg.}$$

$$A_w = 33.772 \text{ pulg.}$$

La Tea que por su condición en el diseño del sistema va a estar en una constante flexión debido a la carga de su propio peso, para determinar la soldadura se determina por:

Ecuación 29. Soldadura a flexión perfil de cilindro

$$S_w = \pi * \left( \frac{d^2}{4} \right)$$

Fuente: Diseño de Elementos de Máquinas, Mott L. Robert. Pág. 786

$$S_w = \pi * [(10.75 \text{ pulg})^2 / 4] \quad \rightarrow \quad S_w = 90.76 \text{ pulg}^2$$

La primera soldadura que se analizará es la que se encuentra en la base del tubo donde el tubo de 10 metros está soldado a una brida que lo conecta a la base de la plataforma del tráiler, para ello la fuerza de la soldadura al cortante está dado así:

$$f_v = \frac{1316.68 \text{ Kg} * \left( \frac{1 \text{ Lb}}{0.454} \text{ Kg} \right)}{33.77 \text{ pulg}}$$

$$f_v = 85.88 \frac{\text{Lb}}{\text{pulg}}$$

Para la flexión:

$$M = 79376.62 \text{ N} \cdot \text{m} * \left( \frac{1}{9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right) * \left( \frac{1 \text{ Lb}}{0.454 \text{ Kg}} \right) * \left( \frac{1 \text{ pulg}}{0.0254 \text{ m}} \right)$$

$$M = 702387.79 \text{ Lb} \cdot \text{pulg}$$

$$f_b = \frac{702387.79 \text{ Lb} \cdot \text{pulg}}{90.76 \text{ pulg}^2} = 7738.95 \frac{\text{Lb}}{\text{pulg}}$$

Para hallar la longitud del lado de soldadura se utiliza la fuerza admisible que proporciona un electrodo E-70 para aceros ASTM de estructuras para puentes, el valor hallado se encuentra en la tabla 20-3 del libro Diseño de Elementos de Máquinas de Mott.

Ecuación 30. Longitud del lado de soldadura

$$W = \frac{(fuerza\ resultante) f_R}{fuerza\ admisible}$$

Fuente: Diseño de Elementos de Máquinas, Mott L. Robert. Pág. 789

Hay que tener en cuenta que para determinar la fuerza resultante  $f_R$  se realiza un cálculo de vectores, siendo las fuerzas del cortante y de flexión resulta:

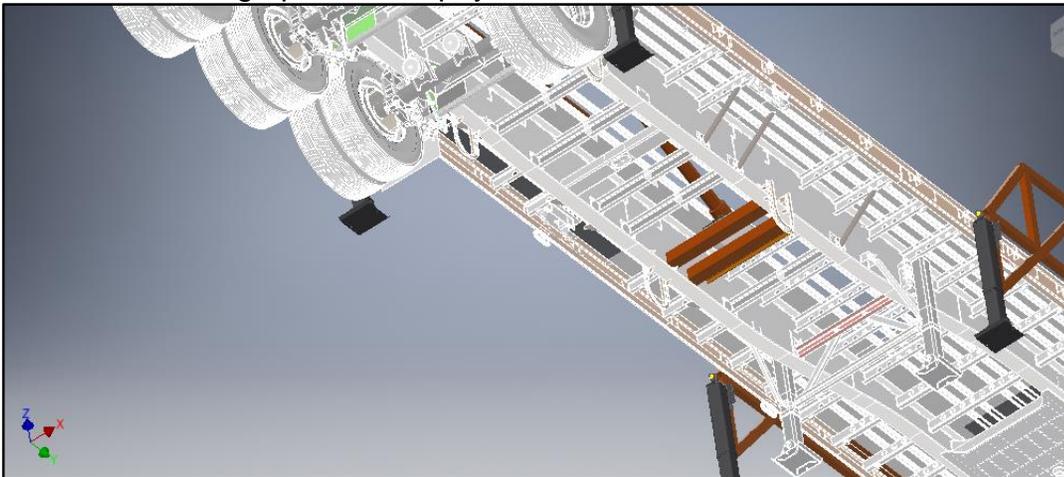
$$f_R = \sqrt{(f_b)^2 + (f_v)^2}$$

$$f_R = \sqrt{\left(7738.95 \frac{Lb}{pulg}\right)^2 + \left(85.88 \frac{Lb}{pulg}\right)^2} = 7739.42 \frac{Lb}{pulg}$$

$$W = \frac{7739.42 \frac{Lb}{pulg}}{10400 \frac{Lb}{pulg^2}} = 0.744\ pulg$$

- Viga perfil IPN160

Ilustración 87. Viga perfil en I apoyo cilindro hidráulico.



Esta es la viga que contiene la fuerza que efectúa el cilindro para levantar el tubo de la tea, debido a la disposición del diseño esta es la fuerza más grande que se efectúa en el sistema y de allí la importancia de analizar la soldadura en este

elemento. De acuerdo al perfil en forma de I, las ecuaciones de dimensión de soldadura y la soldadura para perfil en I están dadas:

Ecuación 31. Dimensiones de la soldadura, perfil en I

$$A_W = 2b + 2d$$

Fuente: Diseño de Elementos de Máquinas, Mott L. Robert. Pág. 786

Siendo;  $b = 74 \text{ mm}$  y  $d = 160 \text{ mm}$  (ver anexo E).

$$A_W = 2 * (2.9313 \text{ pulg}) + 2 * (6.299 \text{ pulg})$$

$$A_W = 18.424 \text{ pulg}$$

Ecuación 32. Soldadura a flexión, perfil en I

$$S_W = b * d + d^2/3$$

Fuente: Diseño de Elementos de Máquinas, Mott L. Robert. Pág. 786

$$S_W = (2.913 \text{ pulg} * 6.299 \text{ pulg}) + \left( \frac{(6.299 \text{ pulg})^2}{3} \right)$$

$$S_W = 31.574 \text{ pulg}^2$$

La fuerza de la soldadura a la fuerza cortante está dada por:

$$f_v = \frac{39369.95 \text{ N} \left( \frac{1}{9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right) * \left( \frac{1 \text{ Lb}}{0.454 \text{ Kg}} \right)}{18.424 \text{ pulg}}$$

$$f_v = 480.28 \frac{\text{Lb}}{\text{pulg}}$$

La fuerza a la flexión: en la figura 87 se muestra el momento para este elemento

$$f_b = \frac{10728.18 \text{ N} \cdot \text{m} \left( \frac{1}{9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right) * \left( \frac{1 \text{ Lb}}{0.454 \text{ Kg}} \right) * \left( \frac{1 \text{ pulg}}{0.0254 \text{ m}} \right)}{31.574 \text{ pulg}^2}$$

$$f_b = 3006.63 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}}$$

$$f_R = \sqrt{\left(3006,63 \frac{Lb}{pulg}\right)^2 + \left(480,28 \frac{Lb}{pulg}\right)^2} = 3044,753 \frac{Lb}{pulg}$$

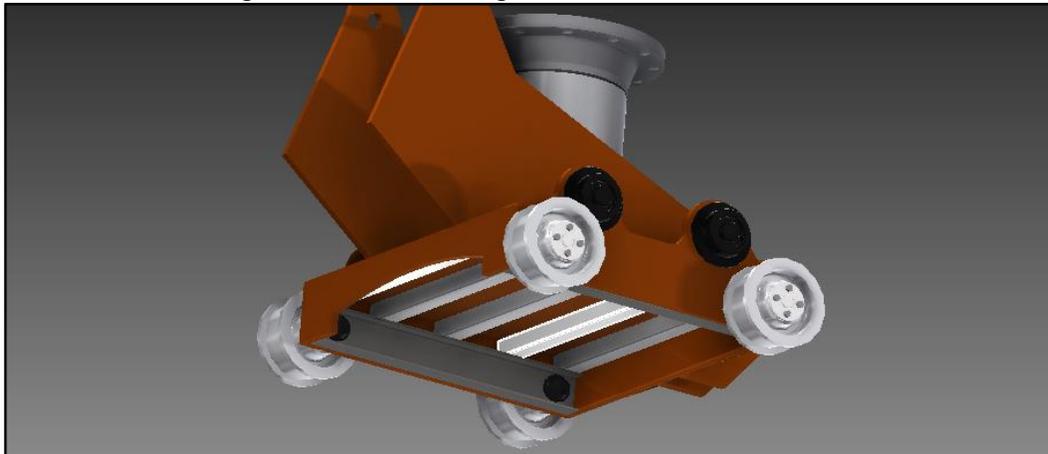
Para hallar la longitud del chaflán de la soldadura se utiliza la fuerza admisible que proporciona un electrodo E-60 para aceros ASTM de estructuras de edificios. , el valor de la fuerza admisible se encuentra en la tabla 20-3 del libro Diseño de Elementos de Máquinas de Mott.

$$W = \frac{3044,753 \frac{Lb}{pulg}}{9600 \text{ Lb/pulg}^2} = 0,317 \text{ pulg}$$

Para la Viga IPN 160 el cordón de soldadura no sobrepasa el valor de uno (1) tal y como lo expresa las recordaciones del proceso de cálculo en el libro de Diseño de Elementos de Máquinas de Mott.

- Viga con Perfil SHS 40X40

Ilustración 88. Viga SHS40x40 – viga sistema rodante



Esta viga que está soldada en sus extremos a las vigas del sistema de rodadura, soporta una carga puntual en dos partes de la viga. . De acuerdo al perfil en forma de cuadrado, las ecuaciones de dimensión de soldadura y la soldadura para perfil cuadrado están dadas:

Ecuación 33. Dimensiones de la soldadura, perfil cuadrado

$$A_w = 2b + 2d$$

Fuente: Diseño de Elementos de Máquinas, Mott L. Robert. Pág. 786

$$A_w = 2 * (1.574 \text{ pulg}) + 2 * (1.574 \text{ pulg})$$

$$A_w = 6.299 \text{ pulg}$$

Ecuación 34. Soldadura a flexión, perfil cuadrado

$$S_w = b * d + d^2/3$$

Fuente: Diseño de Elementos de Máquinas, Mott L. Robert. Pág. 786

$$S_w = (1.574 \text{ pulg} * 1.574 \text{ pulg}) + [(1.574 \text{ pulg})^2/3]$$

$$S_w = 3.303 \text{ pulg}^2$$

La fuerza de la soldadura a la fuerza cortante está dada por:

$$f_v = \frac{3435.6 \text{ N} \left( \frac{1}{9.8 \frac{m}{s^2}} \right) * \left( \frac{1Lb}{0.454 Kg} \right)}{6.299 \text{ pulg}}$$

$$f_v = 122.588 \frac{Lb}{pulg}$$

La fuerza a la flexión:

$$f_b = \frac{460.4 \text{ N} \cdot m \left( \frac{1}{9.8 \frac{m}{s^2}} \right) * \left( \frac{1Lb}{0.454 Kg} \right) * \left( \frac{1pulg}{0.0254m} \right)}{3.303 \text{ pulg}^2}$$

$$f_b = 1233.42 \frac{Lb}{pulg}$$

$$f_R = \sqrt{\left( 1233.42 \frac{Lb}{pulg} \right)^2 + \left( 122.588 \frac{Lb}{pulg} \right)^2}$$

$$f_R = 1239.49 \frac{Lb}{pulg}$$

Para hallar la longitud del lado de soldadura se utiliza la fuerza admisible que proporciona un electrodo E-60 para aceros ASTM de estructuras de edificios. , el valor de la fuerza admisible se encuentra en la tabla 20-3 del libro Diseño de Elementos de Máquinas de Mott.

$$W = \frac{1239.49 \frac{Lb}{pulg}}{9600 \frac{Lb}{pulg^2}} \rightarrow W = 0.129 pulg$$

La preparación de los elementos que van a ser soldados se determinarán de acuerdo con el ensamble general del diseño y se determinará cada chaflán y si hay la necesidad penetración de orilla.

Para la fabricación del diseño se debe tener en cuenta que el procedimiento de la soldadura se debe someter a la norma ASME B 31.8, donde se especifica la normatividad para soldaduras en tuberías, materiales forjados y fundidos, válvulas, bridas, accesorios, etc. Esta norma es la recomendada para el sector petrolero y la industria petroquímica, y puede usarse alternamente con la guía de API 537, y esta describe la preparación de cada elemento que va a ser soldado, también la norma describe las inspecciones que se le deben realizar a la soldadura.

- Uniones articuladas

Estos elementos que se analizaron a la resistencia de la carga del peso del tubo, se determinaron sus dimensiones en la sección 4.3.8, estos elementos que van sujetos al tubo de la Tea están soldados a la superficie del ducto

Ilustración 89. Uniones de acople – bisagras.

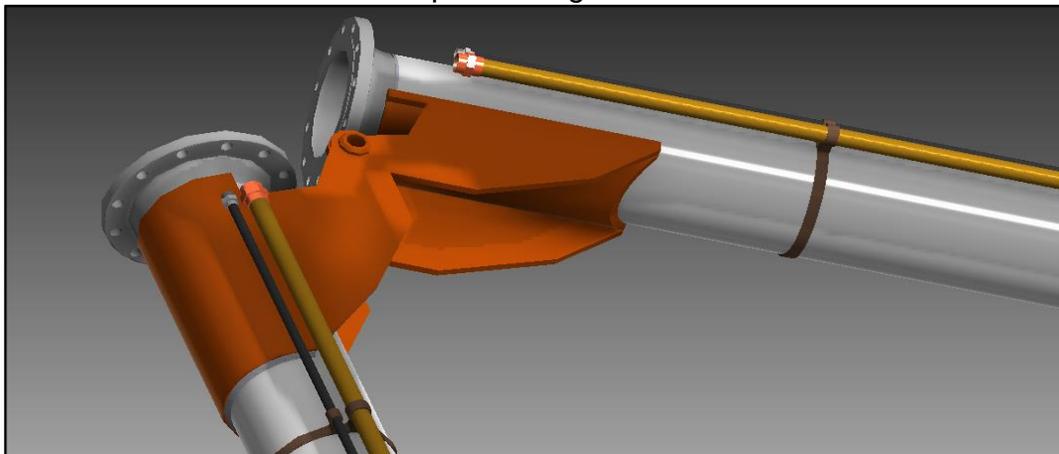


Ilustración 90. Diagrama del cuerpo de la bisagra

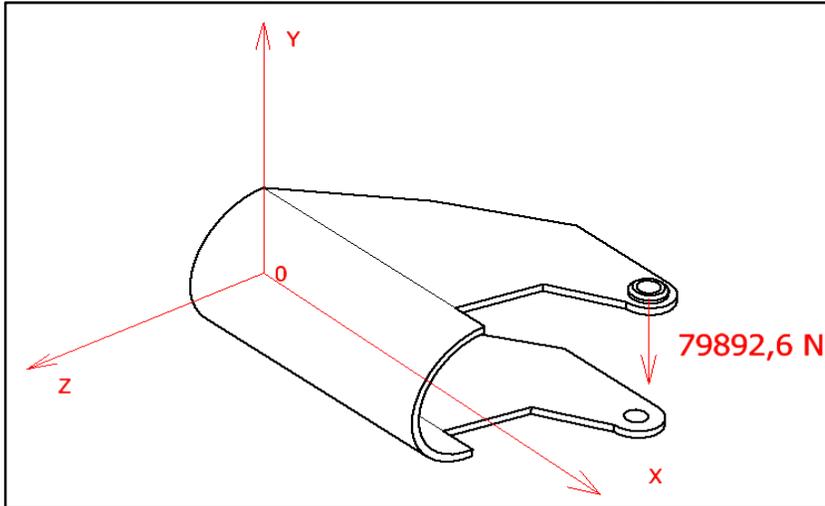
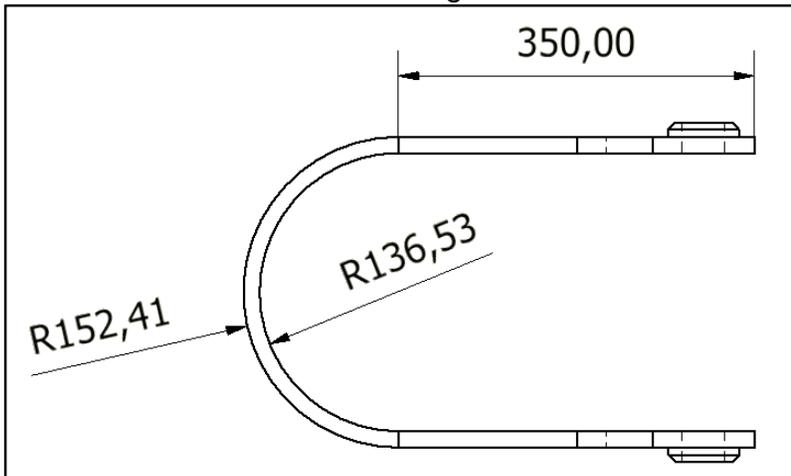


Ilustración 91. Vista frontal bisagra



Realizando un sumatoria de momentos se determina el torque que actúa en la primera fibra que esta soldada al tubo de la tea:

$$T = 79892.6N \left( \frac{1}{9.8 \frac{m}{s^2}} \right) * \left( \frac{1Lb}{0.454 Kg} \right) * \left( 1Pulg * \frac{0.35m}{0.0254 m} \right)$$

$$T_x = 247433,76 Lb \cdot Pulg \approx$$

Ahora para determinar la geometría del cordón de la soldadura se debe tener en cuenta el tipo de carga, para esta situación de carga a torsión de acuerdo a las formulas nombradas se tiene que;

Ecuación 35. Factor geométrico de un cilindro a torsión

$$J_W = \pi \left( \frac{d^3}{4} \right)$$

Fuente: Diseño de Elementos de Máquinas, Mott L. Robert. Pág. 786

$$J_W = \pi \left( \frac{\left( 1\text{Pulg} * \frac{0.1524\text{m}}{0.0254\text{m}} \right)^3}{4} \right) = 169,67 \text{ pulg}^3$$

Entonces se obtiene que:

$$f = T_c / J_W$$

$$f = \left( \frac{247433,76 \text{ Lb} \cdot \text{Pulg} * \left( 1\text{Pulg} * \frac{0.1524\text{m}}{0.0254\text{m}} \right)}{169,67 \text{ pulg}^3} \right)$$

$$f = 8734,5 \text{ Lb/Pulg}$$

Ahora se procede a comprar el resultado con la fuerza admisible la cual no debe superar 1 Pulg de cordón de soldadura;

$$W = \frac{8734,5 \text{ Lb/Pulg}}{9600 \frac{\text{Lb}}{\text{pulg}^2}} \rightarrow W = 0.909 \text{ Pulg}$$

El resultado mostrado aunque da un valor muy cercano a 1 Pulg se debe tener en cuenta que este elemento va a estar soldado en los dos extremos del perfil semicircular, reduciendo así la carga por pulgada de soldadura.

#### 4.7 DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO

El diseño del sistema hidráulico consta del análisis del cilindro telescópico que está acoplado al sistema de deslizamiento y el cilindro hidráulico base al cual se hizo un análisis previo en el principio del capítulo para conocer las dimensiones y posiciones del resto de elementos.

Ilustración 92. Sentido de accionamiento de los cilindros hidráulicos



El sistema hidráulico del diseño de la Tea tiene como función el levantamiento y desplazamiento del ducto de la antorcha que conduce el gas para incinerarlo, para realizar esta labor se ha descrito anteriormente que para el levantamiento del tubo, se dispondrá de un cilindro hidráulico de doble efecto y para el desplazamiento del tubo a través de la plataforma del tráiler debido a la poca disponibilidad de espacio se dispondrá de un cilindro hidráulico telescópico de doble efecto.

4.7.1 Cilindro hidráulico de levantamiento del ducto. Retomando los datos hallados en la sección de parámetros de carga y dimensión del principio de capítulo, se tiene que el cilindro hidráulico:

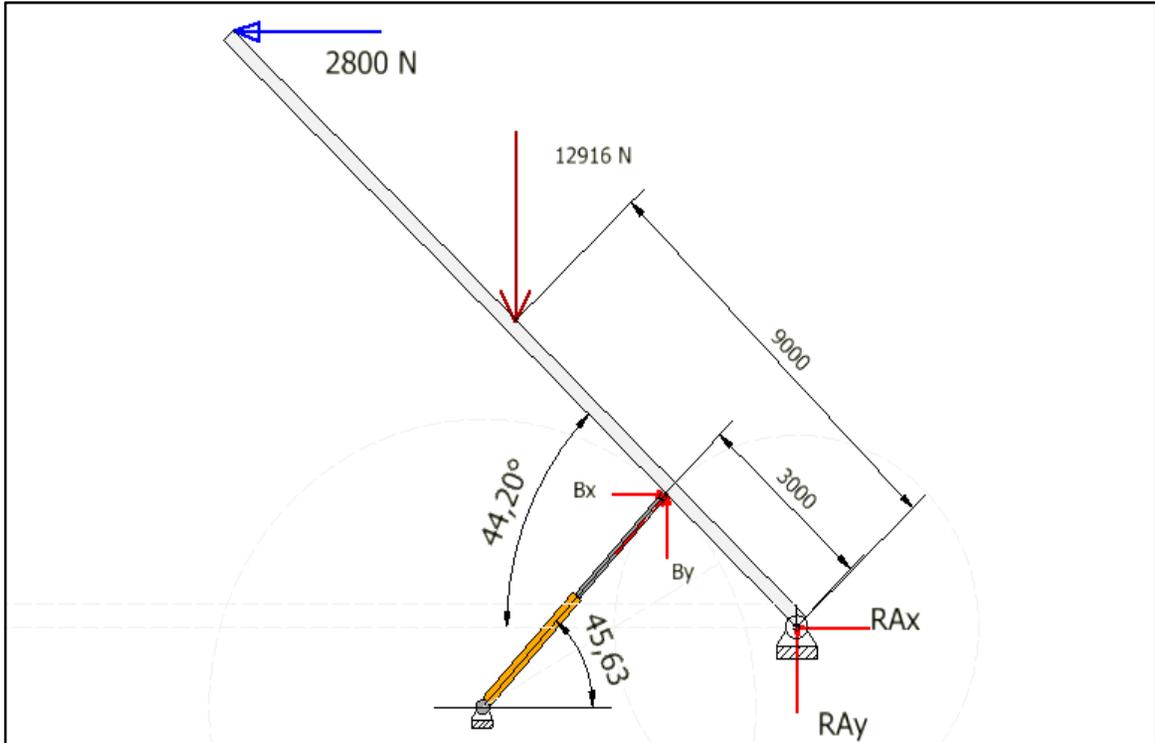
Ø vástago= 70 mm

Ø pistón o émbolo= 100 mm

Longitud de carrera = 2000 mm (extensión del vástago)

Ahora se debe analizar si el cilindro puede soportar la carga para el instante en que está totalmente extendido, para ello se realizará su debido análisis con la longitud de pandeo la cual es la longitud en este caso de los centros de los pasadores en los extremos. Para ello se tiene el instante que criticidad mostrado en la ilustración que está a continuación.

Ilustración 93. Posición crítica del sistema



$$\sum Fy = 0 \rightarrow RAy + B(\text{sen } 45,6) - 12\,916\text{ N} = 0$$

$$\sum Fx = 0 \rightarrow B(\text{cos } 45,63) - RAx - 2800\text{ N} = 0$$

$$\sum MA = 0$$

$$-B(\text{sen } 87,86) * 3\text{ m} + 12916\text{ N}(\text{cos } 44,2) * 9\text{ m} + 2800(\text{sen } 44,2) * 18\text{ m} = 0$$

$$B = \frac{83\,336,5\text{ Nm} + 35137,12\text{ Nm}}{3\text{ m}(\text{sen } 87,86)} = 39518,76\text{ N}$$

Ecuación 36. Fuerza de pandeo

$$F_p = \frac{\pi^2 * E * I}{L_p * FS}$$

Fuente: prontuario de hidráulica industrial

En donde E es el módulo de elasticidad del acero ( $2,1 \times 10^5\text{ N/mm}^2$ ), I es el momento de inercia,  $L_p$  es la longitud de pandeo y F.S. es el factor de seguridad el cual para este caso se utilizará un valor de 2.5, tal y como lo sugiere el libro

prontuario de hidráulica, para sistemas hidráulicos que manejan presiones nominales de trabajo de 150 a 200 Bar.

$$L_K = X + Lc + Lc + CH$$

Siendo  $L_p$  la distancia entre los dos ejes de rotula, estando el vástago fuera,  $L_c$  la longitud de carrera.  $X$  y  $CH$  valores de distancias del cilindro que se pueden verificar en el anexo C

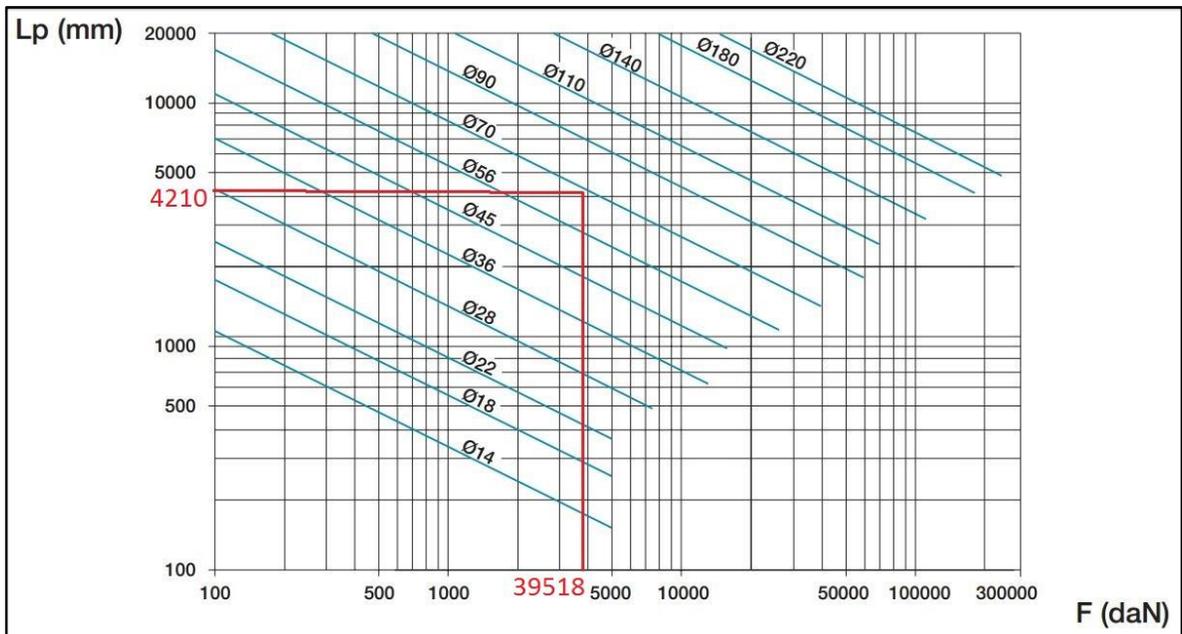
$$L_p = 90\text{mm} + 2000\text{mm} + 2000\text{m} + 120\text{mm}$$

$$F_p = \frac{\pi^2 * 2,1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2 * \left( \frac{\pi * (70 \text{ mm})^4}{64} \right)}{(4210\text{mm})^2 * 2,5}$$

$$F_p = 55\,128,6 \text{ N}$$

Como se puede apreciar la fuerza de pandeo arroja un resultado de 55 128, 6 N cuyo valor no supera la determinada en la situación en que el cilindro está totalmente desplegado (39518 N), ahora se procede a corroborar los datos con la gráfica de pandeo del fabricante del cilindro, a continuación se puede apreciar la gráfica con los valores de entrada, longitud de pandeo  $L_p$  4210 mm,  $F$  39518 N.

Ilustración 94. Grafica de Pandeo



Se puede determinar que mediante la gráfica de pandeo, los valores de condición crítica no superan el límite permitido para un diámetro de vástago de 70 mm.

Para el sistema hidráulico se selecciona una bomba hidráulica de presión nominal de 160 Bar y teniendo en cuenta que el tiempo de accionamiento no debe exceder los 5 minutos de despliegue de todo el cilindro telescópico, para ello se tiene una bomba de desplazamiento fijo con un tamaño nominal de NG18 (ver anexo L). Esta bomba maneja un flujo de 37 litros por minuto, una vez obtenida la bomba que se utilizará en el sistema se procede a calcular la velocidad de despliegue del cilindro principal.

Para conocer la velocidad del cilindro en el retroceso se requiere conocer el área del anillo actuador, que es el resultante de la diferencia de áreas del pistón y del vástago.

$$A_a = \left[ \frac{\pi}{4} * (10cm)^2 \right] - \left[ \frac{\pi}{4} * (7cm)^2 \right] \quad A_a = 40.06 \text{ cm}^2$$

La velocidad del retroceso está dada por la fórmula:

Ecuación 37. Velocidad de retroceso

$$V_R = \frac{Q}{A_A}$$

Fuente: prontuario de hidráulica industrial Pág. 102

Donde  $Q$  se refiere al caudal que proporciona la bomba hidráulica expresado en metros cúbicos por segundo y  $A_A$  se refiere al área del anillo que efectúa la fuerza del cilindro hidráulico expresado en metros cuadrados.

$$V_R = \frac{37 \frac{L}{min} * \left( \frac{1m^3}{1000L} \right) * \left( \frac{1min}{60seg} \right)}{4.006 \times 10^{-3} m^2}$$

$$V_R = 0.153 \frac{m}{seg}$$

La velocidad de retroceso del cilindro es aproximadamente 15 centímetros por segundo lo cual muestra que en aproximadamente 13 segundos estará completamente contraído el cilindro hidráulico. Para determinar la velocidad de avance se halla por medio del área del pistón actuante:

Ecuación 38. Velocidad de avance

$$V_a = \frac{Q}{A_e}$$

Fuente: prontuario de hidráulica industrial Pág. 102

Donde  $A_e$  es el área del pistón o émbolo actuante.

$$V_a = \frac{37 \frac{L}{min} * \left( \frac{1m^3}{1000L} \right) * \left( \frac{1min}{60seg} \right)}{7.8539 \times 10^{-3} m^2}$$

$$V_a = 0.0785 m/s$$

La fuerza del cilindro en el avance está expuesta por la fórmula:

Ecuación 39. Fuerza de avance del cilindro

$$F = P * A * \eta$$

Fuente: prontuario de hidráulica industrial Pág. 90

Donde F es la fuerza que ejerce el cilindro en el avance, P se refiere a la presión nominal o presión de trabajo, donde según la norma ISO 6020 la presión para este cilindro es de 160 Bar (16 MPa), el área que se relaciona en la fórmula (A) se refiere al área del émbolo y  $\eta$  es el coeficiente de determinación de carga.

$$F = 160 \times 10^5 \frac{N}{m} * 7.8539 \times 10^{-3} m^2 * 0.9$$

$$F = 113096.17 N$$

Para determinar la fuerza de retroceso se utiliza el mismo principio de cálculo de la ecuación 35, pero para el área se debe determinar con el anillo actuante de la diferencia de áreas del émbolo y el vástago.

Ecuación 40. Fuerza de retroceso

$$F_R = P * (A_e - A_v) * \eta$$

Fuente: prontuario de hidráulica industrial Pág. 90

$$F_R = 160 \times 10^5 \frac{N}{m} * \left( \left[ \frac{\pi}{4} * (0.1m)^2 \right] - \left[ \frac{\pi}{4} * (0.07m)^2 \right] \right) * 0.9$$

$$F_R = 57686.4 N$$

El cilindro hidráulico de levantamiento del ducto que tiene una carga alta debido a la posición en que se encuentra y no por la masa de la Tea, se pudo comprobar que el cilindro puede efectuar una fuerza máxima de 113096 N de los 78739 N requeridos para romper el momento de inercia y poder levantar el tubo. Para la potencia de todo el sistema se puede determinar mediante la siguiente relación:

Ecuación 41. Potencia del sistema hidráulico

$$P = Q * Pf$$

Fuente: prontuario de hidráulica industrial Pág. 102

Para determinar la potencia  $P$  se requiere conocer el caudal  $Q$  expresado en metros cúbicos por segundo y  $Pf$  que se refiere a la presión del fluido.

$$P = 6.166667 \times 10^{-4} \frac{m^3}{Seg} * 160 \times 10^5 \frac{N}{m}$$

$$P = 9866.66 \text{ Watt} \cong 9.866 \text{ KWatt}$$

Para determinar la potencia del motor se debe tener en cuenta la eficiencia

Ecuación 42. Potencia del motor

$$P_{motor} = \frac{P}{\eta}$$

Fuente: prontuario de hidráulica industrial Pág. 102

$$P_{motor} = \frac{9866.66 \text{ Watt}}{0.85} = 11607.83 \text{ watt} \cong 15.6 \text{ Hp}$$

La potencia del motor debe ser de 15.6 caballos de fuerza que es el requerido para poder accionar todo el sistema hidráulico.

4.7.2 Cilindro telescópico. El cilindro telescópico tiene la función de desplazar todo el sistema de la tea sobre la plataforma del tráiler para poder ubicar el ducto de la Tea en el centro de la plataforma en una posición totalmente vertical.

Para el cálculo del cilindro se debe tener en cuenta que debe recorrer una distancia de 3800 milímetros con un espacio disponible para el cilindro de menos de 2 metros, la carga que debe empujar este cilindro es de 15 000 N.

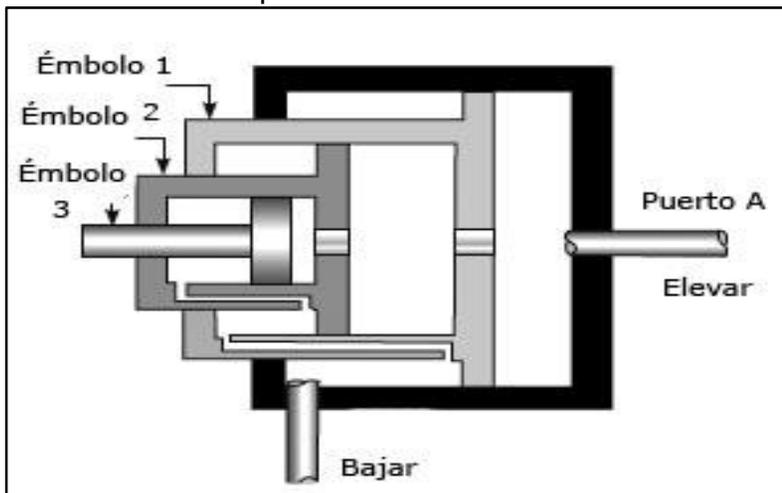
La determinación y el diseño de los cilindros hidráulicos están muy ligados al proceso de fabricación de cada distribuidor, por ello las dimensiones pueden variar, tomando como referencia el diámetro menor de la última etapa se tiene que mediante la ecuación 4:

$$\phi_v = \sqrt[4]{\frac{64 * 15000N * (5800mm)^2 * 3}{\pi^3 * 2.1 \times 10^5 \frac{N}{mm^2}}} \rightarrow \phi_v = 62.10 \text{ mm}$$

Una vez obtenidos los datos más importantes para seleccionar el cilindro apropiado, se procede a buscar la mejor opción en los catálogos de los fabricantes, en las opciones de los fabricantes los diámetros más comerciales que se trabajan en las expansiones de cilindros telescópicos son; 2 ¾ Pulg, 3 ¾ Pulg, 4 ¾ Pulg, 5 ¾ Pulg, 6 ¾ Pulg, 7,905 Pulg, 9,375 Pulg y 10 ¾ Pulg, 12,5 pulg y 14 pulg.

El diámetro hallado se aproxima a 2 ¾ Pulg (69,85 mm) y no al de 63 mm considerando que el vástago no es en su totalidad macizo haciendo la salvedad de la etapa final de los despliegues del cilindro telescópico y considerando el ajuste a la comercialidad de la dimensiones. Mediante la verificación del diseño por medio de un catálogo se puede conocer los diámetros de los émbolos y los diámetros de los vástagos nombrados en el párrafo anterior, además se corroborará el número de etapas apropiadas de acuerdo a la distancia de carrera Requerida (Ver anexo M).

Ilustración 95. Esquema funcional de un cilindro telescópico



Fuente: Neumática e hidráulica, <en línea>, <http://www.sapiensman.com/>

Se tiene que para una carrera de 156 Pulgadas en las distancias normalizadas de carrera del cilindro, se recomienda usar una configuración de 4 etapas, correspondiente a lo dicho anteriormente los diámetros de los vástagos o etapas del cilindro son: 2 ¾ Pulg, 3 ¾ Pulg, 4 ¾ Pulg, 5 ¾ Pulg. El cilindro con una denominación según el catalogo:

### **SD54MC-3-156**

La denominación del cilindro indica: **SD**; doble efecto, **5**; diámetro nominal de la etapa más grande, **4**; número de etapas, **M**; opción de montaje tipo muñón en el cuerpo de la camisa, **C**; opción de montaje en el extremo del vástago (perforación por pasador), **3**; número de modificaciones en el cilindro, **156**; longitud de la carrera.

Ilustración 96. Cilindro Telescópico

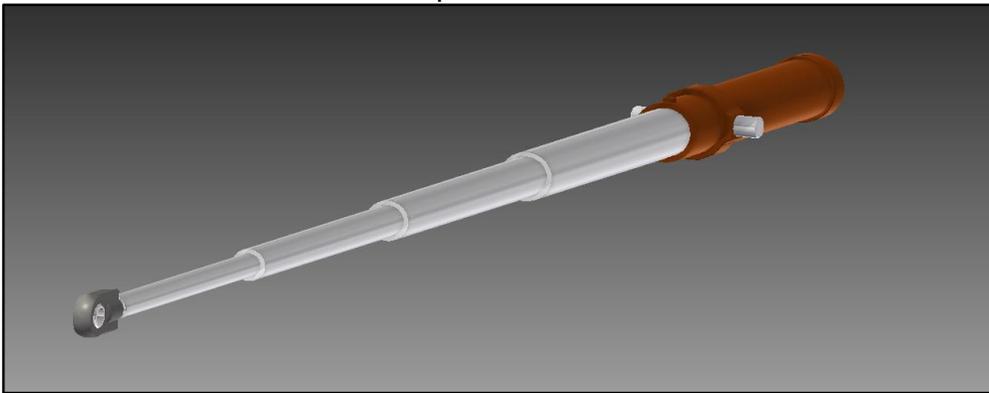
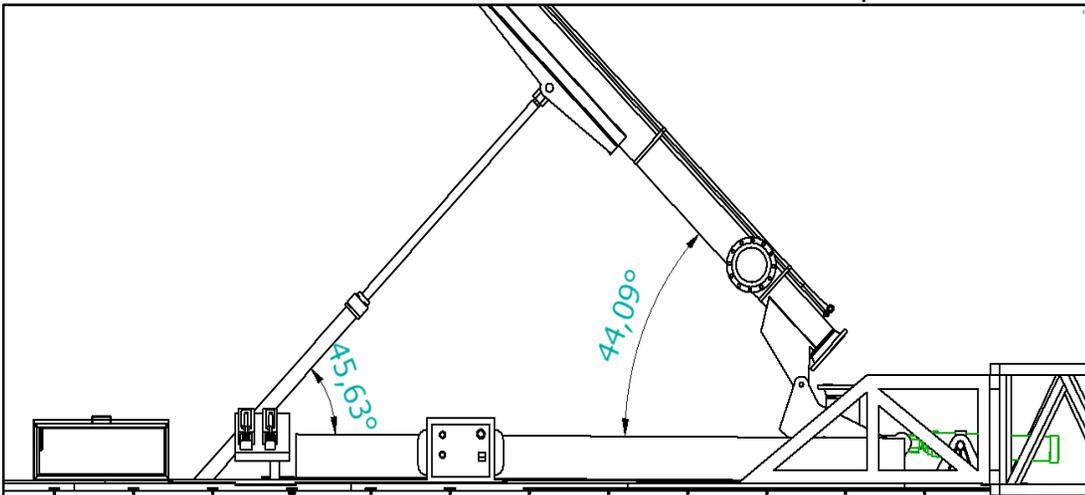


Ilustración 97. Instante de accionamiento del cilindro Telescópico



En la figura 97 se puede apreciar el instante en que puede empezar a accionarse el cilindro Telescópico, en este instante el cilindro telescópico solo tendría que

mover la carga de la Tea (12900 N) que está distribuida en el punto de apoyo del cilindro hidráulico y el apoyo de la Tea, sin embargo el cilindro telescópico debe estar en condiciones de accionarse simultáneamente cuando el cilindro hidráulico de levantamiento se acciona generando una fuerza sobre el ducto de 78739 N y creando una reacción en el apoyo de 68190 N.

La fuerza de avance en la primera etapa está dada por el diámetro del embolo actuante:

$$F = 160 \times 10^5 \frac{N}{m^2} * \left[ \frac{\pi}{4} * (0.15875m)^2 \right] * 0.9 \quad \rightarrow \quad F = 285022,95N$$

La fuerza calculada para esta etapa cumple con superar la fuerza necesaria para empujar el sistema de desplazamiento a través de la plataforma por la distancia que comprende esta etapa la cual es de 990 mm.

Fuerza de avance etapa 2

$$F = 160 \times 10^5 \frac{N}{m^2} * \left[ \frac{\pi}{4} * (0.13335m)^2 \right] * 0.9 \quad \rightarrow \quad F = 201112,19N$$

Fuerza de avance etapa 3

$$F = 160 \times 10^5 \frac{N}{m^2} * \left[ \frac{\pi}{4} * (0.10795m)^2 \right] * 0.9 \quad \rightarrow \quad F = 131794,61N$$

Para las etapas dos y tres la fuerza que puede ejercer el cilindro Hidráulico Cumple satisfactoriamente para mover la Carga de la Tea a través de la plataforma sin embargo el cilindro hidráulico ya no estará ejerciendo tal fuerza (78739 N) ya que el tubo de la Tea se habrá inclinado y levantado a los 2970 mm desplegados del cilindro telescópico.

Fuerza de avance etapa 4

$$F = 160 \times 10^5 \frac{N}{m^2} * \left[ \frac{\pi}{4} * (0,08255m)^2 \right] * 0.9 \quad \rightarrow \quad F = 77070,20,79N$$

Una vez conocidas la fuerza que ejerce cada etapa se procede a determinar la fuerza de retroceso, cuyo dato permitirá determinar la efectividad del sistema en el desmontaje de la Tea, para ello se tiene que la Fuerza de retroceso en la etapa 1 está dada por:

$$F_R = 160 \times 10^5 \frac{N}{m} * \left( \left[ \frac{\pi}{4} * (0.15875m)^2 \right] - \left[ \frac{\pi}{4} * (0.14606m)^2 \right] \right) * 0.9$$

$$F_R = 75415,7N$$

Para la Fuerza de retroceso en la etapa 2:

$$F_R = 160 \times 10^5 \frac{N}{m} * \left( \left[ \frac{\pi}{4} * (0.13335m)^2 \right] - \left[ \frac{\pi}{4} * (0.12065m)^2 \right] \right) * 0.9$$

$$F_R = 58828N$$

Fuerza de retroceso etapa 3

$$F_R = 160 \times 10^5 \frac{N}{m} * \left( \left[ \frac{\pi}{4} * (0.10795m)^2 \right] - \left[ \frac{\pi}{4} * (0.09525m)^2 \right] \right) * 0.9$$

$$F_R = 43830,19 N$$

Fuerza de retroceso etapa 4

$$F_R = 160 \times 10^5 \frac{N}{m} * \left( \left[ \frac{\pi}{4} * (0.08855m)^2 \right] - \left[ \frac{\pi}{4} * (0.06985m)^2 \right] \right) * 0.9$$

$$F_R = 30453,11 N$$

Las velocidades de avance que al igual que la fuerza de avance también están ligadas al área del émbolo, las velocidades se hallan por medio de la ecuación 38.

Velocidad de avance etapa 1:

$$V_a = \frac{37 \frac{L}{min} * \left( \frac{1m^3}{1000L} \right) * \left( \frac{1min}{60seg} \right)}{\frac{\pi}{4} * (0.15875m)^2} \rightarrow V_a = 0.03115 \frac{m}{s}$$

Velocidad de avance etapa 2:

$$V_a = \frac{37 \frac{L}{min} * \left( \frac{1m^3}{1000L} \right) * \left( \frac{1min}{60seg} \right)}{\frac{\pi}{4} * (0.13335m)^2} \rightarrow V_a = 0.04415 \frac{m}{s}$$

Velocidad de avance etapa 3:

$$V_a = \frac{37 \frac{L}{min} * \left( \frac{1m^3}{1000L} \right) * \left( \frac{1min}{60seg} \right)}{\left[ \frac{\pi}{4} * (0.10795m)^2 \right]} \rightarrow V_a = 0.0673 \frac{m}{s}$$

Velocidad de avance etapa 4:

$$V_a = \frac{37 \frac{L}{min} * \left(\frac{1m^3}{1000L}\right) * \left(\frac{1min}{60seg}\right)}{\left[\frac{\pi}{4} * (0,08255m)^2\right]} \rightarrow V_a = 0.1152 \frac{m}{s}$$

Las velocidades de retroceso al igual que el cálculo de fuerza de retroceso se hallan con el área del anillo actuador, por medio de la ecuación 37 se obtiene:

Velocidad de retroceso etapa 1:

$$V_R = \frac{37 \frac{L}{min} * \left(\frac{1m^3}{1000L}\right) * \left(\frac{1min}{60seg}\right)}{\left(\left[\frac{\pi}{4} * (0.15875m)^2\right] - \left[\frac{\pi}{4} * (0.14606m)^2\right]\right)}$$

$$V_R = 0.2038 \text{ m/s}$$

Velocidad de retroceso etapa 2:

$$V_R = \frac{37 \frac{L}{min} * \left(\frac{1m^3}{1000L}\right) * \left(\frac{1min}{60seg}\right)}{\left(\left[\frac{\pi}{4} * (0.13335m)^2\right] - \left[\frac{\pi}{4} * (0.12065m)^2\right]\right)}$$

$$V_R = 0.2434 \frac{m}{s}$$

Velocidad de retroceso etapa 3:

$$V_R = \frac{37 \frac{L}{min} * \left(\frac{1m^3}{1000L}\right) * \left(\frac{1min}{60seg}\right)}{\left(\left[\frac{\pi}{4} * (0.10795m)^2\right] - \left[\frac{\pi}{4} * (0.09525m)^2\right]\right)} \rightarrow V_R = 0.30425 \frac{m}{s}$$

Velocidad de retroceso etapa 4:

$$V_R = \frac{37 \frac{L}{min} * \left(\frac{1m^3}{1000L}\right) * \left(\frac{1min}{60seg}\right)}{\left(\left[\frac{\pi}{4} * (0.08255m)^2\right] - \left[\frac{\pi}{4} * (0.06985m)^2\right]\right)} \rightarrow V_R = 0.40566 \frac{m}{s}$$

De los cálculos obtenidos se puede ver que la fuerza de avance es lo suficiente para accionar el cilindro incluso cuando el cilindro que levanta el tubo está en transcurso de desplegarse.

4.7.3 Circuitos hidráulicos. Los circuitos hidráulicos se componen de dos esquemas que describen los componentes necesarios y requeridos para el sistema hidráulico de cada cilindro

Ilustración 98. Diagrama de circuito hidráulico cilindro 1

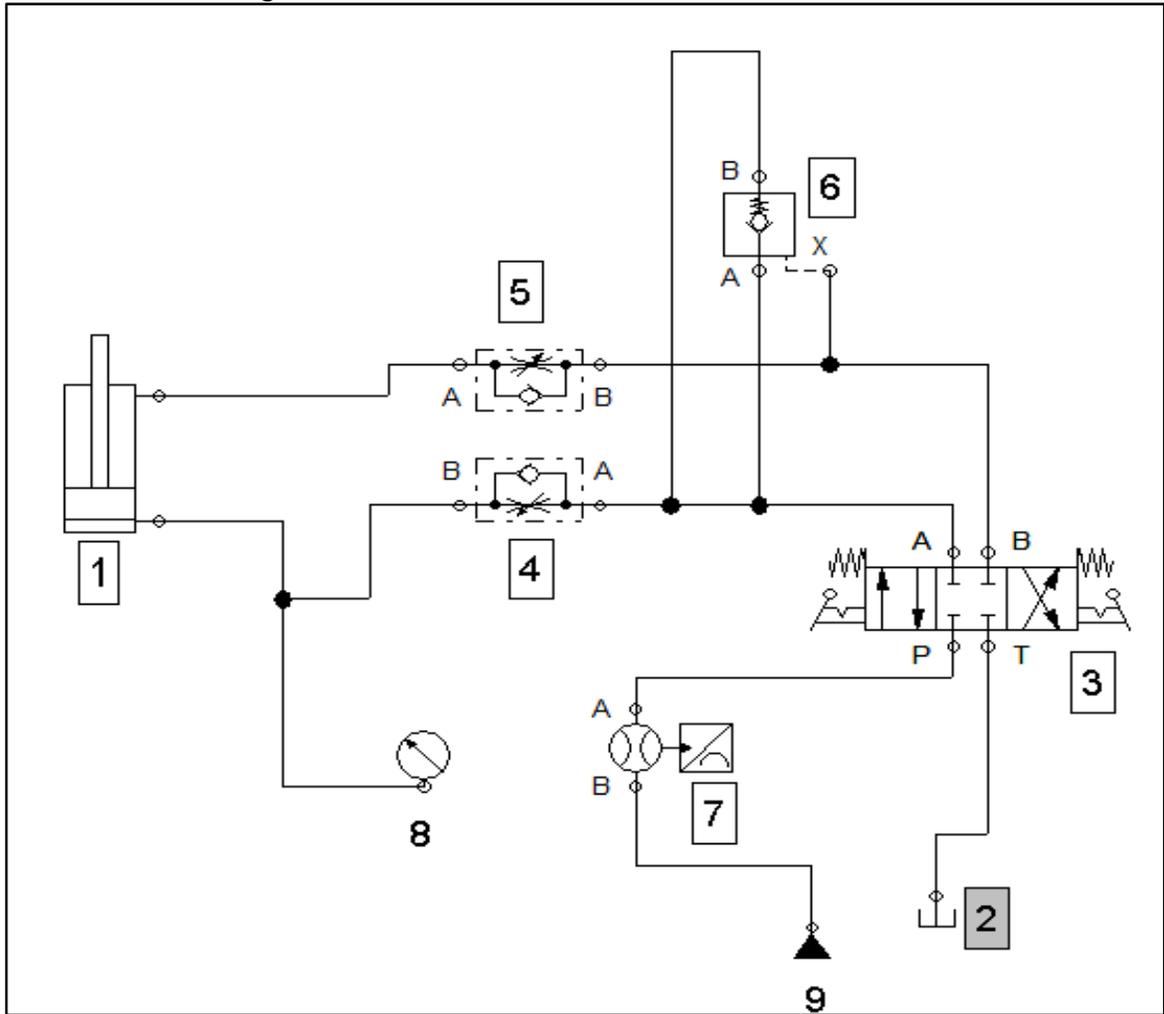


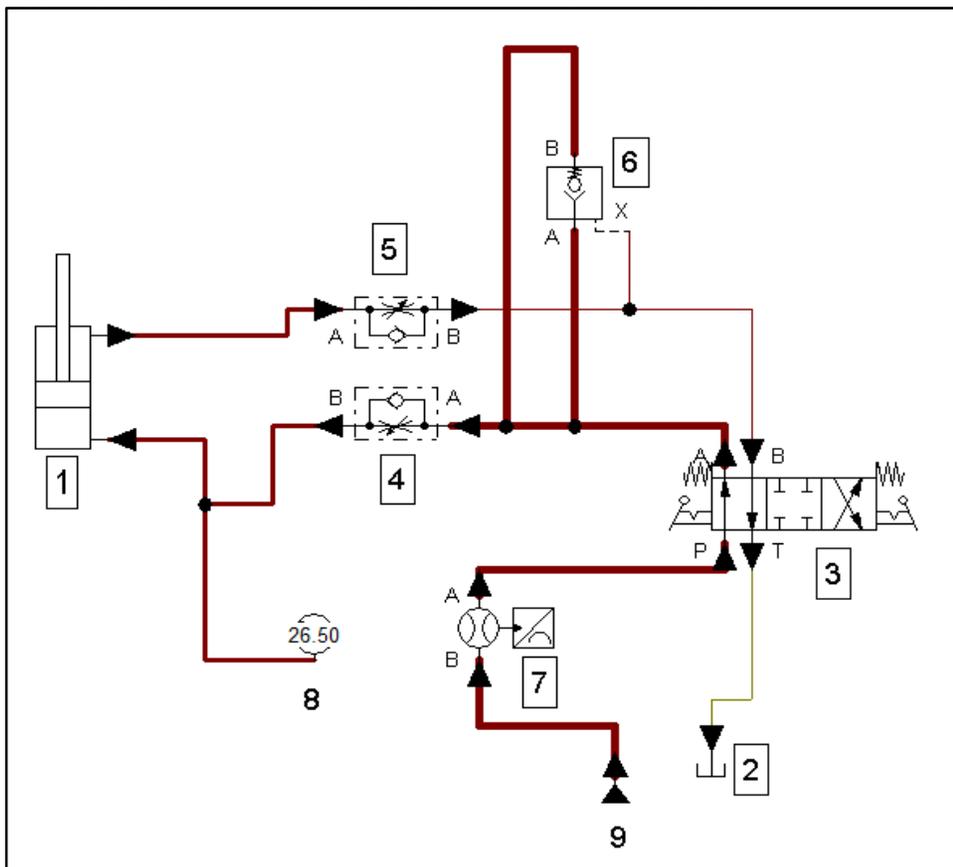
Tabla 14. Listado de componentes del sistema de cilindro 1

Marca	Denominación de componentes
1	Cilindro de doble efecto
2	Tanque
3	Válvula 4/n vías
4	Válvula anti-retorno estranguladora
5	Válvula anti-retorno estranguladora
6	Válvula de retención pilotada, precargada por muelle

7	Caudalímetro analógico
8	Aparato de medición de presión
9	Grupo Motriz simplificado

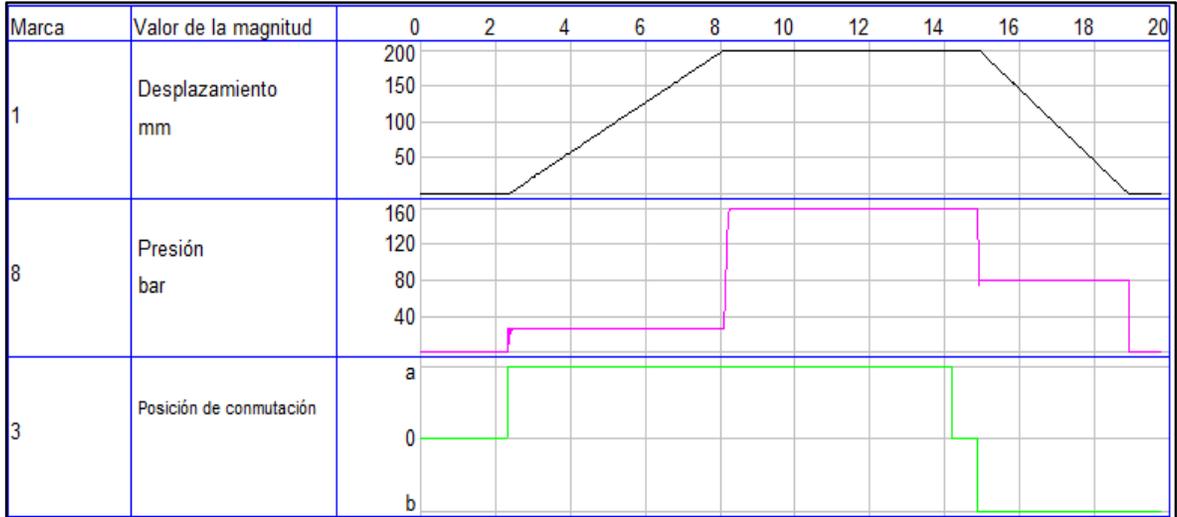
El sistema hidráulico del cilindro de levantamiento del ducto consta de los elementos nombrados en la tabla 14, donde se puede destacar la utilización de un caudalímetro para tener un control del flujo que entrega el grupo motriz, además se usa también una válvula de retención pilotada, este es un accesorio de seguridad ya que el punto donde está conectado el cilindro con el ducto requiere un esfuerzo alto para hacer la ejecución del movimiento, esta válvula permitirá que no haya una descarga repentina ante una anomalía en el sistema hidráulico.

Ilustración 99. Accionamiento del cilindro hidráulico



En la ilustración 99 se puede ver la descripción del avance del cilindro y se resalta en la figura el flujo en el avance, la presión que recibe el cilindro hidráulico puede ser verificada por medio de un manómetro ubicado justo antes de la entrada de aceite.

Ilustración 100. Diagrama de estado del sistema hidráulico 1



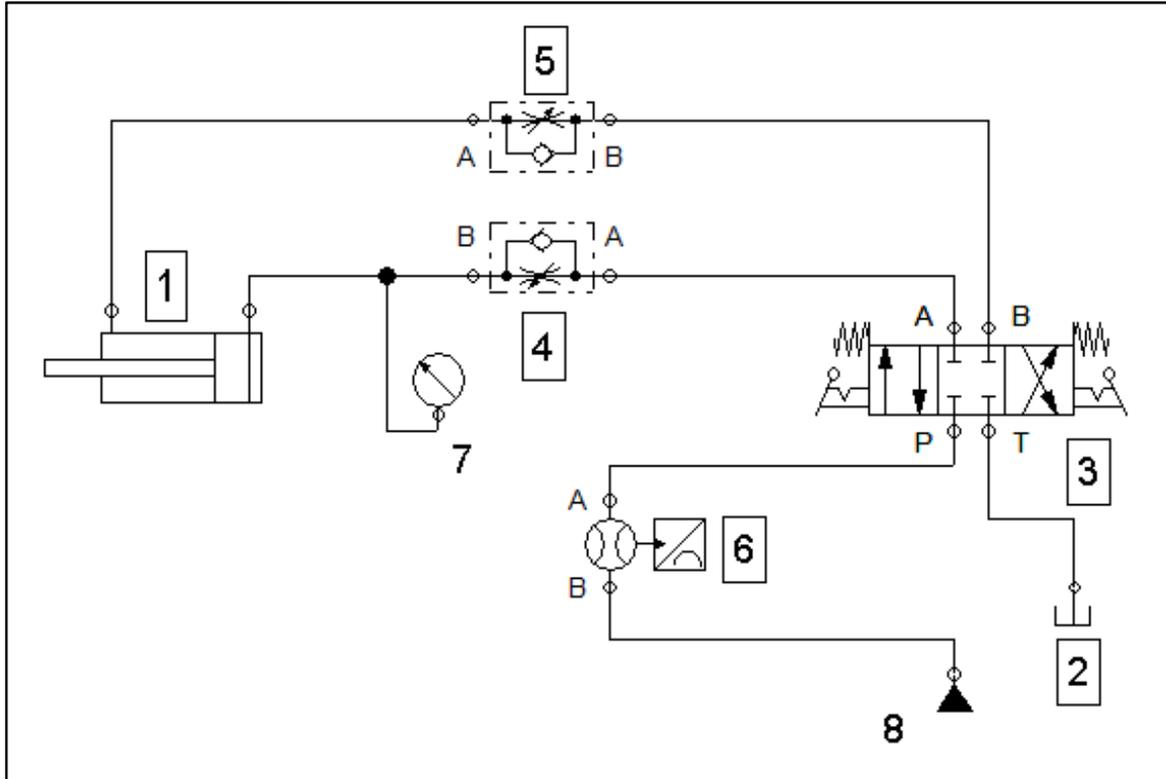
En la figura anterior se muestra un diagrama que describe el comportamiento de la presión y el cambio de posición de la válvula de 4 vías frente al desplazamiento del cilindro, la presión de trabajo en el cilindro irá incrementándose conforme avanza el desplazamiento del cilindro para finalmente establecerse la presión en 160 Bar que es la presión nominal.

Para el circuito hidráulico del cilindro telescópico se disponen unos componentes muy similares ya que el principio básico de funcionamiento y de requerimientos son muy similares, cuya labor se diferencia del cilindro de levantamiento en que el telescópico no tiene que sostener una carga en el vástago, solo tendrá que empujar una carga

Tabla 15. Lista componentes del sistema cilindro 2

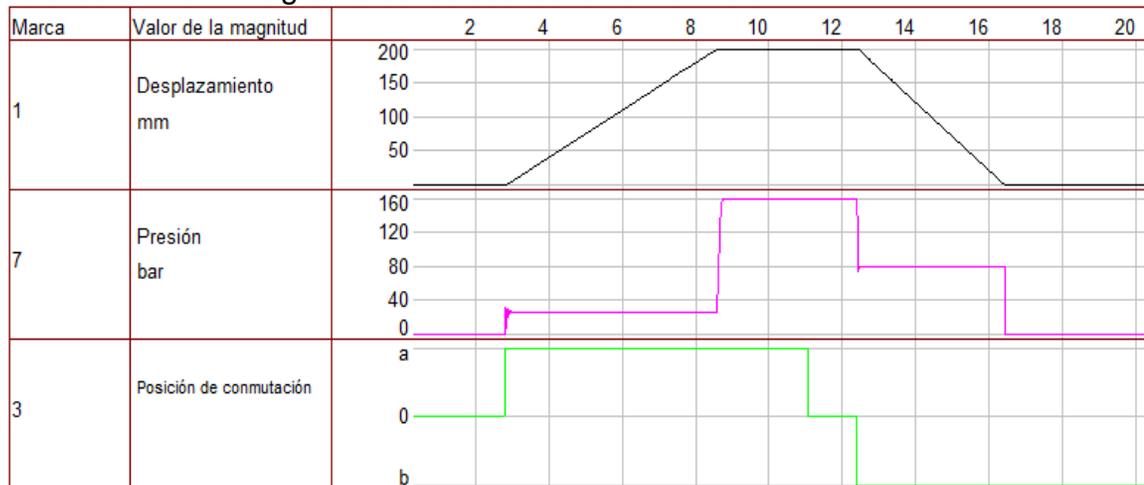
Marca	Denominación de componentes
1	Cilindro de doble efecto
2	Tanque
3	Válvula 4/n vías
4	Válvula anti-retorno estranguladora
5	Válvula anti-retorno estranguladora
6	Caudalímetro analógico
7	Aparato de medición de presión
8	Grupo Motriz simplificado

Ilustración 101. Diagrama circuito hidráulico cilindro telescópico



La configuración del circuito en el cilindro 2 muestra que el uso de la bomba y el tanque son el mismo para los dos circuitos donde el sistema se basa en la recirculación del fluido. En la figura 102 se muestra el cambio inmediato de presión del sistema al accionar la válvula de 4 vías, y se puede ver claramente el aumento de presión conforme al desplazamiento del cilindro.

Ilustración 102. Diagrama de estado sistema - cilindro 2



4.7.4 Diseño de componentes del sistema hidráulico. Para completar el diseño hidráulico se debe conocer algunos de los componentes en cuanto a dimensiones y características fundamentales del sistema, en primera instancia se debe analizar el tanque de almacenamiento donde se debe determinar el volumen necesario para suplir los dos sistemas de los cilindros hidráulicos.

Ecuación 43. Volumen del tanque de aceite

$$Vol = 5 * Q * 1.25$$

Fuente: prontuario de hidráulica industrial

$$Vol = 5 * \left(37 \frac{L}{min}\right) * 1.25 = 231.25 L$$

La ecuación 43 lo que muestra es la necesidad de tener una capacidad de 5 veces el caudal más un 25 por ciento de demás. Ahora con este dato se determina el área de las caras del tanque para determinar el calor irradiado:

$$lado\ de\ las\ caras = \sqrt[3]{0.231\ m^3} = 0.6138\ m$$

$$area = (0.6138\ m)^2 = 0.3767\ m^2$$

Ecuación 44. Calor irradiado

$$Q_i = K * S * \Delta T$$

Fuente: prontuario de hidráulica industrial

Para determinar el calor irradiado  $Q$  se usa la constante  $K$  como  $80\ Kcal/h^{\circ}C \cdot m^2$  para un sistema radiador-aire forzado, y se debe conocer la suma de áreas superficiales del tanque. Y el cambio de temperatura  $\Delta T$ .

$$Q_i = 80 \frac{Kcal}{h \cdot ^{\circ}C \cdot m^2} * 1.8835\ m^2 * (30^{\circ}C - 18^{\circ}C) \rightarrow Q_i = 1808.2 \frac{Kcal}{h}$$

$$1808.2 \frac{Kcal}{h} * \left(\frac{4187\ J}{1\ Kcal}\right) * \left(\frac{1\ h}{3600\ s}\right) = 2103.1 \frac{J}{s}$$

Para determinar los diámetros utilizados en el sistema para las secciones de presión, retorno y succión se puede utilizar la fórmula general:

Ecuación 45. Diámetros de ductos

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v}}$$

Fuente: prontuario de hidraulica industrial

Para determinar los diámetros de los ductos se debe conocer el caudal ( $m^3/seg$ ) y la velocidad  $v$ , la cual determina que para la sección de retorno la velocidad es de 2 m/seg. Para la sección de presión se determina que para una presión de 160 Bar la velocidad debe ser de 6 m/seg y para la succión la velocidad de 1 m/seg.

$$\phi_p = \sqrt{\frac{4 * 6.166667 \times 10^{-4} \frac{m^3}{seg}}{\pi * 6 \frac{m}{seg}}}$$

$$\phi_p = 0.0114m$$

$$\phi_r = \sqrt{\frac{4 * 6.166667 \times 10^{-4} \frac{m^3}{seg}}{\pi * 2 \frac{m}{seg}}}$$

$$\phi_r = 0.01981 m$$

$$\phi_s = \sqrt{\frac{4 * 6.166667 \times 10^{-4} \frac{m^3}{seg}}{\pi * 1 \frac{m}{seg}}}$$

$$\phi_s = 0.028 m$$

Para este sistema hidráulico se utilizarán mangueras como ductos y medios de conexión, el uso de manguera genera unas pérdidas que están dadas por la siguiente ecuación.

Ecuación 46. Pérdidas en manguera

$$\gamma = 90/Re$$

Fuente: prontuario de hidráulica industrial

Para determinar el número de Reynolds se halla por medio de:

Ecuación 47. Número de Reynolds

$$Re = \frac{v * D}{\nu}$$

Fuente: Mecánica de fluidos, Robert L. Mott. Pág. 230

El Reynolds hallado para cada sección va ligado a la velocidad del fluido  $v$  el diámetro  $D$  y la viscosidad cinemática  $\nu$  del aceite que se tomará como  $46 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$Re_p = \frac{6 \frac{m}{seg} * 0.0114m}{46 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 1486.95$$

$$Re_r = \frac{2 \frac{m}{seg} * 0.01981 m}{46 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 861.3$$

$$Re_s = \frac{1 \frac{m}{seg} * 0.028 m}{46 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 608.69$$

Las pérdidas en cada una de las secciones:

$$\gamma_p = \frac{90}{1486.95} = 0.06052$$

$$\gamma_r = \frac{90}{861.3} = 0.1044$$

$$\gamma_s = \frac{90}{608.69} = 0.1478$$

Una vez determinadas las pérdidas en cada sección se procede a determinar el cambio de presión por las pérdidas.

Ecuación 48. Pérdida de presión

$$\Delta P = \gamma * \frac{L}{\phi} * \rho * \frac{v^2}{2}$$

Fuente: prontuario de hidráulica industrial

$$\Delta P_p = 0.06052 * \frac{40m}{0.0114m} * 870 \frac{Kg}{m^3} * \frac{\left(6 \frac{m}{s}\right)^2}{2} = 3325414.737 Pa$$

$$\Delta P_r = 0.1044 * \frac{40m}{0.01981 m} * 870 \frac{Kg}{m^3} * \frac{\left(2 \frac{m}{s}\right)^2}{2} = 366796.567 Pa$$

$$\Delta P_r = 0.1478 * \frac{40m}{0.028 m} * 870 \frac{Kg}{m^3} * \frac{\left(1 \frac{m}{s}\right)^2}{2} = 91847.142 Pa$$

$$\sum \Delta P = 3784058.44 Pa$$

Una vez halladas las pérdidas totales se puede determinar el calor generado por medio del caudal:

Ecuación 49. Calor generado

$$Q_{gen} = Q * \sum \Delta P$$

Fuente: prontuario de hidráulica industrial

$$Q_{gen} = 6.166667 \times 10^{-4} \frac{m^3}{seg} * 3784058.44 Pa = 2333.5 J/s$$

Se puede ver que el calor generado es un poco mayor al calor irradiado  $Q_i \cong Q_{gen}$ , lo cual indica que cumple con los requerimientos normativos ya que debe haber siempre una pequeña variación entre el calor irradiado y el generado para que el fluido pueda mantenerse en una temperatura estable para el aceite y su funcionamiento en el sistema.

4.7.5 Estructura cilindro telescópico. La estructura que contendrá al cilindro telescópico estará expuesta a la carga prominente del elemento hidráulico que ejercerá una fuerza X para poder empujar todo el sistema de la Tea a través de la plataforma, además de asegurar la fijación de la camisa a la plataforma.

#### 4.8 POTENCIA MOTRIZ

El último aspecto que se debe analizar para finalizar el diseño del dispositivo es la fuente de potencia motriz, este último componente permitirá el funcionamiento de todo el sistema, proveerá el accionamiento de la bomba hidráulica, siendo este

elemento la base de accionamiento de los cilindros hidráulicos, la selección del apropiado sistema de potencia se torna un ítem de alto valor.

Teniendo en consideración los diferentes mecanismos y dispositivos utilizados para el accionamiento de sistemas mecánicos alternos al transporte, un factor importante para esta decisión es la potencia necesaria para realizar su funcionamiento.

Entre las opciones que llegan a suplir las necesidades del sistema de elevación, está el acoplamiento de una planta eléctrica de motor diésel, aunque esta opción complicaría aún más el diseño en disposición de elementos para el tráiler, mantenimiento y es poco rentable su uso.

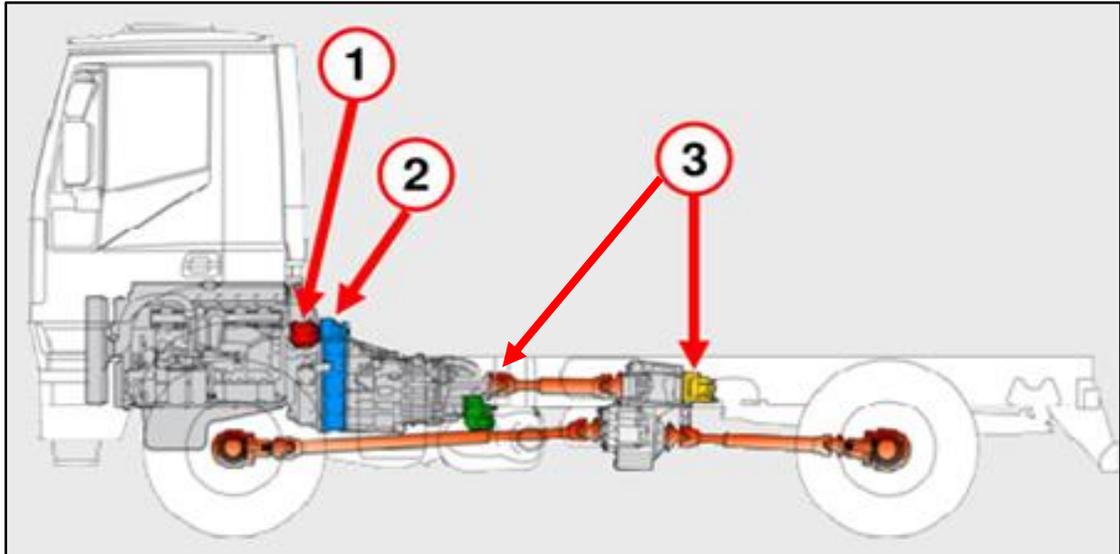
En varios dispositivos de maquinaria móvil y de carga utilizan otro dispositivo llamado “toma de fuerza”, este mecanismo es muy usado en tractores de agricultura, Camiones bomba de hormigón, camiones compresor carga a granel, grúas forestal, camiones de basura, entre otros.

La toma de fuerza consiste en un eje en rotación que transmite energía para el accionamiento de maquinaria acoplada a camiones o tractores, en el caso de este proyecto el acoplamiento de la toma de fuerza se realizaría en el camión de transporte para accionar el sistema de levantamiento, lo cual denota una ventaja en el aprovechamiento de la energía que ofrece el camión de transporte y en rentabilidad, otro factor que contribuye a la selección de este dispositivo es que la presencia del camión solo es necesaria para en el montaje y desmontaje de la Tea, más no se requiere en la operación.

Los montajes de la toma de fuerza pueden variar, los puntos de montaje principalmente son tres en los cuales se puede captar el movimiento;

1. Toma de fuerza del motor: recibe movimiento directamente del motor a través de un embrague propio, mediante un embrague independiente o “doble”.
2. Toma de fuerza sincronizada acoplada al Volante del motor: Utilizada para el accionamiento de los ejes motores de los remolques de ruedas accionadas
3. Toma de fuerza del cambio de velocidades: procede del eje intermediario de la caja de cambios y por tanto, esta opción es la mejor para el proyecto ya que puede accionarse cuando la caja de cambios se encuentra en neutro cuando ya se ha ubicado el lugar de montaje de la tea y el camión no se movería más.

Ilustración 103. Tipos de montajes más comunes de toma de fuerza



Fuente: IVECO, <<http://www.iveco.com/spain/producto/pages/nuevo-trakker-pto-tomas-de-fuerza.aspx>>

Para seleccionar la toma de fuerza adecuada se debe tener en cuenta los requerimientos de la bomba hidráulica para el funcionamiento del sistema de levantamiento, la cual para generar un caudal de 37 litros por minuto requiere una potencia de 11,6 Kw (15,6 Hp).

Teniendo en cuenta las necesidades del sistema se selecciona una toma de fuerza marca Parker 290 series Mechanical six bolt Power Take-Offs, el cual puede proporcionar una potencia de 17 Hp con 500 rpm (Ver Anexo N).

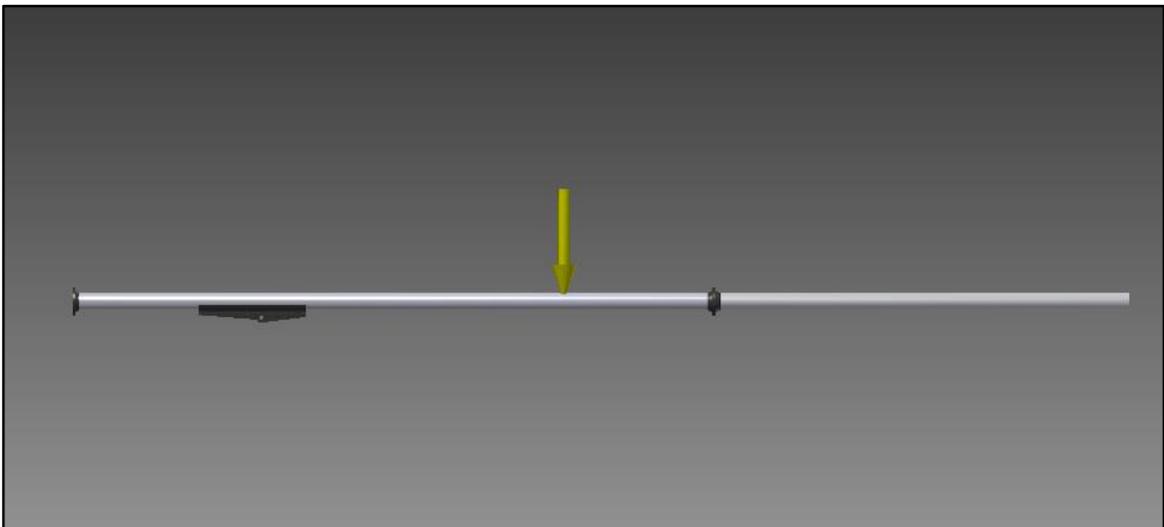
## 5. ANÁLISIS Y SIMULACIÓN

En este capítulo se procede a realizar el análisis del sistema de levantamiento de la Tea móvil por medio de la simulación de un software que use el método de elementos finitos (FEM). Para el presente proyecto se utiliza el programa INVENTOR, el cual cuenta con un módulo de análisis por método de elementos finitos.

A continuación se realizarán los análisis de los elementos más críticos del sistema de elevación de la tea, los elementos que se analizarán son los que están expuestos a las cargas más significativas que pueden llegar a afectar el funcionamiento y fallar el sistema. Mediante esta simulación se corroborarán los cálculos realizados en el capítulo anterior y se examinarán los esfuerzos generados en cada elemento.

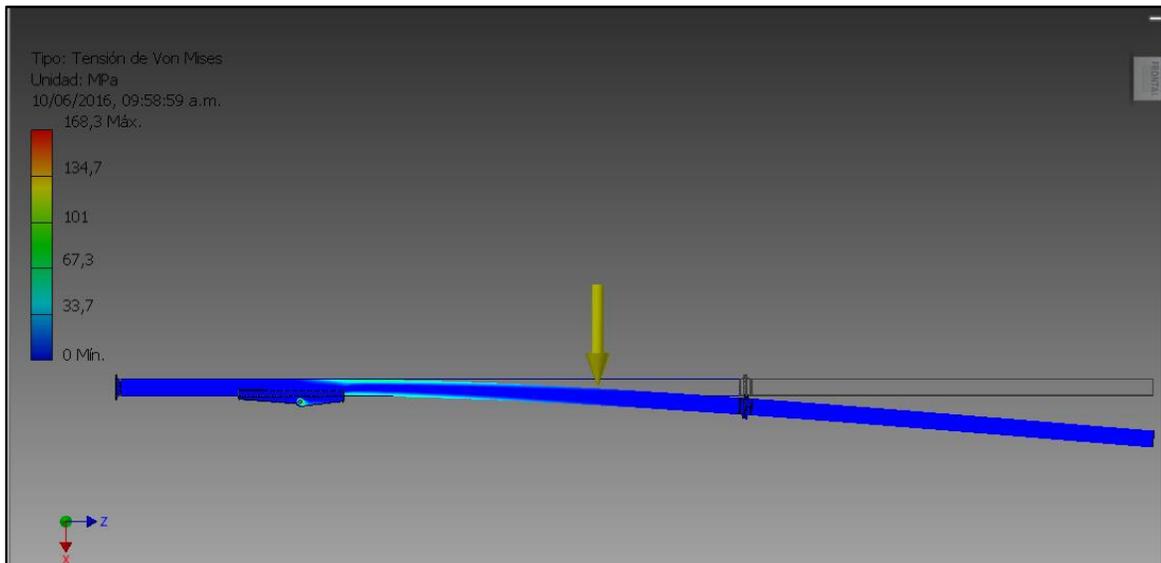
El primer elemento que se debe analizar es el ducto de la Tea, este elemento está sometido a la carga de su propia masa y el esfuerzo está concentrado en los apoyos, para iniciar la simulación del elemento se debe asignar el material el cual es un acero ASTM A53 Grado B normalizado por la API 5L, este acero tiene un límite de fluencia 240 Mpa. Una vez asignado el material se procede a determinar las restricciones en el tubo de la Tea, las cuales están en un extremo de la Tea y donde se ubica el cilindro hidráulico que está a 3 metros del extremo restringido. Finalmente en el software se procede a establecer la carga en el tubo, y esta se establece por gravedad, la cual, la magnitud está dada por el material y sus dimensiones. En la figura 104 se muestra la disposición de la carga en el tubo de la tea.

Ilustración 104. Carga por gravedad dada por el material y dimensiones del elemento



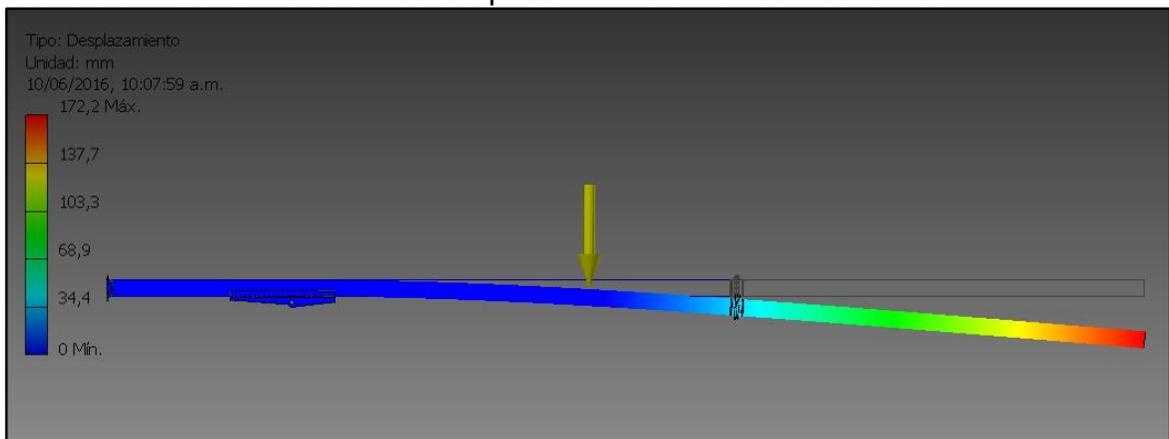
A continuación se procede a realizar la simulación del elemento:

Ilustración 105. Simulación Von Mises del tubo de la Tea



En la figura 105 se muestra que el esfuerzo máximo en el elemento, el cual se presenta justo después del apoyo donde va ubicado el cilindro hidráulico, además muestra una magnitud de esfuerzo de 168,3 Mpa como máximo lo cual se había determinado un valor similar en el capítulo anterior.

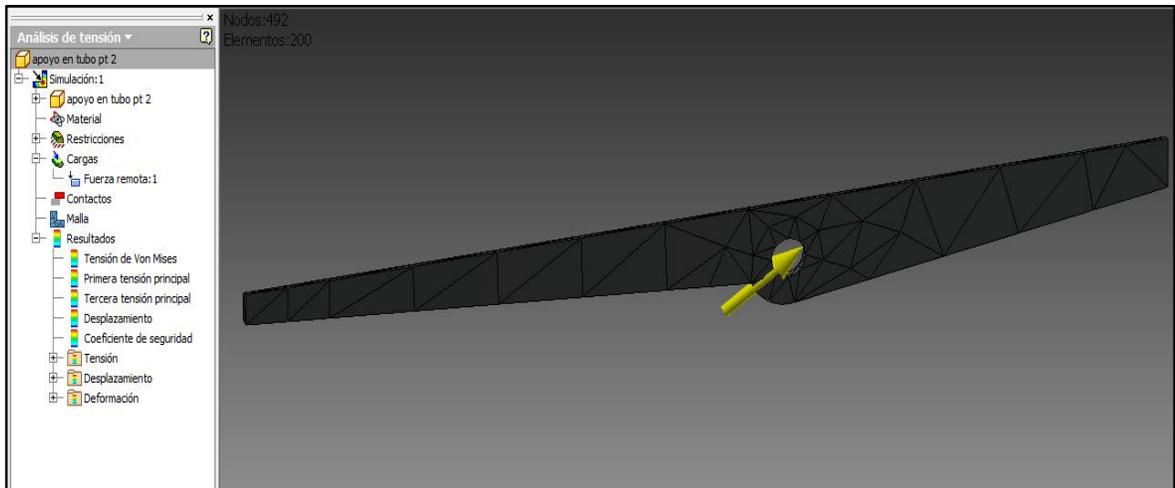
Ilustración 106. Simulación de desplazamiento en el tubo de la Tea



En la figura 106 se muestra el desplazamiento causado por la carga actuante en la tea la cual es una magnitud significativa en el extremo libre (17,2 cm), aunque es un valor relativamente alto se debe tener en cuenta que el esfuerzo no supera el límite de fluencia y que normalmente la tea tendrá un apoyo en el extremo libre para descargar su peso, y esta situación mostrada se presentará cuando el cilindro hidráulico comienza a levantar la Tea.

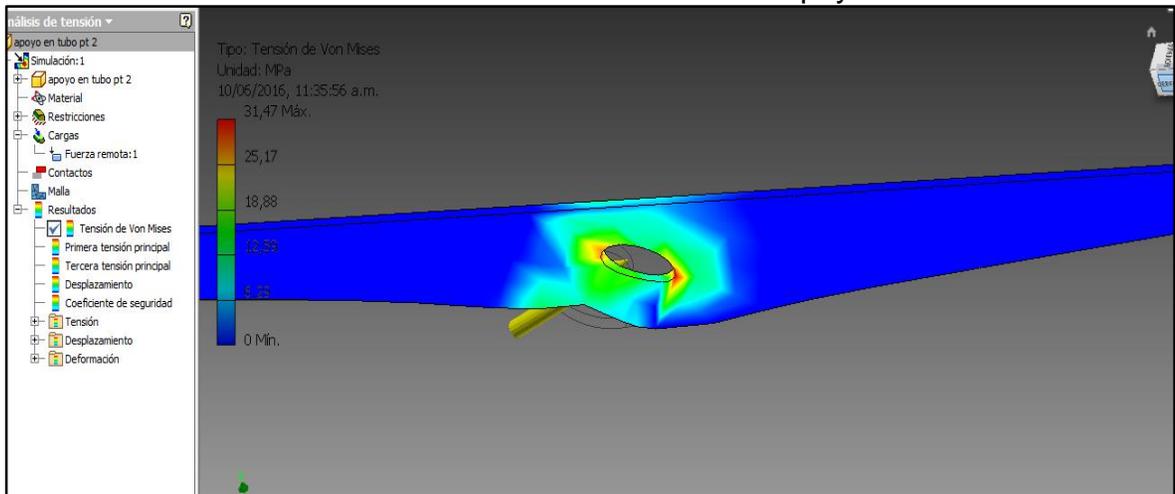
Ahora se procede a analizar el apoyo de la tea, este apoyo está sometido a la fuerza que el cilindro hidráulico efectúa para empezar a levantar la Tea la cual tiene una magnitud máxima de 78739 N, en cada lámina recibirá una fuerza de 39369,5 N.

Ilustración 107. Condiciones iniciales en la lámina del apoyo de la tea para la simulación.



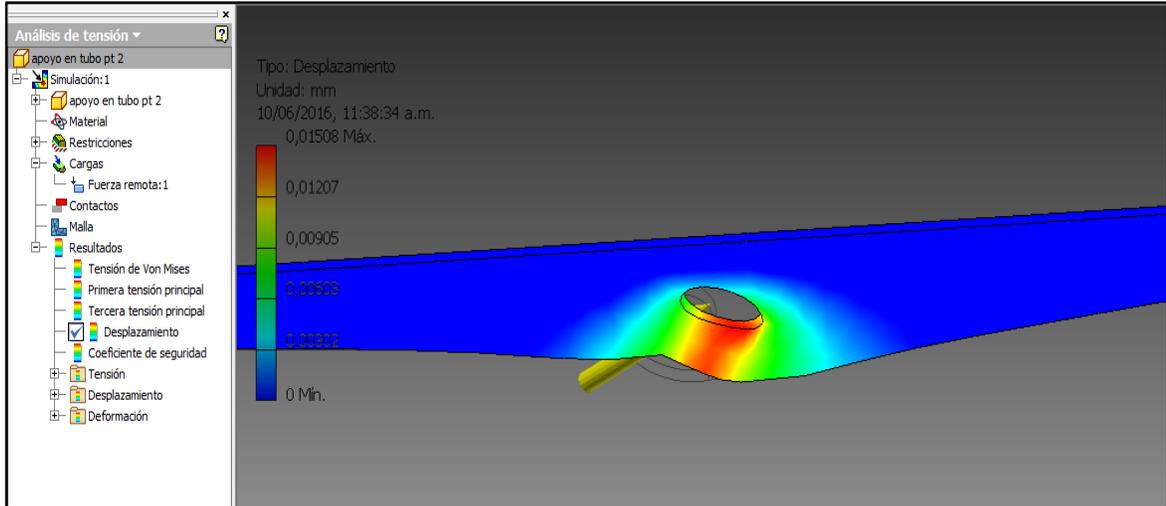
Una vez teniendo las condiciones iniciales se procede a la simulación del apoyo en el cual las restricciones esta dadas por el contacto con el tubo de la Tea.

Ilustración 108. Simulación Von Mises de la lámina del apoyo de la Tea



En la Figura 108 se muestra un esfuerzo máximo de 31,47 Mpa la cual para este elemento se tiene un acero ASTM A572 grado 50 con un límite de fluencia de 345 Mpa. Por lo tanto el esfuerzo encontrado en este elemento no es muy significativo teniendo en cuenta las propiedades del material empleado.

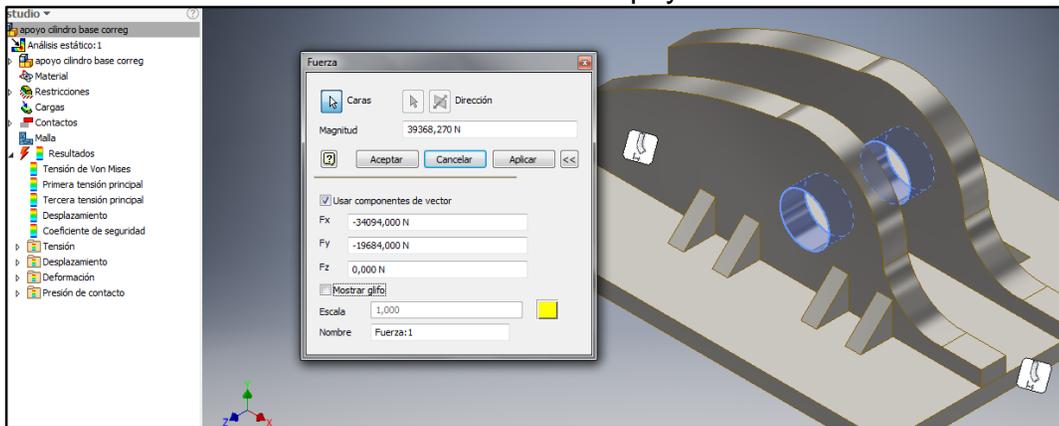
Ilustración 109. Simulación de desplazamiento en el apoyo de la Tea



En la figura 109 se puede ver el desplazamiento generado por la carga en la lámina del apoyo la cual su máximo valor es 0.015 mm y este no es un valor importante.

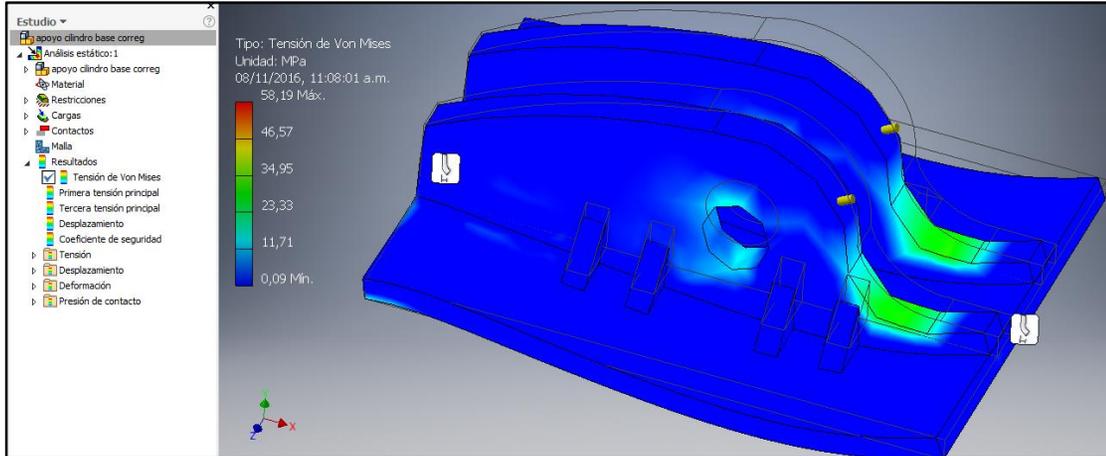
El siguiente elemento a analizar es el apoyo del cilindro hidráulico el cual está ubicado en la viga que está en la estructura del tráiler.

Ilustración 110. Condiciones iniciales en el apoyo del cilindro hidráulico



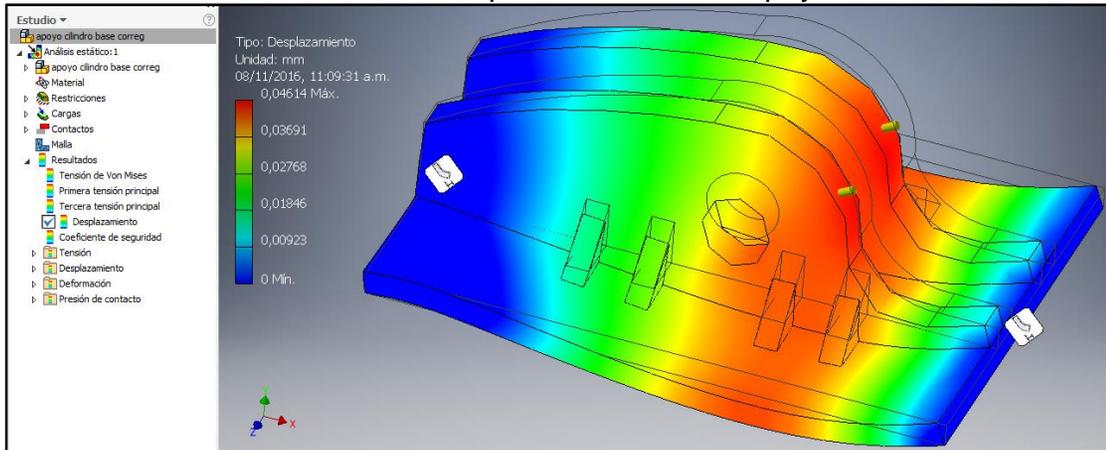
Se procede a realizar la simulación del elemento tomando en cuenta que la carga que recibe es la del cilindro hidráulico, esta carga es 78739 N. como se ve en la imagen se ingresan las componentes de la carga en el eje X y Y para cada una de las láminas.

Ilustración 111. Simulación Von Mises en el apoyo del cilindro hidráulico



En la figura 111 se puede ver el esfuerzo que se genera en la pieza la cual tiene una magnitud máxima de 58,19 Mpa, para el acero utilizado (ASTM A572 grado 50) que tiene un límite de fluencia de 345 Mpa se puede determinar que el elemento empleado no va a fallar. Posterior a esto se analiza la simulación de desplazamiento, en la figura 111 se puede ver el resultado de la simulación la cual muestra un desplazamiento máximo de 0.046 mm, el cual es un desplazamiento bajo, lo cual genera confianza en su funcionamiento.

Ilustración 112. Simulación de desplazamiento en el apoyo del cilindro hidráulico



Inmediato al análisis del apoyo del cilindro hidráulico se procede al análisis de la viga que contiene el apoyo anterior el cual recibe la carga del cilindro hidráulico. Con una fuerza máxima de accionamiento de 34094 N en el eje x y 19684 N para un material de acero estructural de calidad S275 JR con un límite de fluencia de 250 MPa se procede a establecer las condiciones iniciales de simulación.

Ilustración 113. Condiciones iniciales Viga apoyo cilindro hidráulico

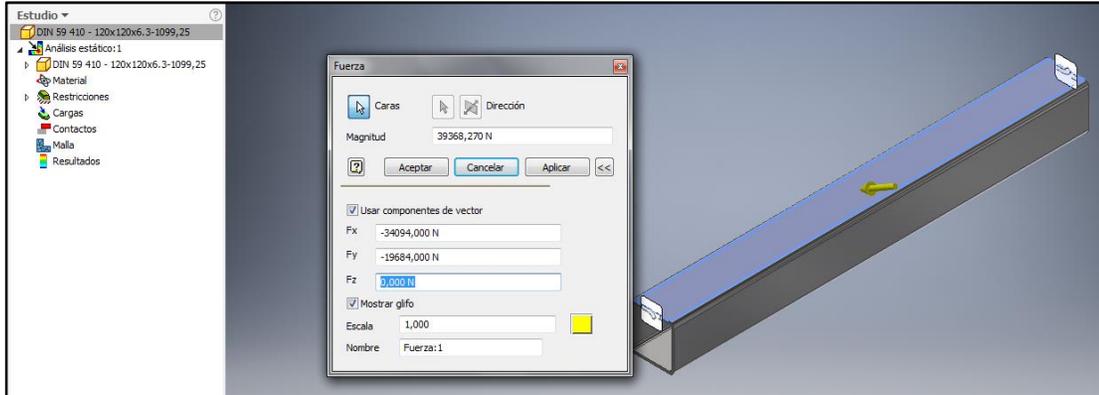
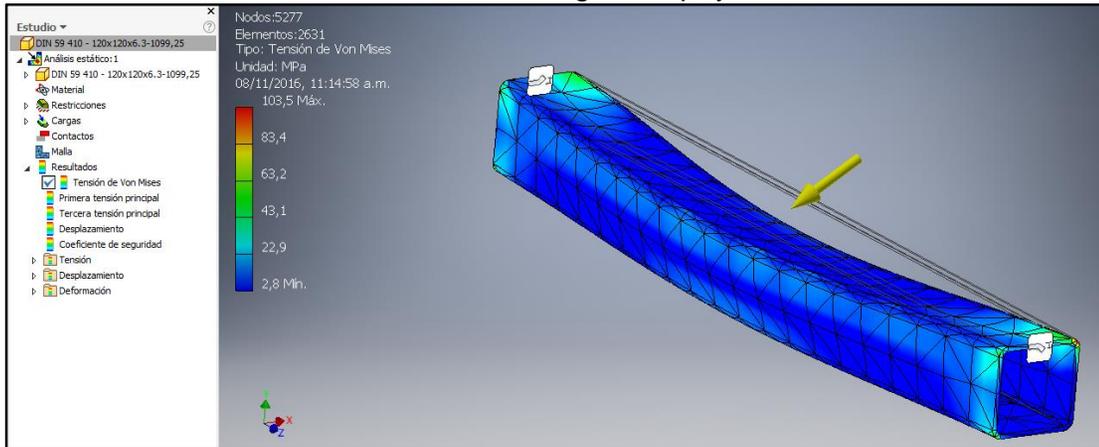
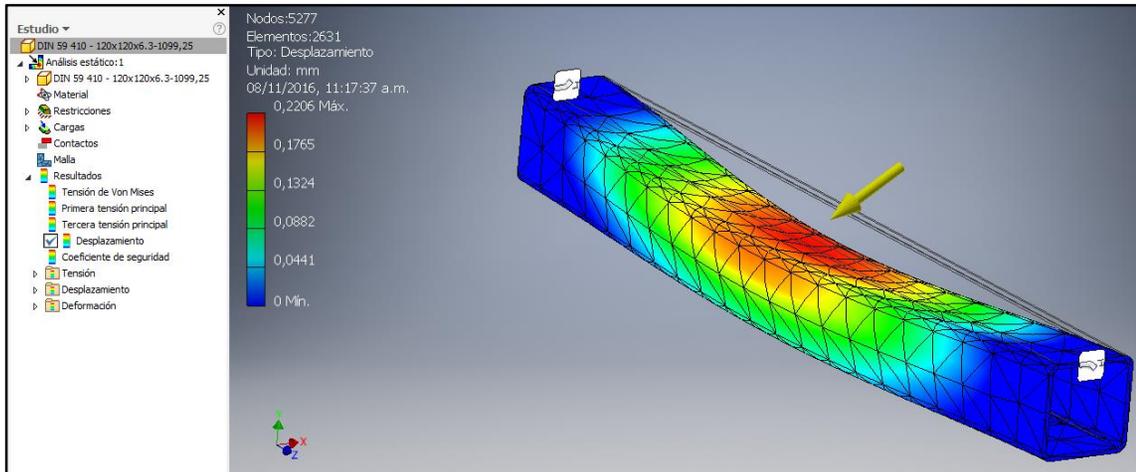


Ilustración 114. Simulación Von Mises viga de apoyo de cilindro hidráulico



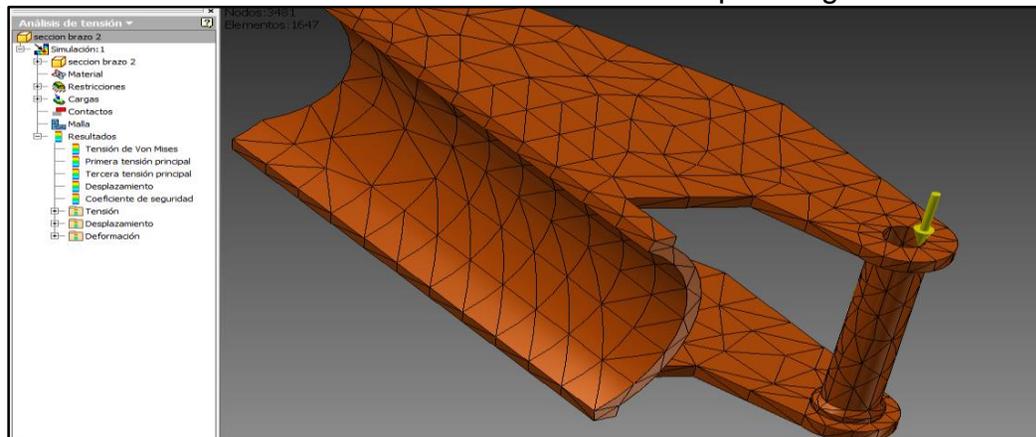
En la figura anterior se puede ver que el esfuerzo máximo en la viga tiene un valor de 103,5 MPa el cual es un esfuerzo alto pero no supera el límite de fluencia del material (250 MPa), de este modo se puede asegurar que el elemento no va a fallar durante su funcionamiento el cual es solo cuando se realiza el montaje de la Tea, y en la figura 115 se muestra la simulación del desplazamiento máximo que tiene un valor de 0.2206 mm, al ser un valor bajo da la confiabilidad de un buen funcionamiento del elemento.

Ilustración 115. Simulación de desplazamiento Viga del apoyo del cilindro hidráulico



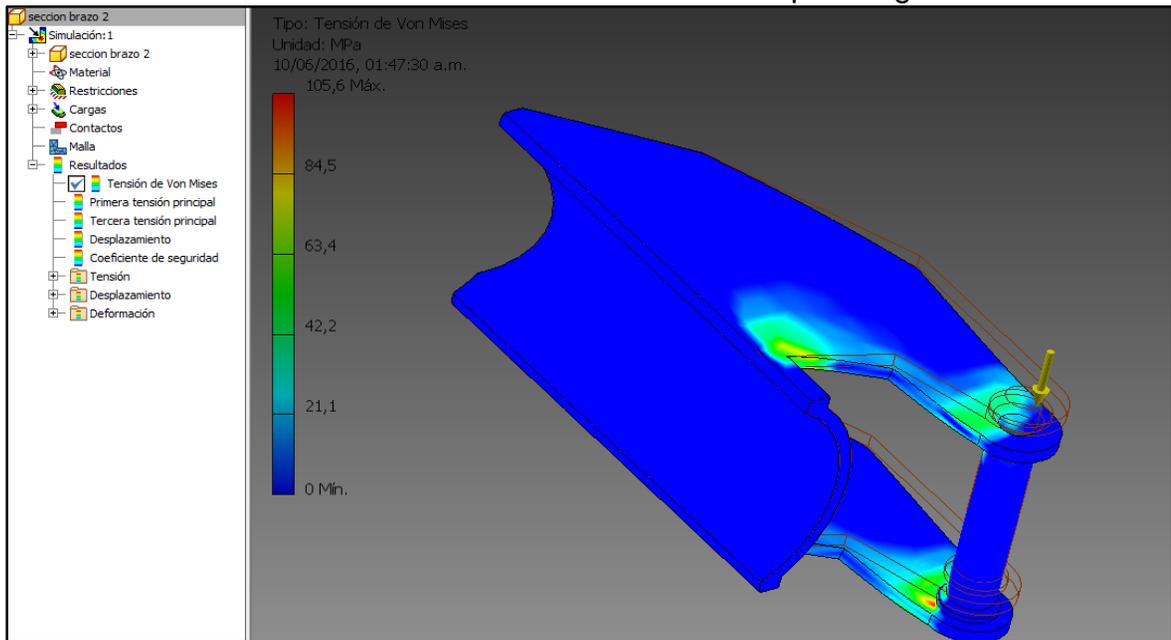
Ahora se procede a analizar el elemento que une la sección de la Tea de 10 metros con la sección de 8 metros, la cual efectúa una carga de 5450 N, este elemento también está diseñado con un acero ASTM A572 grado 50.

Ilustración 116. Condiciones iniciales de unión tipo bisagra de la Tea



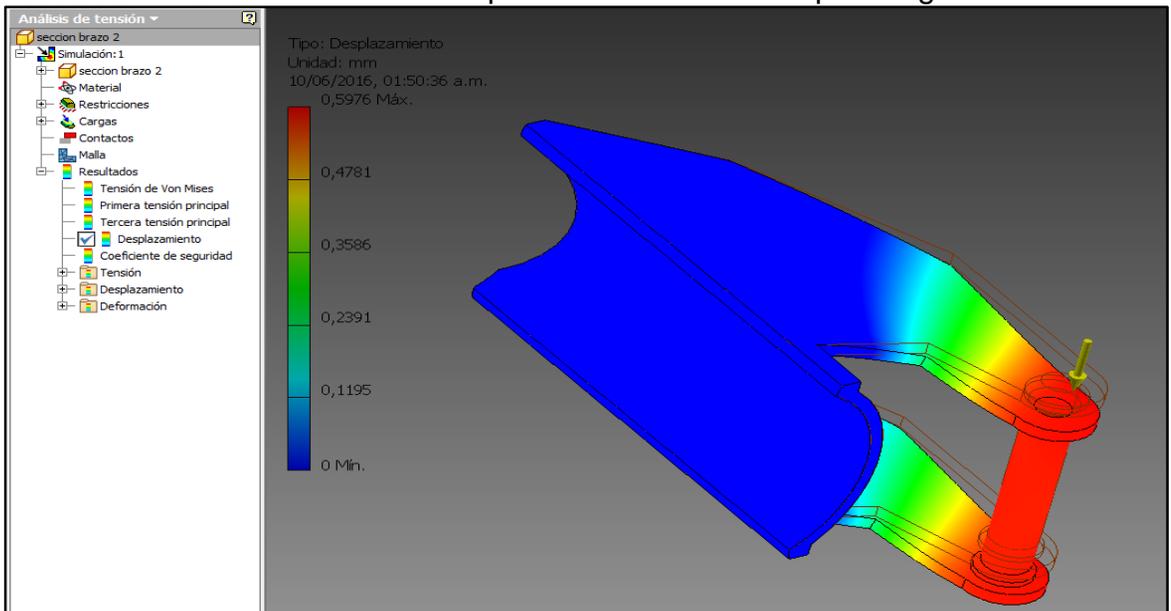
En la figura 117 se puede ver la concentración de esfuerzos los cuales dan un valor máximo de 105,6 MPa, lo cual indica que no supera el esfuerzo de fluencia.

Ilustración 117. Simulación Von Mises de unión tipo bisagra de la Tea



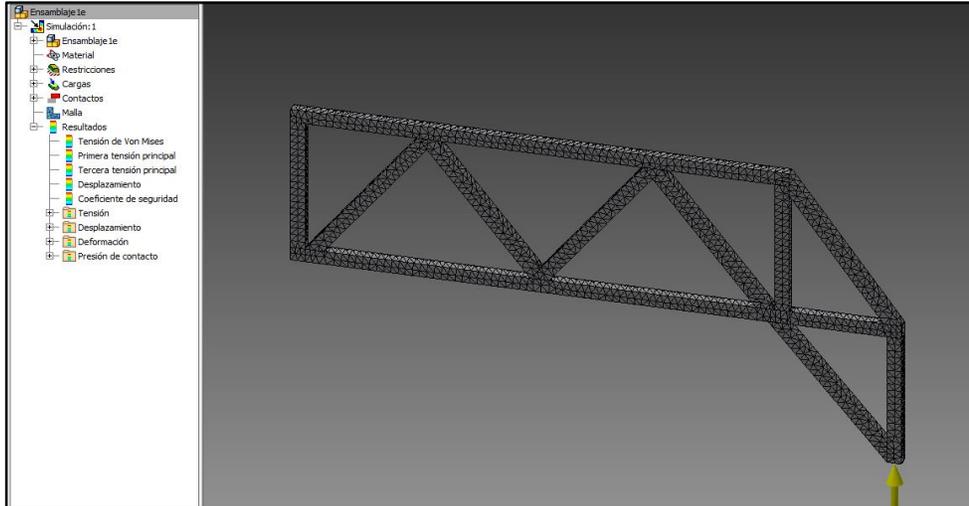
En la simulación de desplazamientos se puede apreciar un máximo de 0.59 mm lo cual no es un valor significativo en el funcionamiento del sistema de elevación.

Ilustración 118. Simulación de desplazamiento de unión tipo bisagra de la Tea



A continuación se realiza el análisis de la estructura de apoyo y anclaje de riendas.

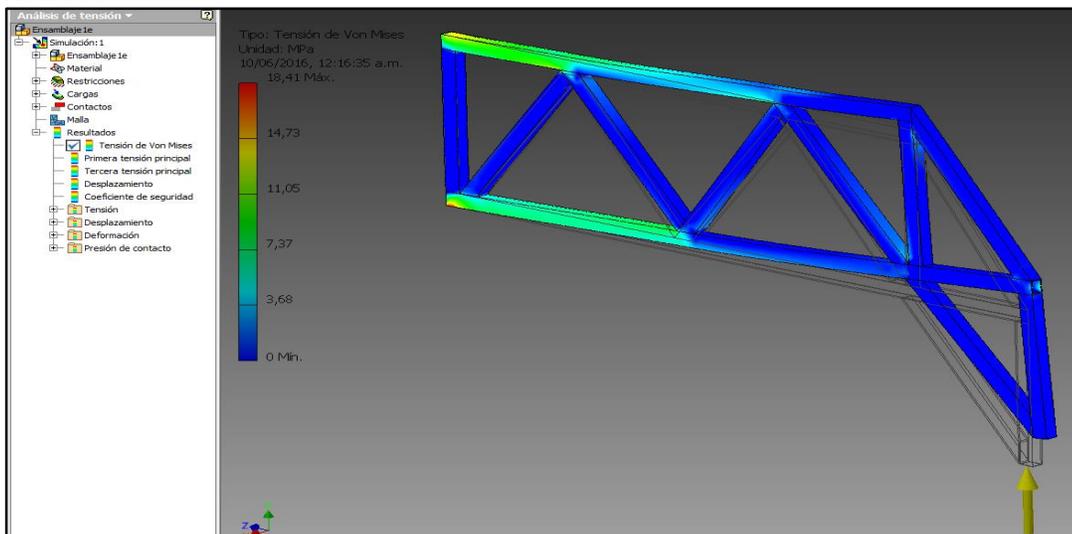
Ilustración 119. Condiciones Iniciales estructura de apoyo y anclaje de riendas



Este elemento recibe la carga del balanceo de la estructura que puede ser ocasionado por el viento o por la misma estabilidad del terreno, para esta estructura se utiliza un perfil rectangular RHS 80x60x5 en un material de acero de calidad S275 JR con un límite de fluencia de 275 MPa. Se procede a establecer las condiciones iniciales de simulación aplicando una carga de 3920 N.

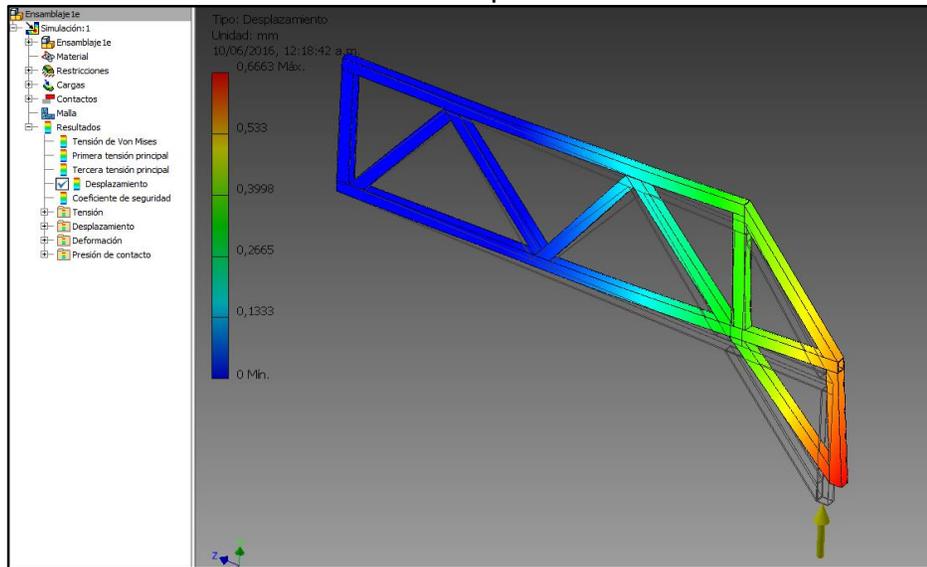
En la figura 120 se puede ver que los esfuerzos se concentran en las secciones más largas que componen la estructura con un esfuerzo máximo de 18,41 MPa. Lo cual es un esfuerzo muy mínimo para el material usado que proporciona un límite de fluencia de 275 MPa, por lo tanto se puede deducir que puede resistir un desbalanceo mayor con una concentración de carga más hacia la estructura.

Ilustración 120. Simulación Von Mises de la estructura de apoyo y anclaje de riendas



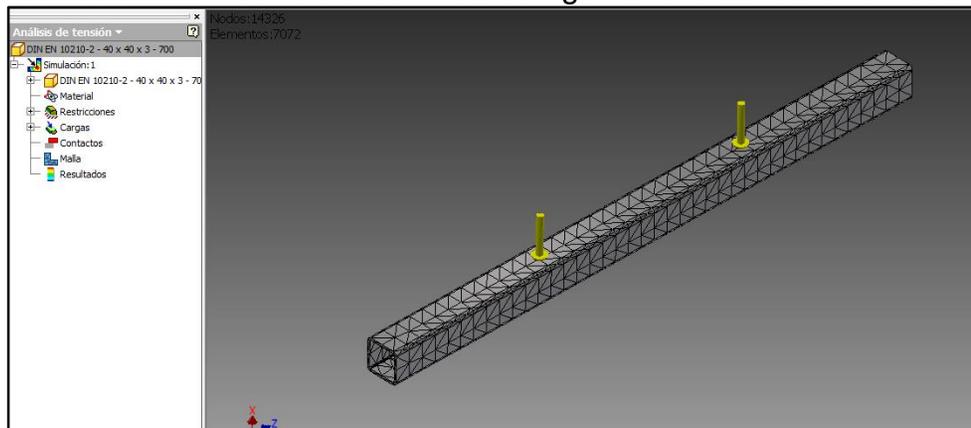
En la Figura 121 se puede ver los desplazamientos generados por la carga aplicada, a pesar de ser un elemento largo su desplazamiento es mínimo, con un valor máximo de desplazamiento de 0.66 mm, este puede proporcionar un nivel de confianza en cuanto funcionalidad y poca probabilidad de falla.

Ilustración 121. Simulación de desplazamiento en estructura de anclaje de riendas



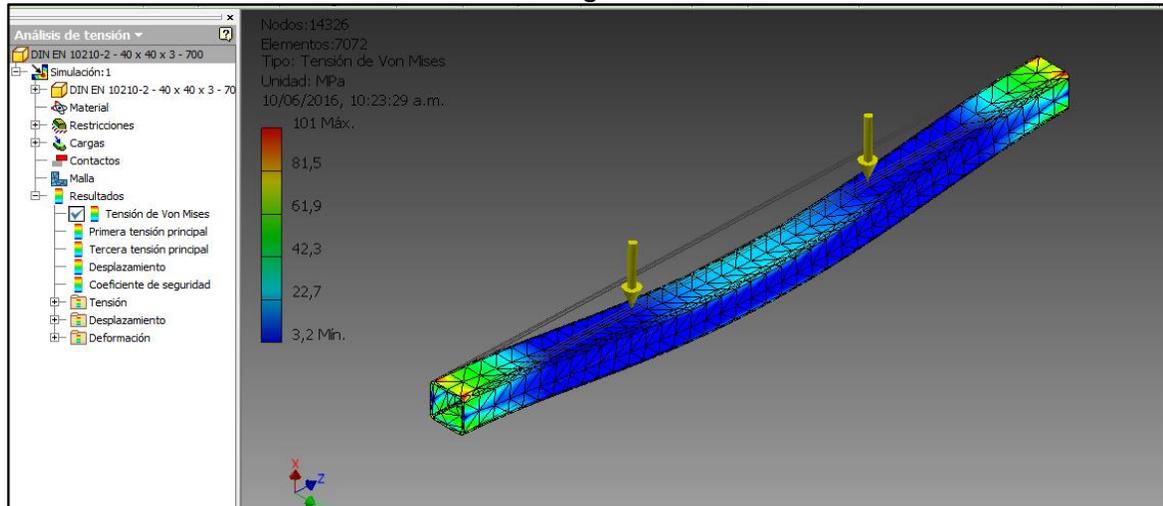
Siguiendo con el proceso de simulaciones el siguiente elemento a analizar es la viga transversal del sistema de desplazamiento, cuyo elemento crítico es el que está en la mitad de las cinco vigas transversales, la cual recibe la carga de la tea, para ello se utiliza un perfil estructural cuadrado SHS 40x40x3 en un material de acero de calidad S275 JR con un límite de fluencia de 275 MPa para ello se le aplican dos cargas puntuales de 3435 N.

Ilustración 122. Condiciones Iniciales viga transversal sistema rodante



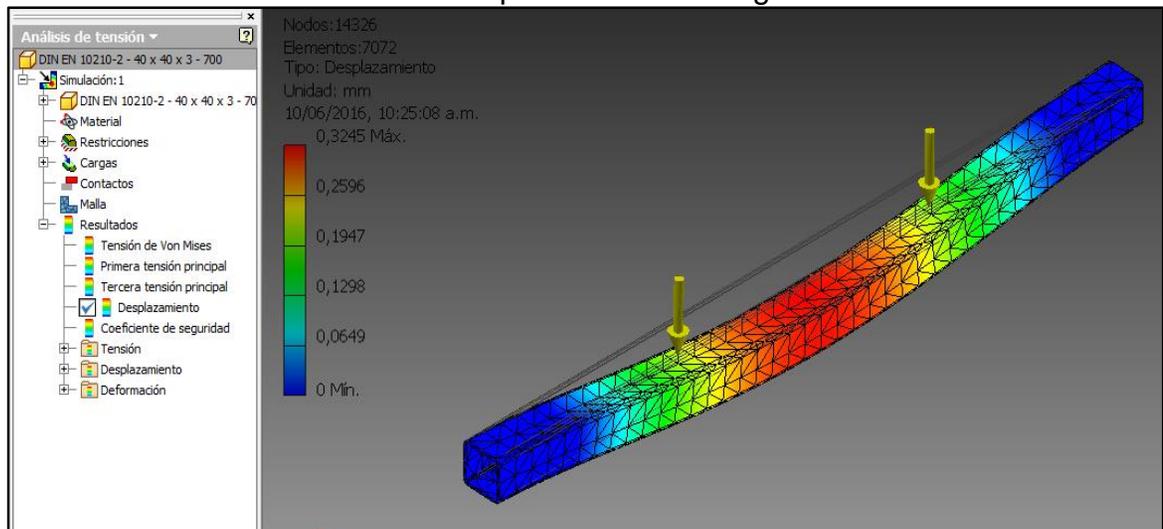
En la Figura 123 se aprecia la simulación del elemento el cual muestra un esfuerzo máximo de 101 Mpa puntualizados en los extremos donde se realizó la restricción, este esfuerzo está por debajo del límite de fluencia del material por lo cual es confiable su utilización.

Ilustración 123. Simulación Von Mises Viga transversal sistema rodante



En la simulación de desplazamiento registra un valor máximo de 0.32 mm y este valor no representa mayor importancia.

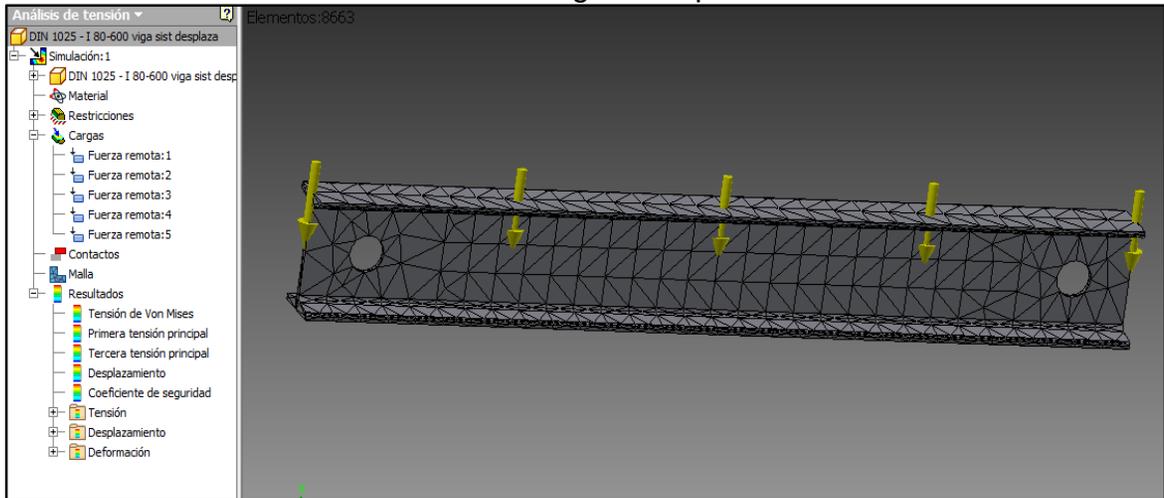
Ilustración 124. Simulación de desplazamiento de Viga del sistema rodante



Otro elemento importante a analizar es la viga principal del sistema rodante la cual va a recibir la carga de las cinco vigas transversales, para ello se utiliza un perfil estructural IPN80 en un material de acero de calidad S275 JR con un límite de fluencia de 275 MPa, para este elemento se distribuirán las cargas de las vigas

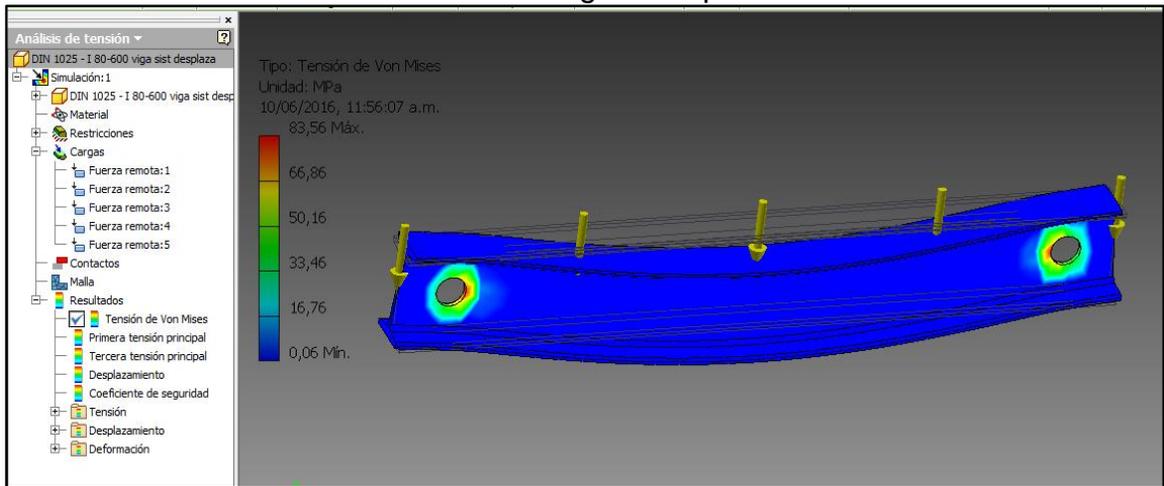
transversales cada 150 mm a lo largo de la viga IPN80 con una magnitud de 3435,5 N.

Ilustración 125. Condiciones iniciales Viga Principal Sistema rodante



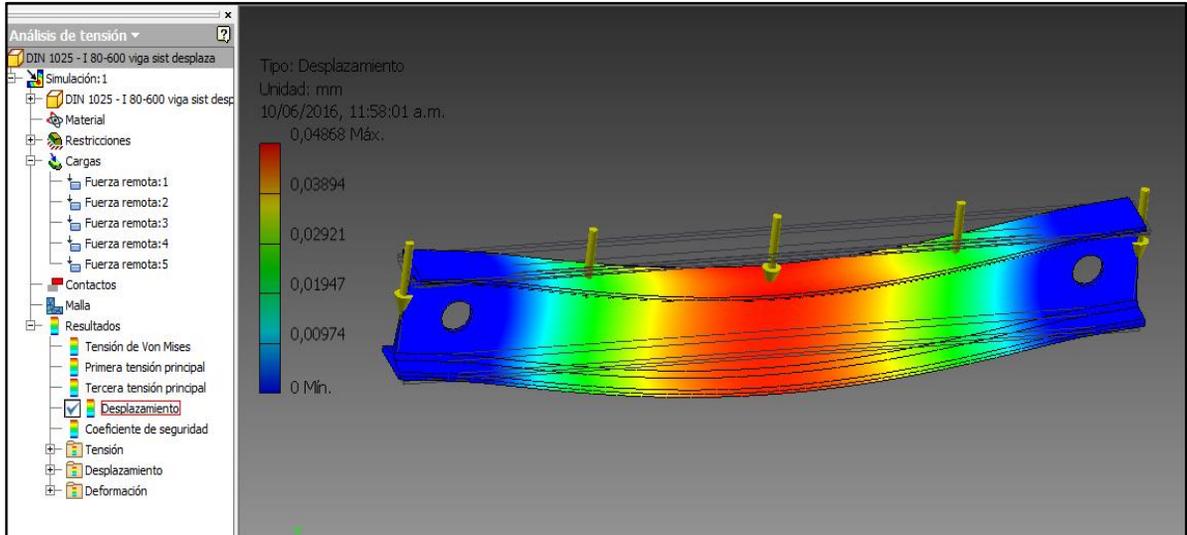
En la simulación de esfuerzo de Von Mises se puede ver un valor máximo de esfuerzo de 83,56 MPa cuyo punto máximo se ubica en las restricciones donde van los ejes de la ruedas para riel

Ilustración 126. Simulación Von Mises Viga Principal Sistema rodante



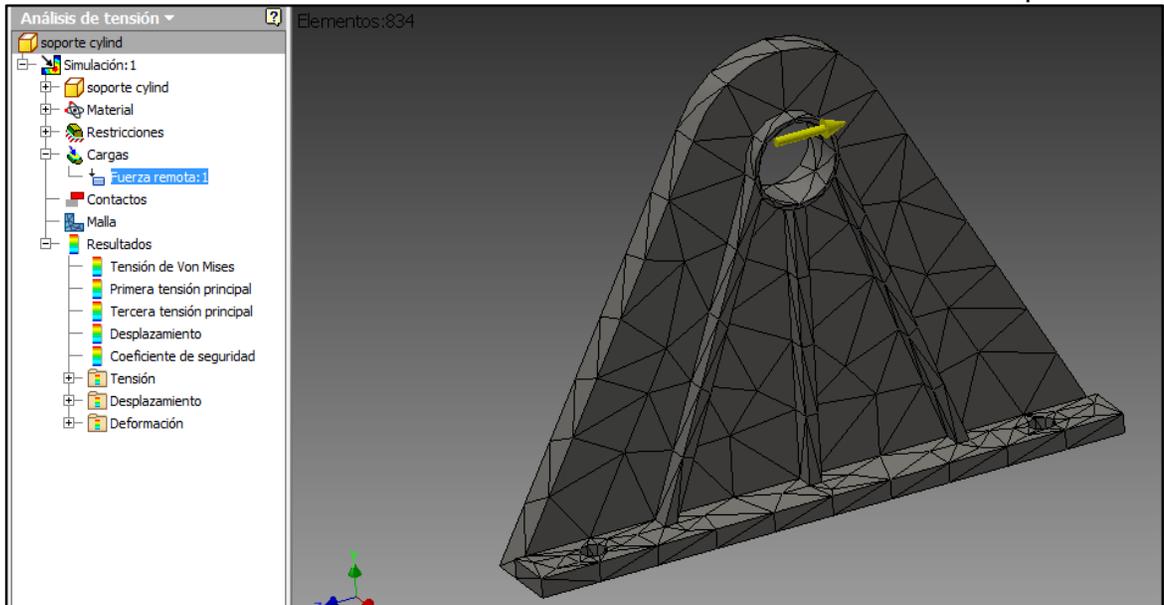
En la figura 127 se puede apreciar el desplazamiento máximo con un valor de 0,04 mm el cual es un valor mínimo, este se concentra en la mitad de la Viga debido a que las restricciones tienen forma circular.

Ilustración 127. Simulación de desplazamiento en Viga Principal del Sistema rodante



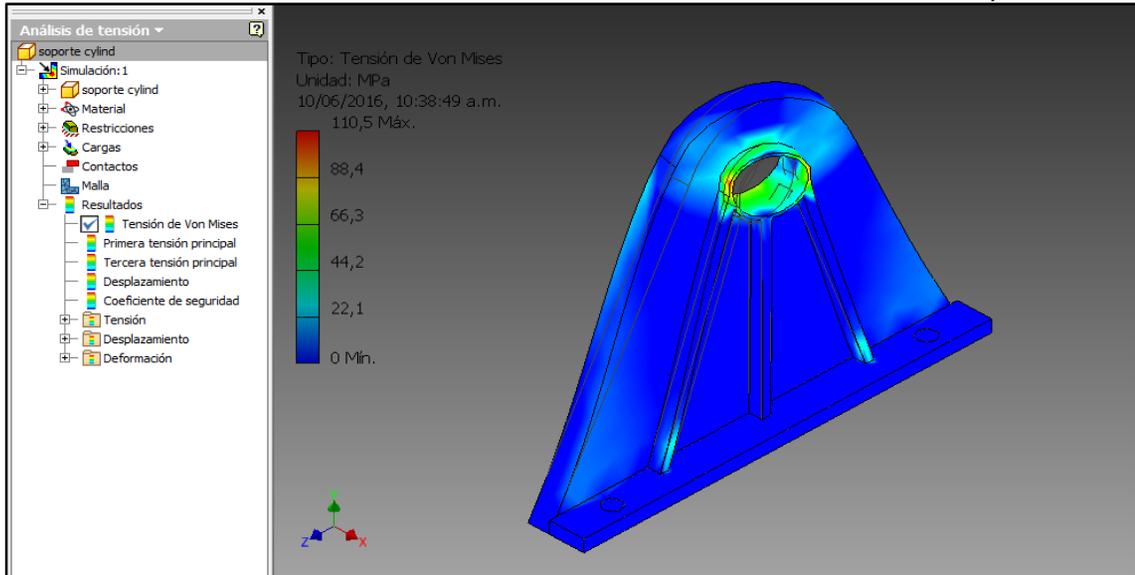
El siguiente elemento a analizar está designado por norma sus dimensiones, sin embargo se verifica el comportamiento de la estructura a la carga del cilindro telescópico, para este elemento que está soldado en su parte inferior y anteriormente atornillado. Se utilizará igualmente un acero ASTM A572 con un límite de fluencia de 345 MPa, este elemento se analizará con la carga media que aplica el cilindro (131794,61N), la cual es suficiente para mover el sistema de desplazamiento contra la fuerza que hace el cilindro de levantamiento.

Ilustración 128. Condiciones iniciales de la estructura del cilindro telescópico



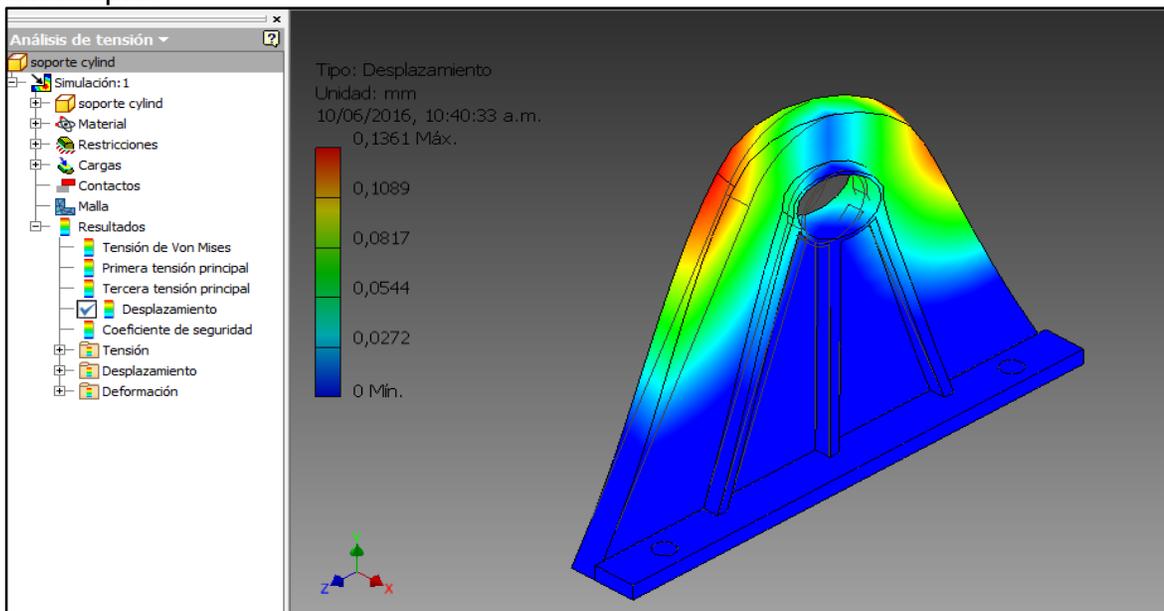
El esfuerzo que genera esta carga en la simulación Von Mises es de 110,5 MPa, ubicado en el punto donde se aplica la carga, este valor no representa mayor significancia debido a que el límite de fluencia del material es 345 MPa.

Ilustración 129. Simulación Von Mises de la estructura cilindro telescópico



El desplazamiento máximo arroja un valor de 0.136 mm en la simulación, este no es un valor importante para la carga efectuada.

Ilustración 130. Simulación de desplazamiento de la estructura del cilindro telescópico



Posteriormente se realiza un análisis de la estructura del sistema rodante que está compuesto por los apoyos donde gira la totalidad de la tea (68190 N en X, 26453 N en Y) y el apoyo donde recibe la fuerza del cilindro telescópico para empujar el sistema rodante (131794,61N), se restringirá donde van los ejes de la rodaduras y se aplicarán las cargas de las reacciones en estos apoyos, realizando este análisis con un acero ASTM A572 grado 50 con un límite de fluencia de 345 MPa.

Ilustración 131. Condiciones iniciales del sistema rodante

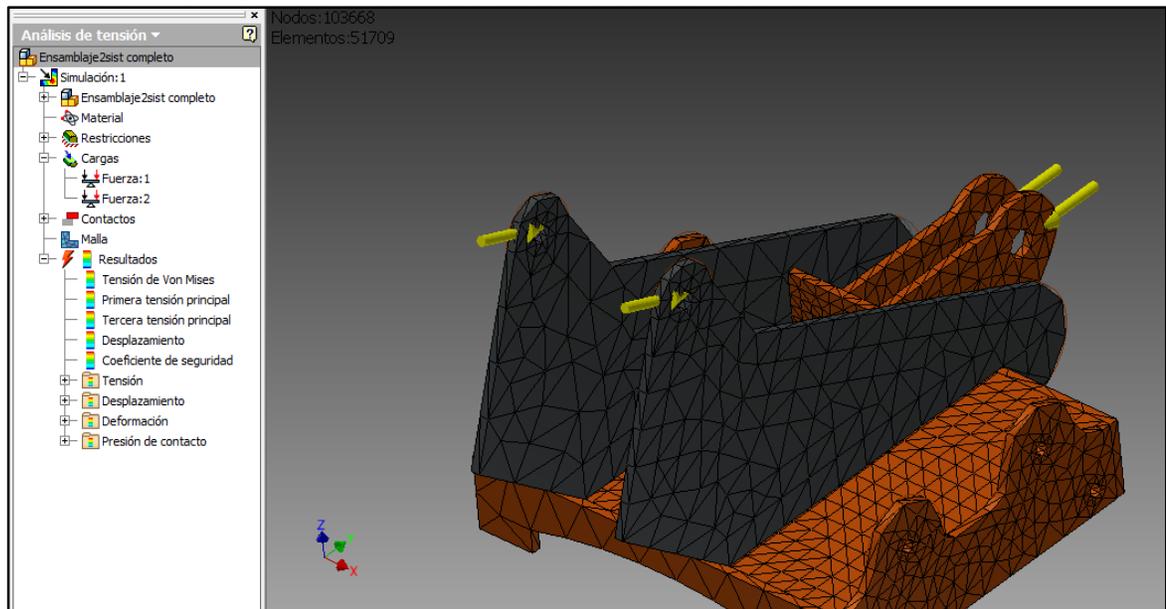
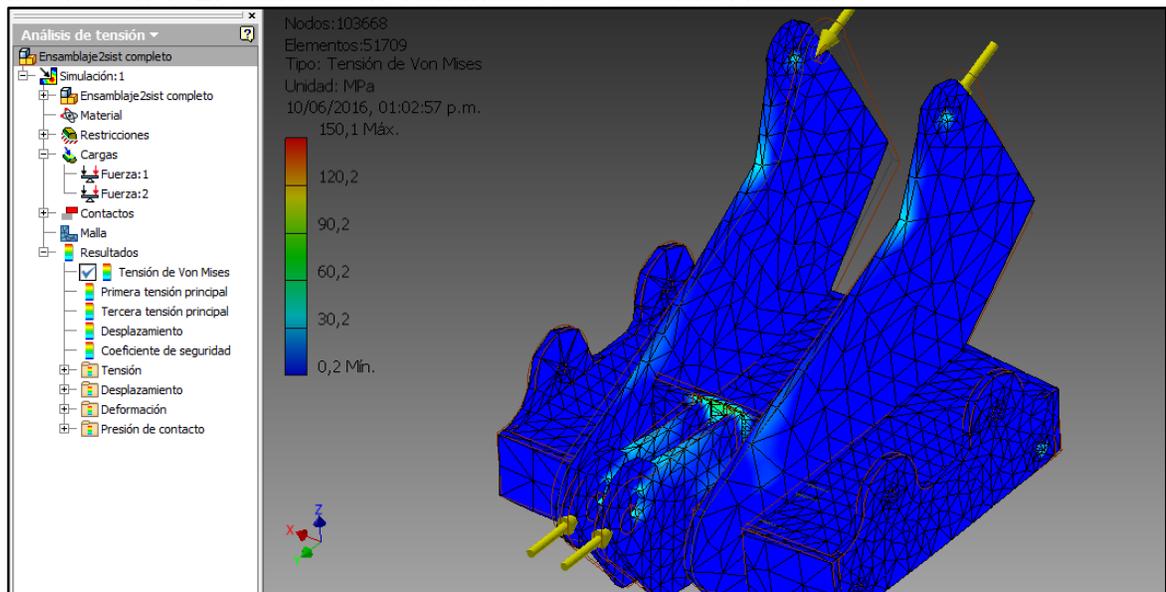


Ilustración 132. Simulación Von Mises del Sistema Rodante

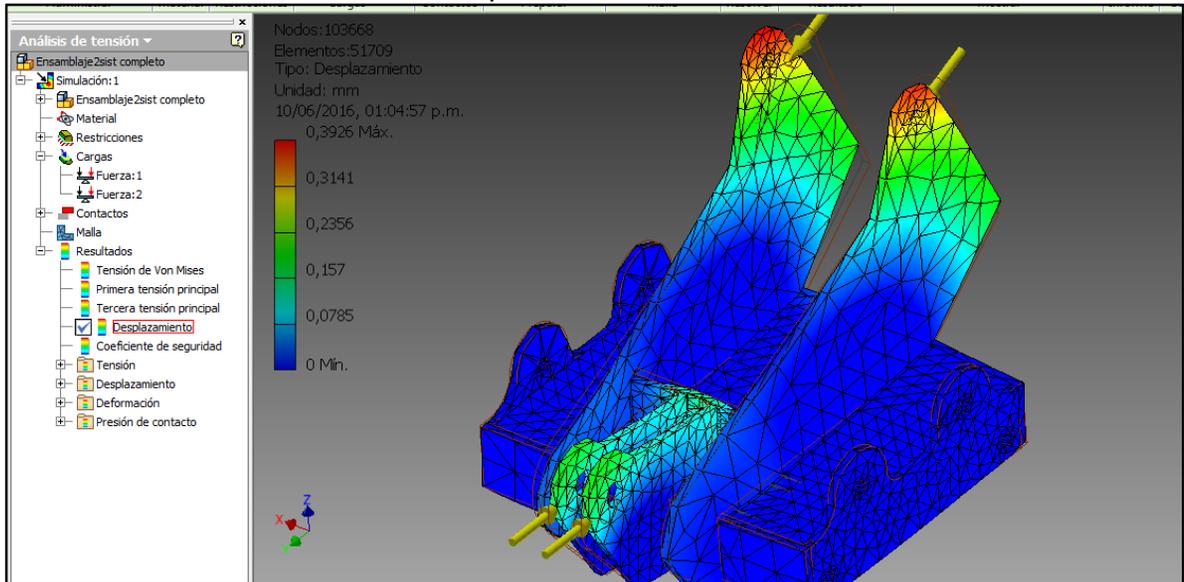


En la simulación de esfuerzo de Von Mises se puede apreciar un valor máximo de 150 MPa, este es un valor relativamente significativo pero teniendo en cuenta el

límite de fluencia del material (345 MPa) aún sigue proporcionando un nivel de confianza de 2.3.

En la Figura 133 la simulación de desplazamiento registra un valor máximo de 0.3926 mm ubicado en el apoyo donde gira la totalidad de la tea, aun así es un valor poco significativo.

Ilustración 133. Simulación de desplazamiento del sistema rodante



Finalmente se realiza la simulación del riel por el cual se desplaza todo el sistema de desplazamiento cuyas cargas están definidas por el contacto de las rodaduras y esta está determinada por la reacción que genera el tubo de la tea cuando comienza a levantarse para lo cual resulta un valor de 12700 N cada una.

Ilustración 134. Condiciones Iniciales Riel

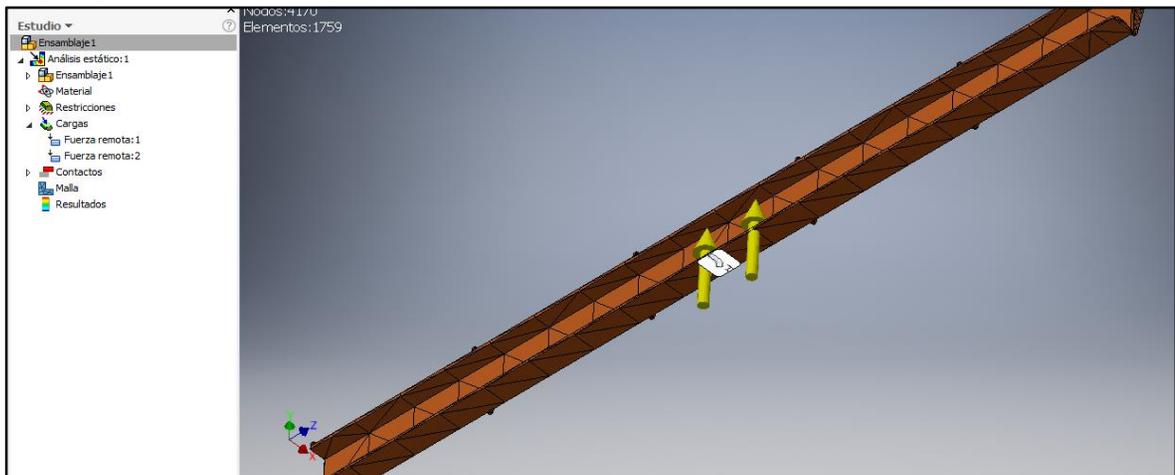


Ilustración 135. Simulación Von Mises del riel

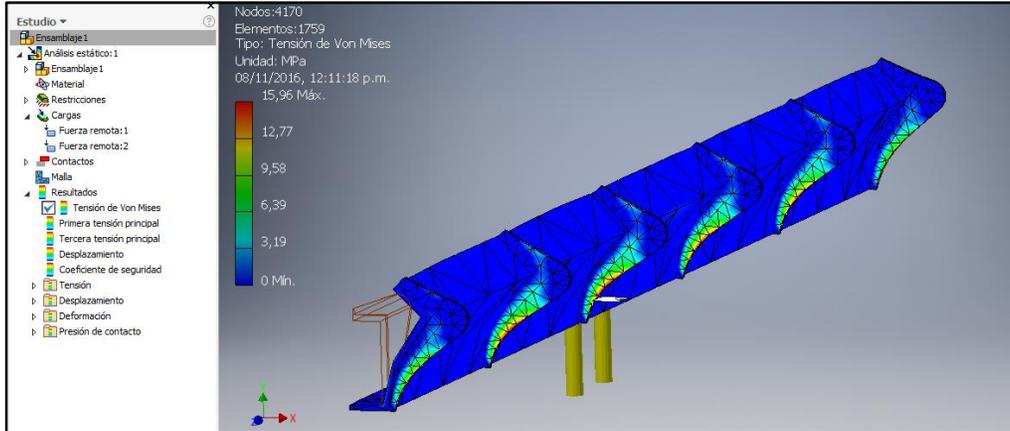
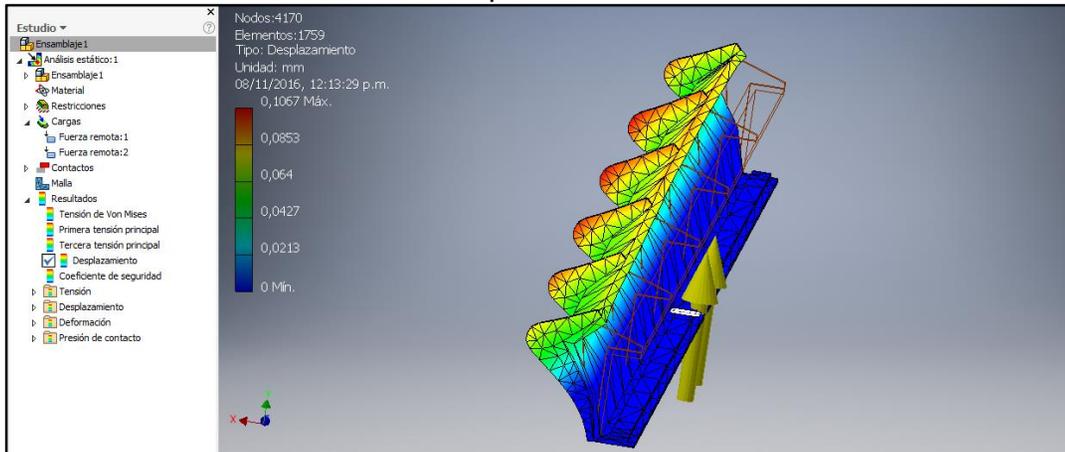


Ilustración 136. Simulación de desplazamiento del riel



En las ilustraciones anteriores se muestra el comportamiento del riel frente a las cargas de las rodaduras y estas no sobrepasan un esfuerzo de 15,96 MPa y un desplazamiento de 0,106 mm lo cual representa un gran nivel de confiabilidad.

## 6. MANUALES

### 6.1 MANUAL DE MONTAJE

Enmarcando el sistema de elevación, los procesos de fabricación, ensamble previo y el ensamble final, requieren diferentes procedimientos industriales que incurren en las necesidades de la operación y la versatilidad del equipo.

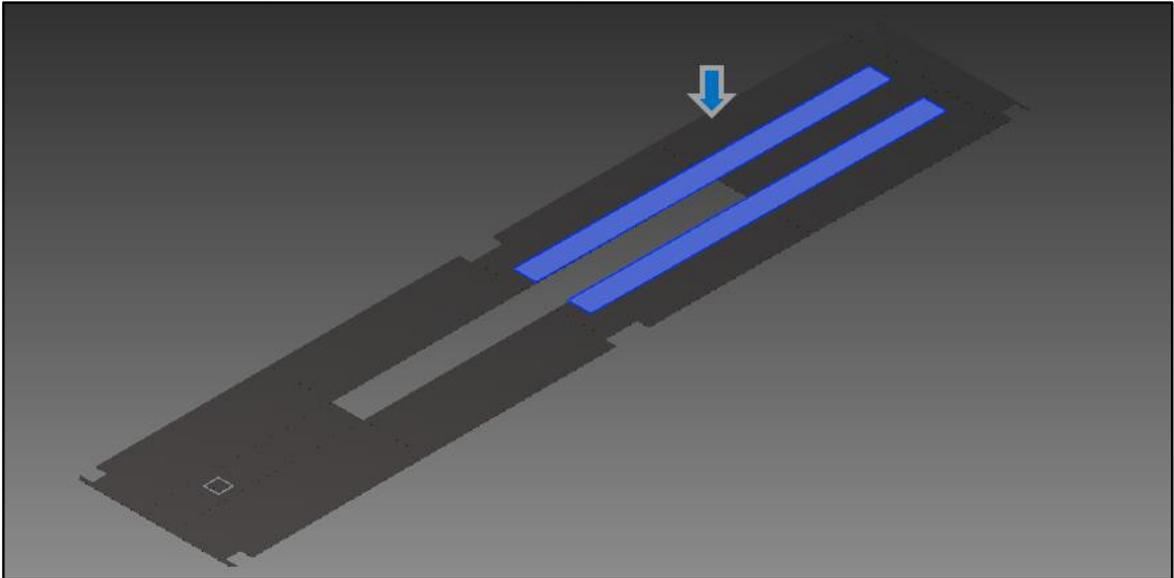
El montaje de este proyecto se caracteriza fundamentalmente por el ensamble de la estructura la cual para el tipo de maquinaria que comprende este proyecto requiere una gran cantidad de soldadura debido a la robustez y dimensiones necesarias, por otro lado al igual que en la fabricación de automotores pequeños esta etapa constituye procedimientos como:

- Armado y soldado de elementos estructurales
- forraje, que comprende el montaje de las láminas sobre la estructura, que incluye ante todo operaciones de taladrado, atornillado y remachado.
- Pre-Montaje de elementos alternos como bisagras, pasadores, soportes, rieles, rodaduras.
- Proceso de pintura, la cual comprende objetivos diferentes de aislamiento y protección contra la corrosión
- Disposición de elementos eléctricos y mecánicos.
- Revisiones de subconjuntos.

El ensamble del sistema está basado en una plataforma o tráiler normalizado de 12 metros de largo por 2,6 metros de ancho tal y como se había nombrado anteriormente en los parámetros para el diseño y cuya normatividad está reglamentada con base en la resolución 4959 de 2006 y la resolución 4100 de 2004 del Ministerio de Transporte, donde esta establece la legalidad de la dimensiones y la carga que soportará este sistema, en consecuente con ello se debe adaptar el tráiler para montar los dispositivos del sistema de elevación de la tea.

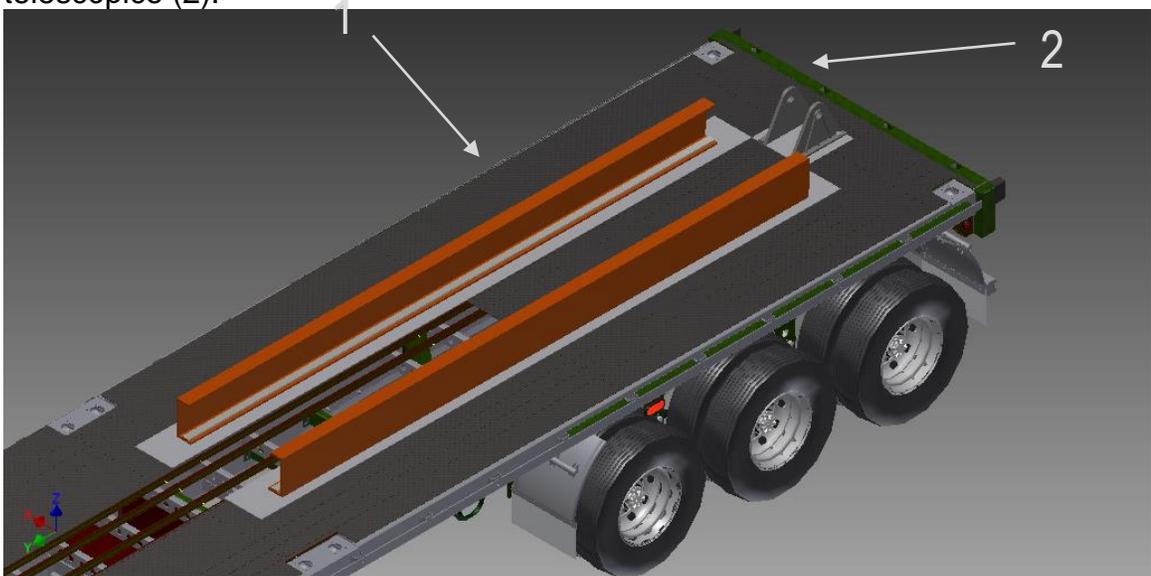
En primera instancia se deben poner las láminas que soportarán los rieles del sistema de desplazamiento sobre la superficie del tráiler, este elemento ya que no va a estar sometido a cargas directas más que a aplastamiento su sujeción puede realizarse mediante remaches o tornillos de bajo diámetro.

Ilustración 137. Sujeción de láminas a superficie de tráiler



Posteriormente a este paso se prosigue a situar los rieles sobre las láminas, estos perfiles se soldarán a las láminas que se ajustaron a la superficie del tráiler, adicionalmente también se instalará la estructura del cilindro hidráulico que estará atornillada y soldada a la lámina que los soporta a la superficie del tráiler tal y como que se describe en la siguiente figura, esta estructura quedará situada en la parte posterior del tráiler con el fin de empujar el sistema de desplazamiento, para las distancias exactas de su instalación se recomienda guiarse por los planos que se encuentran al final de este documento.

Ilustración 138. Riel del sistema de deslizamiento (1), soporte del cilindro telescópico (2).



Ahora bien en un correcto procedimiento de ensamblaje se debe continuar con el montaje del sistema de desplazamiento:

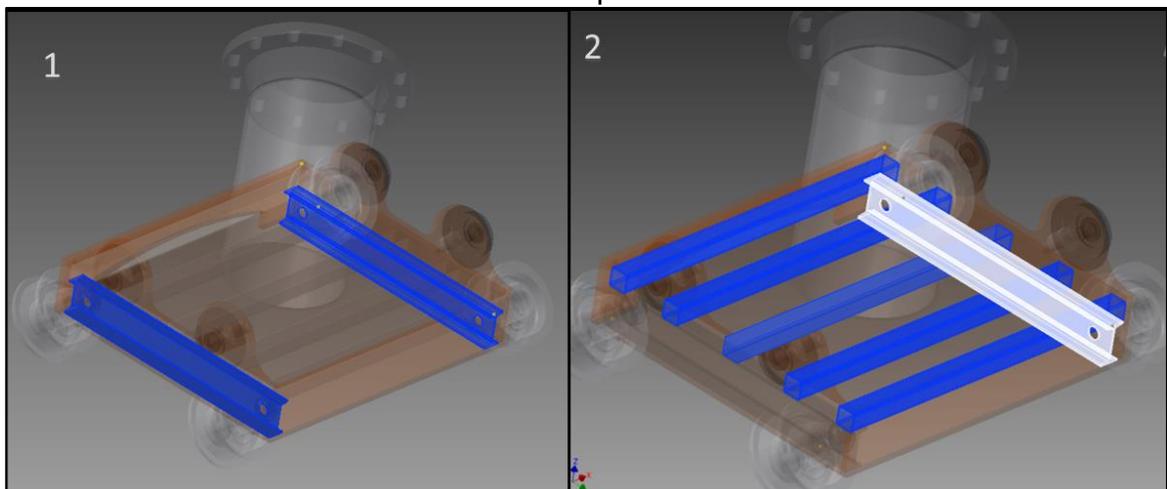
Ilustración 139. Sistema de desplazamiento vista inferior



Para iniciar el proceso de ensamblaje de este sistema de rodadura se debe empezar con la estructura la cual está compuesta por dos perfiles en I y cinco vigas transversales de perfil cuadrado las cuales estarán soldadas en dos puntos; uno se fijará encima de los perfiles en I, y dos se soldarán a las láminas laterales.

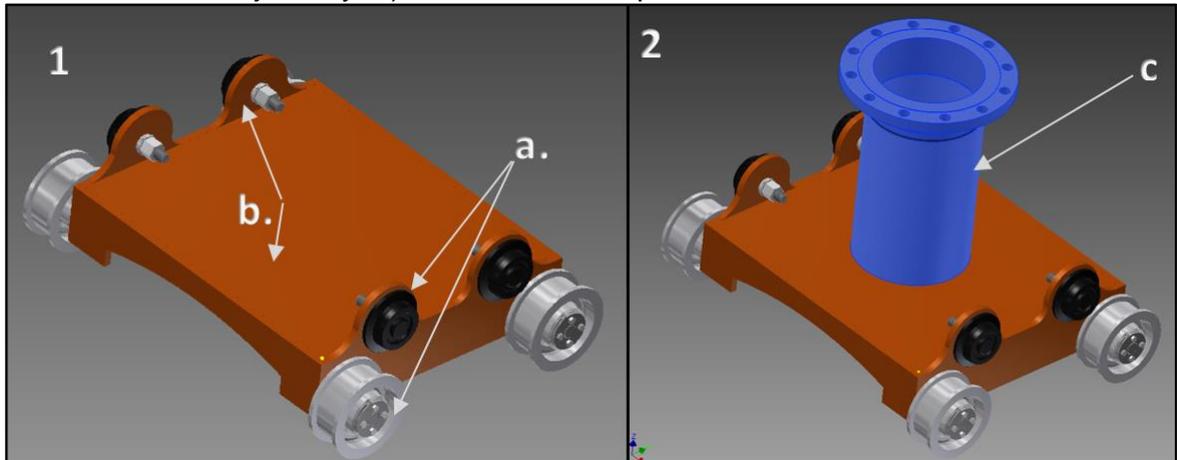
En la figura que se muestra a continuación se muestra el procedimiento de ensamble de la vigas:

Ilustración 140. Estructura sistema de desplazamiento



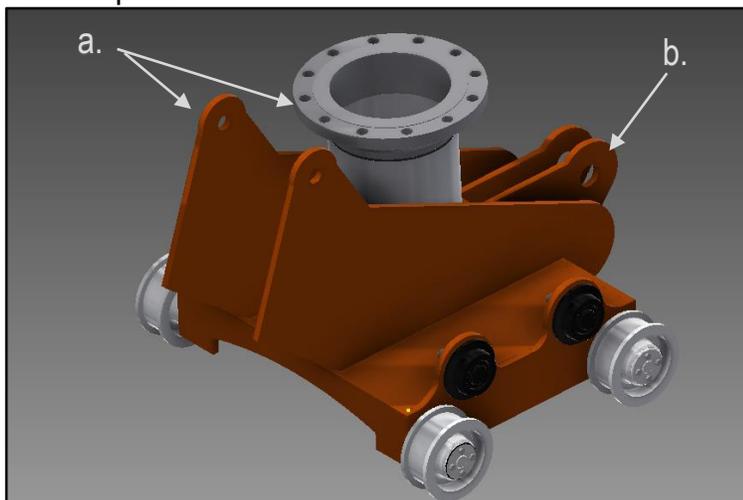
Una vez teniendo armada la estructura del sistema de desplazamiento, se continúa con acoplar las láminas exteriores las cuales se componen de; la superior donde va a ir soldado la sección del tubo de la tea, las laterales que tendrán los agujeros para ensamblar las rodaduras y las ruedas para los rieles, y también las láminas frontal y trasera.

Ilustración 141. a.) Rodadura para puente grúa y rueda para riel, b.) Láminas exteriores del conjunto, y c.) Sección de acople del tubo de la Tea.



Ahora se prosigue a instalar los apoyos de unión de la Tea y del cilindro hidráulico, dichos apoyos también irán soldados sobre la lámina exterior superior del sistema de desplazamiento.

Ilustración 142. a.) Lugar de acople de la Tea, b.) Lugar de acople cilindro Telescópico



Retomando el montaje en el tráiler, en la estructura del tráiler se ubica el lugar donde quedará fijada las vigas, en ese lugar se fijará una lámina la cual cumplirá

la función de evitar que la fuerza que ejerce la viga hacia los lados afecte el alma de la estructura del tráiler. Adicionalmente se fija el apoyo del cilindro hidráulico en la mitad de la viga con el cilindro hidráulico, el cual permitirá el ensamble final al posicionar la tea.

Ilustración 143. Sujeción de vigas a la estructura del tráiler

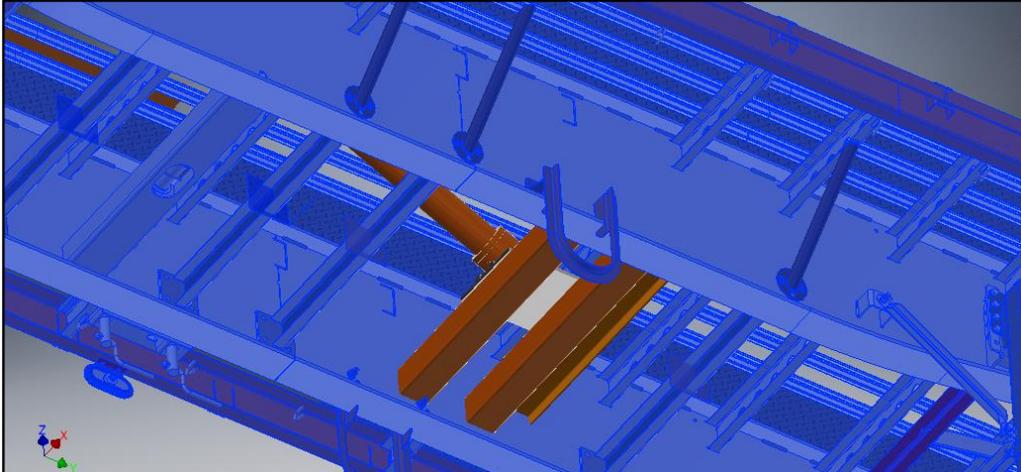
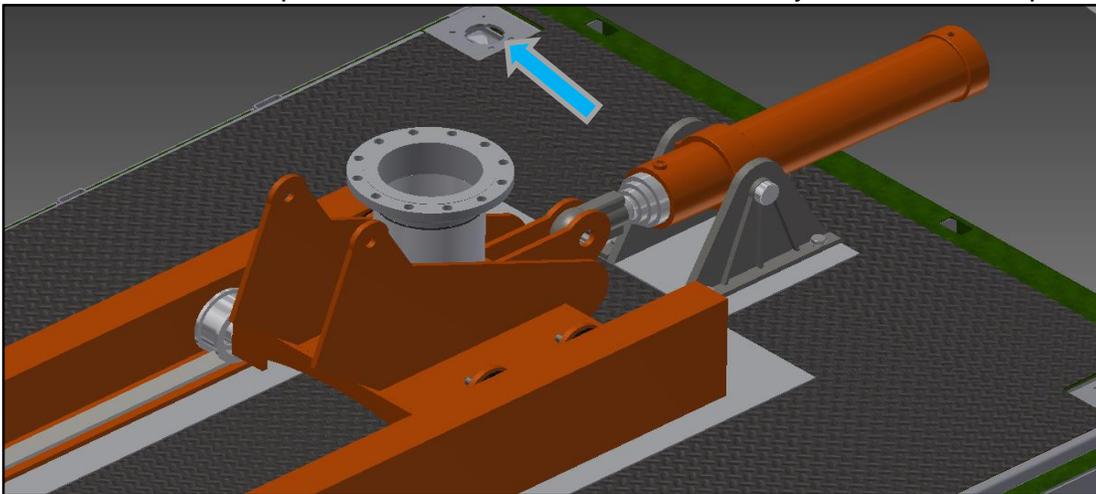


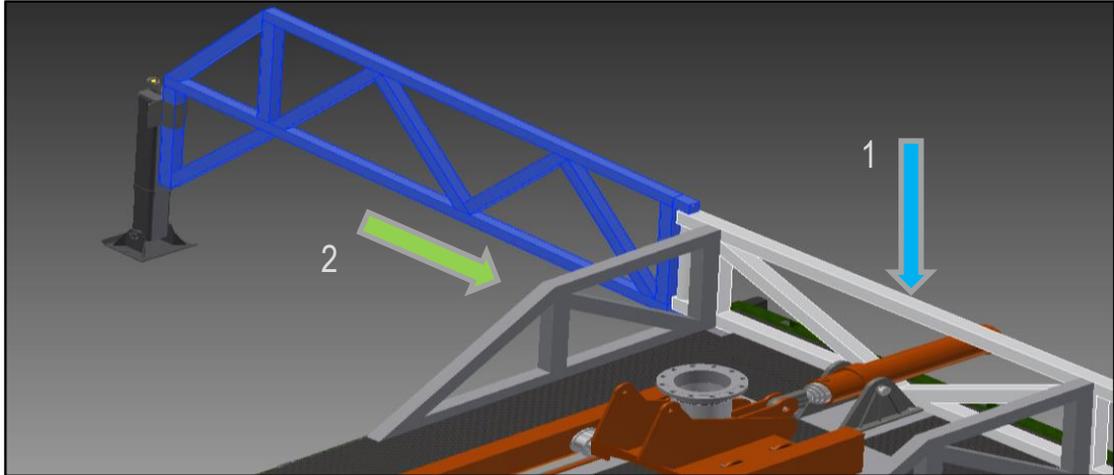
Ilustración 144. Acoplamiento sistema de deslizamiento y cilindro telescópico



En la figura anterior se puede apreciar el acople del sistema de deslizamiento sobre los rieles y guías instaladas sobre la plataforma, adicionalmente también se acopla el cilindro telescópico a la estructura del cilindro y al sistema de desplazamiento, y el siguiente procedimiento sería instalar las extensiones estructuradas para el izaje de la Tea y por medio de las guías que se muestran en la figura, se instalan las estructuras. En la figura a continuación se muestra la instalación de la estructura de las extensiones para la estabilidad del vehículo, se procede a poner la estructura que tiene el eje de rotación de la extensiones sobre

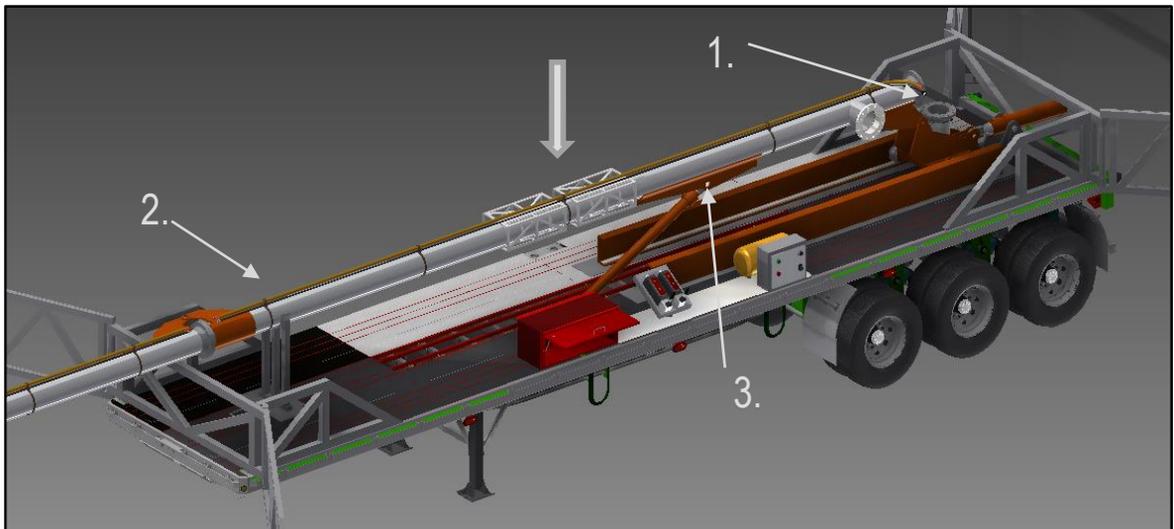
la plataforma, esta estructura se suelda a la estructura del tráiler y después se acopla la extensión al eje.

Ilustración 145. Ensamble de extensiones



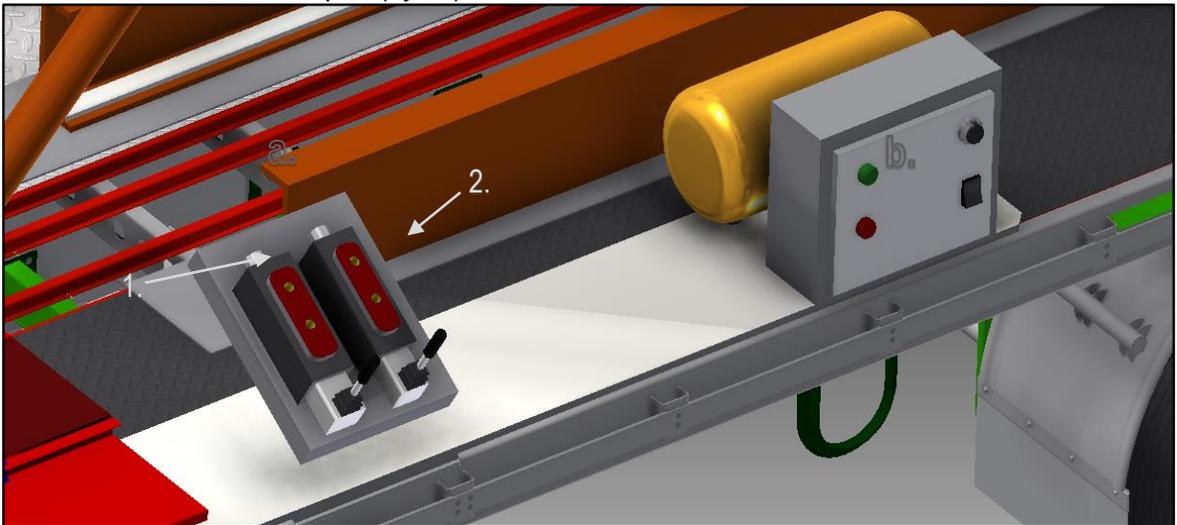
Paso siguiente al ensamblaje de la estructura de las extensiones, se procede al ensamble de la Tea, este procedimiento se realiza por medio de un puente-grúa que permitirá sostener la carga de la tea mientras es situado en sus tres puntos de apoyo, en la figura 146 se puede ver el procedimiento a realizar en donde primero se ajusta la Tea al apoyo que le permite girar hasta quedar en la posición vertical, este apoyo se encuentra en el sistema de desplazamiento el cual ya se acopló a los rieles y al cilindro telescópico. Segundo paso a seguir se procede a posicionar la Tea en el apoyo que está al otro extremo de la plataforma, este permitirá soltar la carga de la Tea mientras se ajusta el cilindro hidráulico el cual ya se había puesto en la viga de apoyo.

Ilustración 146. Ensamble de la Tea



Para culminar el montaje del sistema de levantamiento se realizan las conexiones del sistema hidráulico, tomando como guía el circuito hidráulico enunciado en el capítulo de diseño se realiza cada una de las conexiones incluyendo desde la toma de fuerza, la bomba, el tanque hasta las mangueras hidráulicas que actúan en los cilindros hidráulicos. Adicionalmente se realiza la conexión de los componentes de la tea la cual incluye la línea del gas asistente de quema y el cableado eléctrico para el piloto de ignición, dicha conexión se realiza desde el panel de control de quema mostrado en la figura que está a continuación. Las demás piezas no descritas en el manual de montaje, se describen en el de la operación ya que son cambiables cada vez que se va a hacer uso del dispositivo.

Ilustración 147. a.) Mandos hidráulicos (1. Mando cilindro de levantamiento, 2. Mando Cilindro telescópico) y b.) Panel de control de la Tea



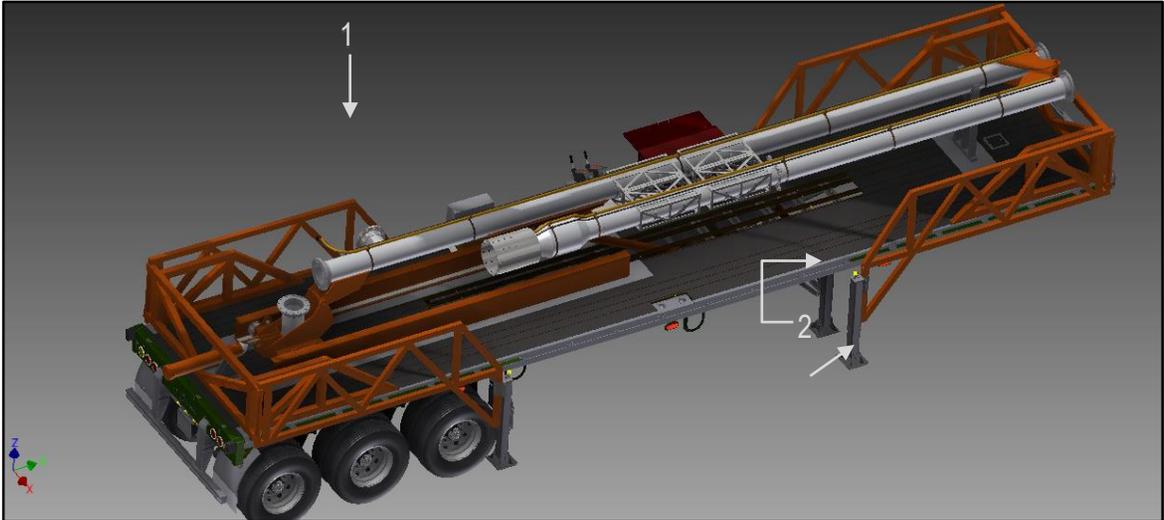
## 6.2 MANUAL DE OPERACIÓN

El presente manual permite conocer el apropiado procedimiento del montaje de la Tea, mediante la descripción de diferentes pasos desde el momento en que el tráiler llega al punto de operación hasta el inicio de incineración de gases. Para un apropiado proceso de operación se recomienda tener en cuenta el manual de seguridad y salud ocupacional.

Una vez que el camión ha llegado al sitio de operación donde se va a realizar la quema de gases se procede a desplegar los demás componentes, para un correcto montaje se debe tener en cuenta varios aspectos:

- Distancia del punto de conexión de los gases de quema.
- Orientación de la plataforma al momento de situarla.
- Evaluación de la firmeza del terreno.
- Detección de equipos cercanos que puedan interferir con la operación.

Ilustración 148. Sistema de elevación compacto, 1.) Extensiones 2.) Patas hidráulicas



Una vez se tenga posicionada la plataforma en su punto de operación exacto, se despliegan las extensiones que le darán estabilidad a todo el sistema, y nivelarán ciertas imperfecciones del terreno.

Estos procedimientos se deben realizar manualmente, se debe revisar que las extensiones queden simétricas con respecto a la estructura de la cual están soportadas las extensiones, aproximadamente deben quedar a 135° grados de la estructura, para ajustar estas extensiones se deben extender las patas hidráulicas las cuales se expanden mediante una manivela.

Ilustración 149. Despliegue de extensiones



Una vez asegurado el sistema se procede a soltar los amarres que están en las estructuras de la tea, estos permiten reducir la oscilación del tubo de 8 metros durante su transporte, al soltar estos amarres se puede desplegar la tea en su totalidad y de ahí se debe asegurar con los 12 pernos que están dispuestos en la

brida de acople, además se deben ajustar los acoples de las líneas de gas y la línea eléctrica para el quemador de la Tea.

Ilustración 150. Despliegue de la Tea

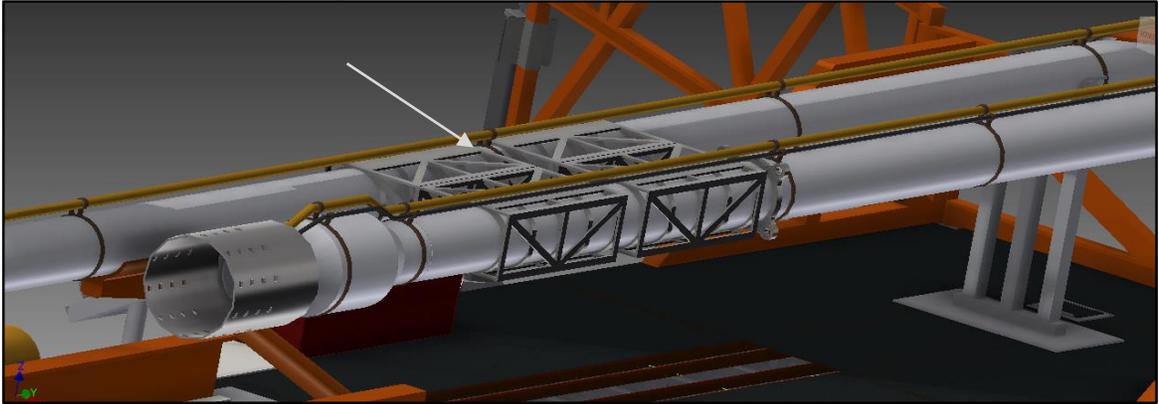
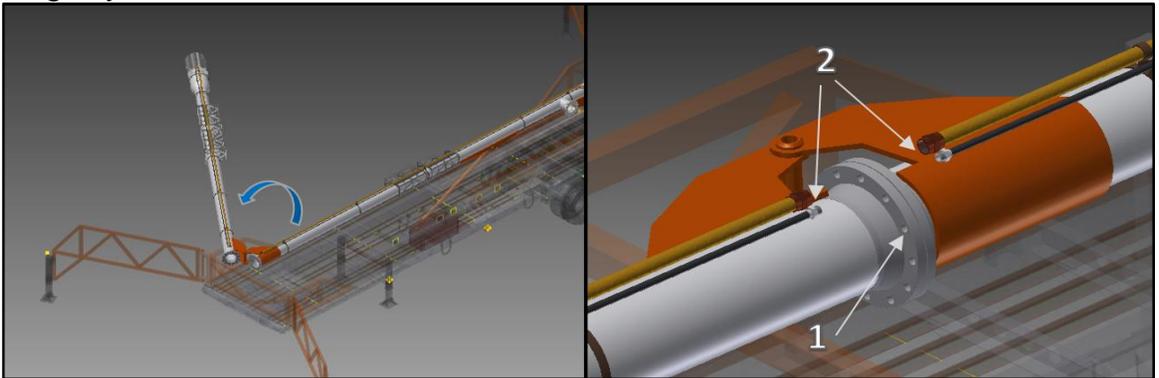
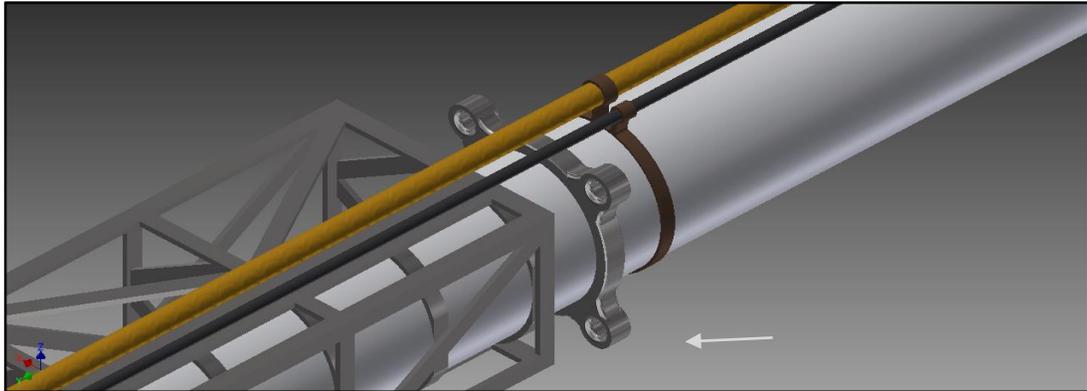


Ilustración 151. Ajuste de la Tea 1.) Aseguramiento con Pernos, 2.) Acoples línea de gas y eléctrica



Paso a continuar se deben poner las riendas o guayas de anclaje en los soportes del tubo y una vez esté a 90° la Tea se podrá ajustar la guaya o rienda con las extensiones para izar la tea cuando esté elevada, al colocar estas riendas ya se puede efectuar el levantamiento de la Tea accionando el mando del cilindro hidráulico que está situado en la estructura del tráiler

Ilustración 152. Instalación de riendas



Al accionar el cilindro hidráulico, la tea comenzará a elevarse poco a poco, hasta generar una inclinación de  $44^\circ$  grados con la horizontal, en este punto ya se puede proceder a accionar el cilindro telescópico que al empujar el sistema de desplazamiento la Tea quedará con una inclinación de  $90^\circ$ . Este cilindro se accionará con el mando dos que está al lado derecho de mando del cilindro hidráulico de elevación.

Ilustración 153. Accionamiento cilindro hidráulico.

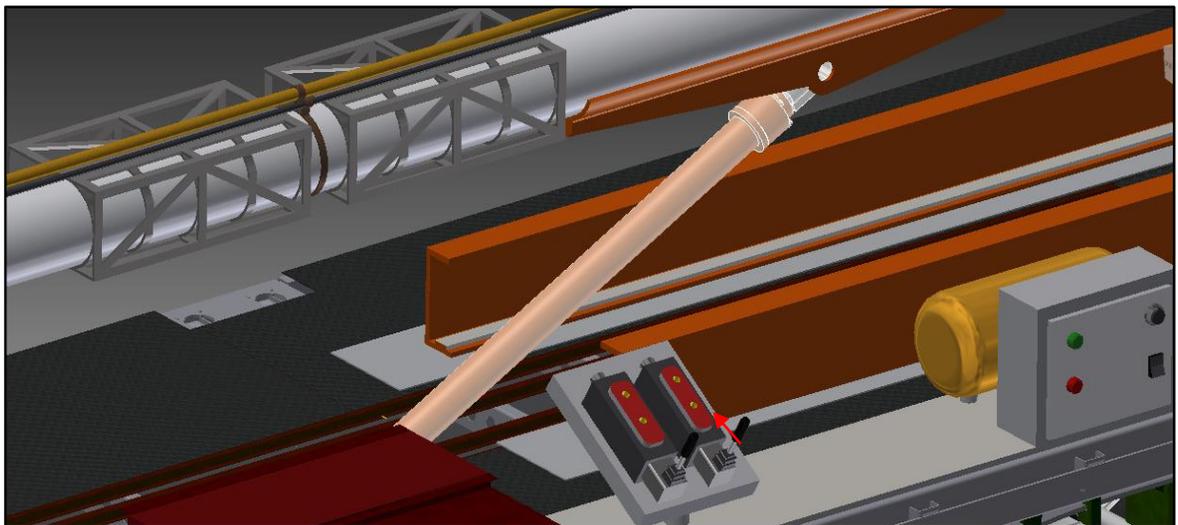


Ilustración 154. Elevación de la Tea a 44°



Ilustración 155. Posición de la Tea a 90° grados



Cuando el cilindro telescópico se despliega obliga a la Tea a inclinarse más hasta quedar totalmente levantada. Cuando se logra el acople de la tea con la sección bridada en el sistema de deslizamiento se deben ajustar los 12 pernos que están dispuestos. El paso que se debe seguir es tomar las riendas que están

enganchadas en la parte superior de la tea y libres en el otro extremo, estas se proceden a ajustarse en las extensiones y se les da tensión, de este modo el sistema ganara más rigidez, y su efectividad ante vientos huracanados será mayor.

Ilustración 156. Ajuste de las riendas en los extremos de las extensiones

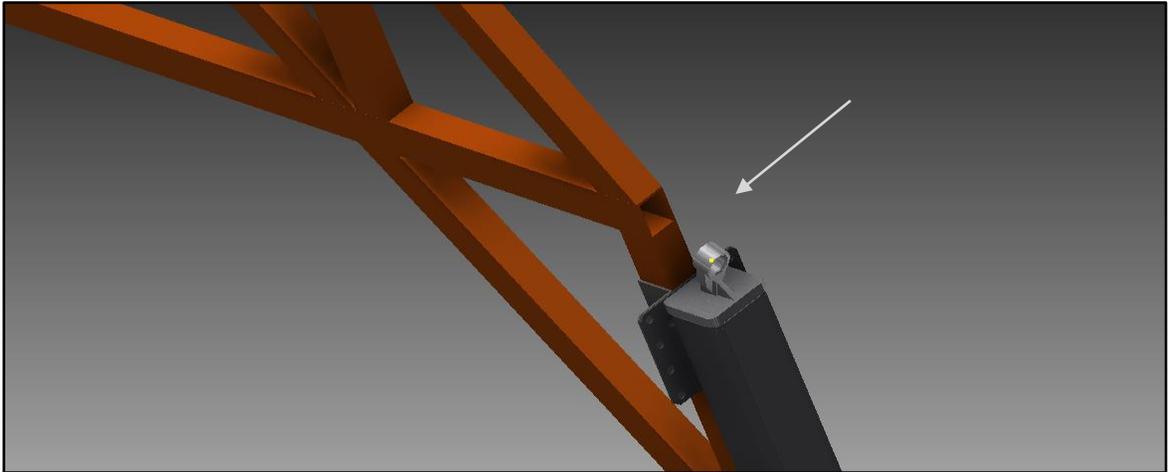
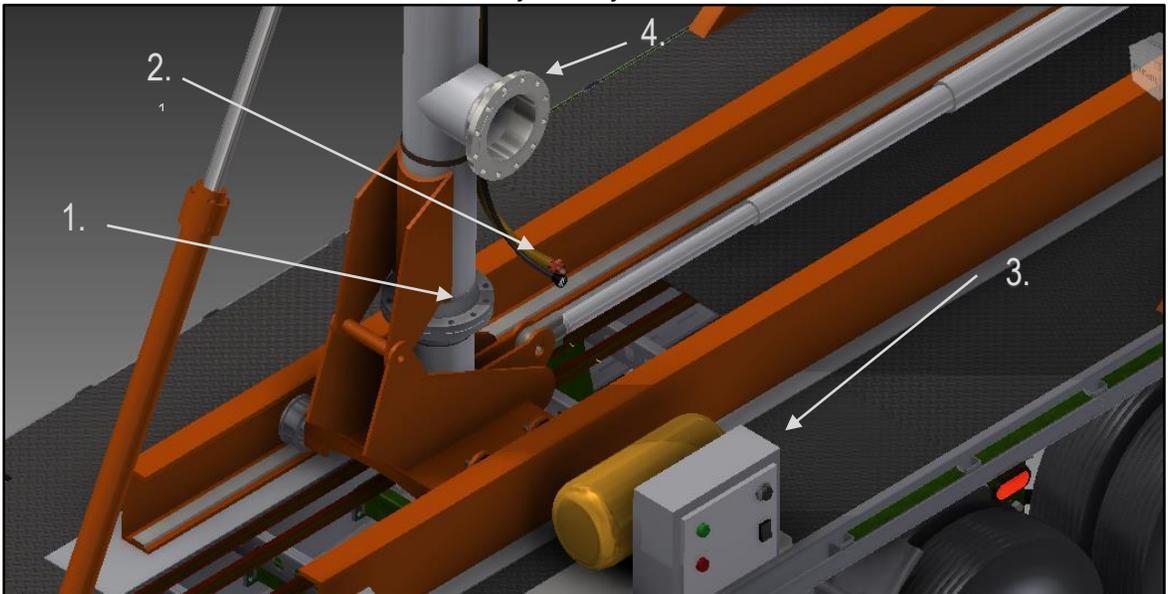


Ilustración 157. Ajustes y conexiones finales



Los últimos ajustes que se deben realizar para culminar la operación del sistema de levantamiento se muestran en la figura anterior, cada uno está mostrado en el orden en que se debe realizar su ajuste o conexión; 1.) Ajustar los 12 pernos que están dispuestos en la brida de acople del sistema de desplazamiento con la Tea 2.) Conexión de la línea de gas asistente y línea eléctrica los cuales son fundamentales para realizar una quema de gases adecuada, 3.) Conexiones de la

Tea al panel de control de la quema de gases, en este panel se dispondrá de la válvula que dará paso al gas de asistencia en la quema, y también el panel activará el piloto para iniciar la ignición, 4.) En este punto se realizará la conexión del gasoducto, donde el flujo de gas ya ha sido expuesto a pruebas de rendimiento y calidad, o simplemente es un gas residual, una vez realizada toda la instalación se procede a la manipulación del panel de ignición para controlar la quema de gases regulando el flujo o el gas de asistencia en la quema.

### 6.3 MANUAL DE MANTENIMIENTO

Con el fin de dar una duración de vida más larga a este dispositivo, se describe a continuación los ítems y procedimientos que se deben efectuar para obtener una adecuada gestión de mantenimiento.

6.3.1 Objetivo: mejorar la expectativa de vida del equipo por medio de la implementación de un adecuado método de mantenimiento.

6.3.2 Generalidades. Este equipo debido al sector en el que se desempeña, debe centrar sus procedimientos de mantenimiento en la mitigación de la corrosión. El sector petrolero es un ambiente en el cual se encuentran distintas sustancias agresivas que afectan la superficies de los equipos y sus componentes, de este mismo modo la corrosión proporciona un mayor riesgo de falla en los diferentes elementos mecánicos, ya que genera un aceleramiento en el desgaste de la piezas metálicas.

6.3.3 Mantenimiento preventivo. Por medio de una gestión preventiva se espera evitar los paros no programados del dispositivo generados por fallas, mediante diferentes procesos que se describirán a continuación se reducirá la probabilidad de que falle el equipo inesperadamente. Los cronogramas de inspecciones y acciones preventivas para este equipo pueden variar y no mantendrán una uniformidad en lapsos de tiempo ya que el uso de este equipo es variado.

- Sistema hidráulico

El sistema hidráulico representa la principal prioridad para tener en cuenta en el mantenimiento preventivo en el sistema de levantamiento, esto se debe al costo que representan algunos de sus equipos y el nivel de importancia en el funcionamiento del equipo.

El desgaste en el sistema hidráulico básicamente se debe a partículas contaminantes que entran en el sistema que afectan el funcionamiento de los componentes, la contaminación del sistema hidráulico puede deberse a dos causantes: por causas internas o causas externas.

- Algunos de los contaminantes por causas internas pueden ser partículas de otras partes del resto del sistema de levantamiento, originadas por el mecanizado o el desgaste natural de la piezas al momento de la instalación, otras partículas que se pueden encontrar restos de juntas y guías de deslizamiento, restos de soldaduras y cortes de tuberías, y también partículas restos por la combustión del motor del camión que transporta el sistema de elevación, o de la misma Tea cuando está en operación quemando gases.
- Los contaminantes por causas externas son aquellas partículas que entran al sistema sin tener una relación directa con el dispositivo, algunas de ellas pueden ser partículas que van en el fluido nuevo en el cambio de aceite, o en el manejo que se le da como Medios de trasvase de fluido inadecuados, y por ultimo puede deberse a condensaciones de agua en el depósito debido al aire que entra al depósito y cuando hay variaciones de humedad se condensa agua.

“Las medidas que pueden tomarse para ayudar a mantener un sistema hidráulico limpio son:

- Purgar todos los sistemas antes de la puesta en marcha inicial.
- En equipos nuevos, cambiar el filtro y fluido hidráulicos después del período de operación inicial recomendado o con anterioridad.
- No dejar el sistema hidráulico abierto o expuesto a un entorno sucio.
- Mantener el nivel de fluido apropiado en el depósito hidráulico.
- Asegurarse de que los envases de fluido hidráulico, embudos y el área circundante al depósito estén limpios.
- Asegurarse de que el fluido que se añada sea compatible con cualquier fluido restante en el sistema.
- Seguir las directivas de temperatura del fabricante del fluido en cuanto a almacenaje.
- Asegurarse de que las mangueras hidráulicas de extremo abierto estén tapadas cuando se reemplacen o reparen.
- Reparar las fugas.
- Solicitar que se analice el fluido al menos cada dos años o si sospecha un problema de contaminación.

- Reemplazar el fluido de conformidad con la recomendación del fabricante o si se produjo una falla del sistema.
- Si se observan depósitos de goma y laca sobre el filtro o dentro del mismo, esto indica la necesidad de cambiar el fluido y el filtro con más frecuencia.
- Drenar y purgar el sistema según la recomendación del fabricante.”<sup>3</sup>
- Elementos estructurales y mecanismos.

El sistema de elevación de la Tea, está compuesto por diferentes elementos mecánicos que con el transcurso del tiempo irán deteriorándose debido a las diferentes causas de fallas que están presentes en un equipo en condiciones normales, y su deterioro está ligado a la naturaleza del material y a su constante uso.

Algunas de las fallas más comunes que se pueden presentar en elementos como en los pasadores, bujes, vigas, ejes, rodamientos, soportes, apoyos y rieles, pueden ser:

- Grietas o fisuras causadas por la fatiga del material o ciclo de carga
- Grietas por fluencia lenta, estas grietas son causadas por altas temperaturas y además el elemento está a tensión
- Desgaste abrasivo, el cual se presenta debido a la fricción generada en el movimiento de dos elementos, como es el caso de los rieles en el sistema de desplazamiento, o los bujes con los pasadores.
- Fatiga superficial generada cuando uno de los elementos presenta pequeñas imperfecciones y está en contacto con otro elemento generando así esfuerzos que causan picaduras en el material
- Y por último el más importante la corrosión, este problema es el más representativo en el mantenimiento preventivo, ya que que afecta la industria petrolera a gran escala debido a la gran cantidad de equipos afectados por esta mal.
- Las medidas que pueden tomarse para ayudar a mantener un sistema estructural y sus elementos mecánicos con una mejor calidad para lograr una duración de vida útil de cada elemento son:

---

<sup>3</sup> BALDWINFILTER, Tips Hydraulic Maintenance, { En línea}, Disponible en:  
<http://www.baldwinfilter.com/literature/Spanish/TechTips/201408TechTipsHydraulicMaintenanceS.pdf>

- “Inspección y limpieza de rodamientos y/o rodaduras: Como todas las piezas importantes de un máquina, los rodamientos deben limpiarse y examinarse frecuentemente. Los intervalos entre tales exámenes dependen por completo de las condiciones de funcionamiento. Si se puede vigilar el estado del rodamiento durante el servicio, por ejemplo escuchando el rumor del mismo en funcionamiento y midiendo la temperatura o examinado el lubricante, normalmente es suficiente con limpiarlo e inspeccionarlo a fondo una vez al año (aros, jaula, elementos rodantes) junto con las demás piezas anexas al rodamiento. Si la carga es elevada, deberá aumentarse la frecuencia de las inspecciones; por ejemplo, los rodamientos de los trenes de laminación se deben examinar cuando se cambien los cilindros.”<sup>4</sup>
- Lubricación de mecanismos, este es un factor muy importante y es determinante en la vida útil de elementos mecánicos móviles, la lubricación al ser su objetivo principal evitar el contacto directo entre piezas móviles evita el inminente desgaste del material, y además sirve para disminuir las pérdidas de energía, como refrigerante y por último sirve de capa protectora contra la corrosión.
- Métodos de mitigación de la corrosión, en este ítem se presentan varios métodos para disminuir la corrosión en los elementos que están expuestos al entorno corrosivo, se recomienda al menos usar dos de los siguientes:
  - Recubrimiento del metal con lubricantes, pinturas o películas de otros metales más nobles aplicados por electro deposición u otros métodos. Se considera un metal más noble aquel que presenta un potencial estándar de reducción menor que el del metal base. Esta película forma una barrera impermeable entre el metal y el oxidante, pero solo es efectiva cuando cubre completamente la estructura a proteger.
  - Galvanizando o recubriendo acero con zinc.
  - permitir que una película, tal como un óxido metálico, se forme de manera natural sobre el metal.
  - Protección anódica/catódica.
  - Adición de inhibidores de corrosión al medio electrolítico. Son sustancias orgánicas o inorgánicas que tienen la capacidad de adsorberse fuertemente sobre la superficie metálica, provocando un bloqueo parcial de la superficie y afectando la rapidez de las reacciones que ocurren sobre ella.

---

<sup>4</sup> M.A.INDUSTRIAL, mantenimiento de rodamientos, {En línea}, Disponible en : <http://www.maindustrial.com.ar/es/2008/11/mantenimiento-de-rodamientos/>

6.3.4 Inspección y detección de fallas. Este es un proceso necesario en la gestión de mantenimiento del equipo, la inspección es proceso que debe ser rutinario a nivel superficial para localizar alguna falla grave y de este modo no incrementar el daño evitando que este afecte a otros elementos.

Existen métodos de evaluación e identificación de Fallas los cuales se pueden clasificar en destructivos y no destructivos, algunos de estos de estos métodos son propios de uso en otros campos de conocimiento como lo es la medicina:

- Ensayos destructivos: estos ensayos desprenden una gran variedad los cuales consisten evaluar la pieza hasta su punto de fallo
- Ensayos no destructivos: es la evaluación de una pieza que va a ser utilizada, algunos de estos métodos son las tintas penetrantes, partículas magnéticas, radiografía industrial, ultrasonido, entre otros.

Tras realizar la inspección del sistema de elevación se debe realizar el llenado de un formato de inspección de cada pieza, este formato no solo servirá para crear un cronograma de paros programados, evaluación de fallas, análisis de corrección, sino también para generar una hoja de vida del equipo:

Tabla 16. Formato de inspección del equipo. [O, S y D (ocurrencia, severidad de un falla y habilidad de detectar una falla respectivamente, evaluados en una escala de 1 a 10)]

Elemento:							
Función	Tipo de Falla	impacto	S	Causas potenciales	O	Modo de Detección	D

6.3.5 Mantenimiento Correctivo. En el caso de presentar falla algún elemento del sistema de elevación se debe realizar lo siguiente:

- En caso de que algún elemento de fabricación especializada por algún proveedor falle, como lo son elementos del sistema hidráulico, rodamientos ruedas para riel, rodaduras, bujes, pasadores, guías, etc. Debe comunicarse con el fabricante de dicho elemento para cambio.

- En caso de presentarse una falla en los elementos estructurales o el cuerpo del sistema de elevación, ya sea en elementos como apoyos, soportes, o también en el sistema de desplazamiento, se debe recurrir a los planos de fabricación para rehacer la pieza y por medio del manual de montaje hacer su nueva instalación.

#### 6.4 MANUAL SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

En el sistema de levantamiento de la Tea, debido a que hay una gran interacción del operario con el dispositivo durante el montaje de la tea es muy importante el cumplimiento del presente manual de seguridad y salud ocupacional, a continuación se mostraran las pautas para la realización del trabajo correctamente sin exponerse a un riesgo laboral.

6.4.1 Identificación de Riesgos. Durante la operación del sistema de elevación se pueden presentar varios riesgos laborales que se deben identificar durante la generación y cumplimiento del manual de seguridad y salud ocupacional. Los diferentes riesgos del sistema de elevación se pueden distinguir e identificar en cada uno de los subsistemas que lo compone y cada uno se debe evaluar y tener en cuenta en este numeral.

- Riesgos mecánicos y físicos
  - En el sistema de elevación de la tea se pueden presentar los principales riesgos mecánicos si no se hace el apropiado seguimiento al manual de operación, en el proceso están presentes posibilidad de adquirir lesiones por aplastamiento, cizallamiento, corte, enganche, atrapamiento o arrastre, impacto y perforación.
  - Uno de los riesgos más importantes a evitar es realizar operaciones debajo del tráiler mientras el motor está encendido y la caja de cambios está transmitiendo potencia a la toma de fuerza, las lesiones pueden ser tan graves que pueden causar la muerte.
  - En segunda instancia de debe tener cuidado en el momento del despliegue y manejo de la sección de la tea de 8 metros, pues debido a que esta sección tiene una masa aproximada de 500 kg y teniendo en cuenta que la manipulación se hace con las manos directamente, el manejo de esta carga se debe realizar compartida, realizando este trabajo al menos con tres personas.
  - La caída de objetos en altura siempre es un factor importante, el riesgo es representativo teniendo en cuenta que la altura de la tea es aproximadamente de 20 metros, cualquier objeto mal asegurado puede generar grandes afectaciones a otras máquinas o la seguridad de los mismos operarios.

- Otro factor es la quema controlada del gas, la mal utilización del dispositivo puede generar una llama más grande de lo deseado. Generando afectaciones por temperaturas altas y radiación no ionizante, e incluso cuando la instalación no es la adecuada o el equipo se ha visto afectado en alguna sección habría el riesgo de una explosión.
- Factores de riesgo químico.

Este es un factor con menos probabilidad de presentarse, pero no por ello deja de ser importante, sus afectaciones pueden llegar a ser graves. Cuando se está realizando el montaje de la Tea no hay una manipulación directa de químicos, pero las condiciones del lugar en donde se va a realizar el montaje deben ser las más apropiadas en términos de seguridad, se debe garantizar el aseguramiento de las válvulas que dan paso al gas que va a ser incinerado.

Generalmente el gas de incineración ya ha pasado por otros dispositivos que le han retirado gran cantidad de componentes, como lo es el sello de agua y el knockout-drum, pero cuando se hace una incineración primeriza de gases directamente del pozo hay gran cantidad de sustancias nocivas para la salud (dependiendo del tipo de pozo), las cuales pueden generar lesiones al inhalarse o al contacto.

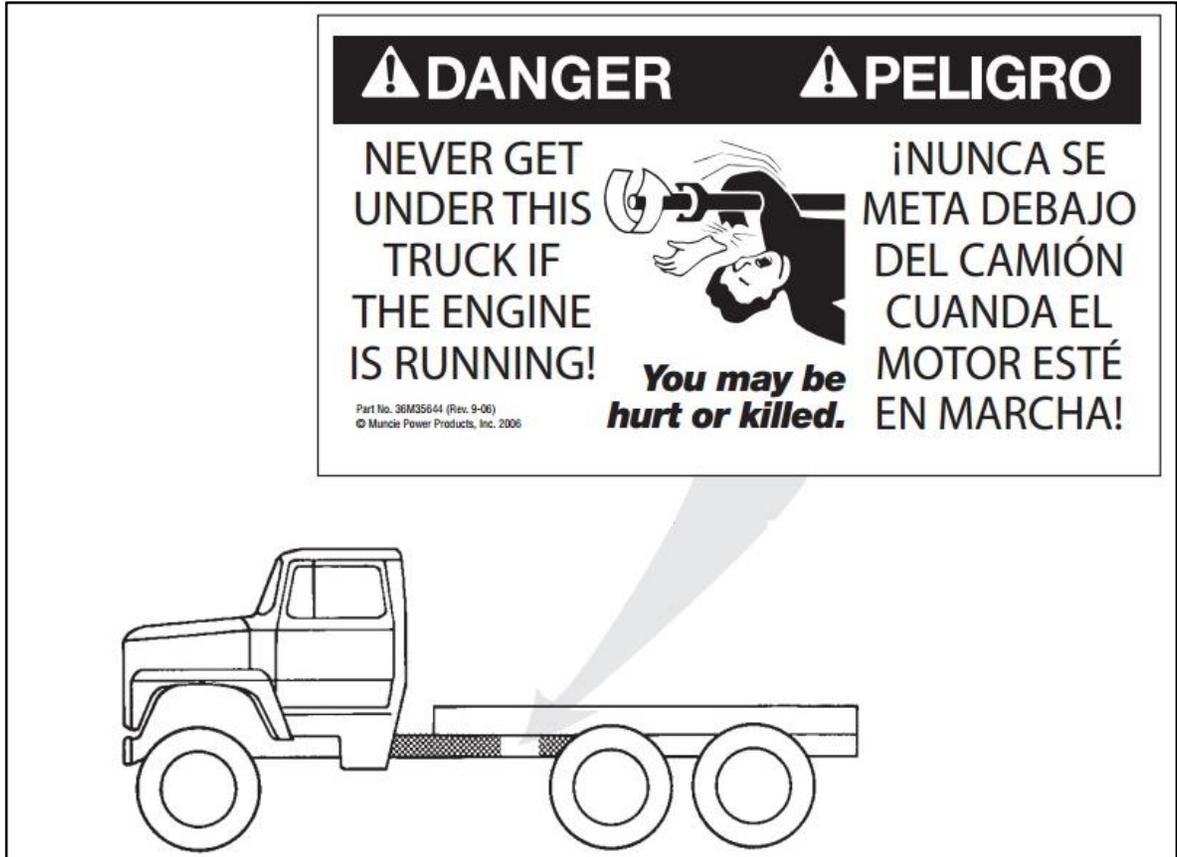
- Factores de riesgo eléctrico

Se refiere a los sistemas eléctricos de las máquinas, equipos, herramientas e instalaciones locativas en general, que conducen o generan energía y que al entrar en contacto con las personas, pueden provocar, entre otras lesiones, quemaduras, choque, fibrilación ventricular, según sea la intensidad de la corriente y el tiempo de contacto. En el sistema de elevación se debe tener en cuenta este factor cuando se realiza la conexión del cableado eléctrico del piloto de ignición de la tea.

6.4.2 Señalización de riesgos. Después de tener identificados los principales riesgos que se pueden presentar en el dispositivo durante su montaje y operación, es importante señalar los puntos críticos y resaltar los posibles riesgos que se pueden presentar, de este modo la operación del sistema de elevación será más segura.

- El primer punto importante que se debe señalar es la toma de fuerza, en donde se debe recalcar el no acercarse a estos mecanismos cuando el motor está encendido.

Ilustración 158. Ajustes y conexiones finales



Fuente: MUNCIE POWER PRODUCTS, Installing IN84-03,  
<<http://www.munciepower.com>>

También es importante resaltar el riesgo no solo a los operadores que trabajan manipulando el dispositivo o los mecanismos directamente, sino también alertar al conductor de no encender el motor cuando se están haciendo operaciones o trabajos debajo del tráiler. El suministro de calcomanías por parte del proveedor facilita el trabajo de señalización. En la figura que está a continuación se muestra la señalización al interior del camión en el cual se resalta tener en cuenta los manuales de operación, instalación y seguridad y salud ocupacional, además de las instrucciones básicas de uso de la toma de fuerza.

Ilustración 159. Señalización al interior del camión

**UNDERSTAND THIS LABEL BEFORE USING POWER TAKE-OFF (PTO). Refer to Owner's Manual in glove box or on the internet at: www.munciepower.com**

**LEA Y COMPRENDE ESTA CALCOMANÍA ANTES DE USAR LA TOMA DE FUERZA. Véase el manual del usuario. Visite el sitio www.munciepower.com**

**WARNING**

**ADVERTENCIA**

**NEVER GET UNDER THIS TRUCK IF THE ENGINE IS RUNNING!**  
Hands, clothes, hair, etc. can get caught on spinning shafts and U-joints.

**YOU MAY BE HURT OR KILLED.**  
It is against Federal Law to try to fix PTO driven machinery if the engine is running. Always turn the engine off. Then, put the keys in your pocket. (OSHA 1910.147)

**¡NUNCA SE META DEBAJO DEL CAMIÓN CUANDO EL MOTOR ESTE EN MARCHA!**  
Cuidese las manos, la ropa, el pelo, etc. cuando la flecha cardán está girando.

**PUEDA LASTIMARSE O SER MUERTO.**  
Está en contra de leyes federales intentar arreglar el equipo manejado por la toma de fuerza cuando el motor está en marcha. En todas circunstancias sin excepción, apague el motor y ponga las llaves en su bolsillo. (OSHA 1910.147)

**HOW TO USE THE POWER TAKE-OFF (PTO)**

**Manual Shift PTOs (including Air Shift)**  
*Manual Transmissions*

1. Push in clutch pedal.
2. Shift transmission into neutral.
3. Engage PTO.
4. Let clutch pedal out.

**Manual Shift PTOs (including Air Shift)**  
*Automatic Transmissions*

1. Let engine idle.
2. Apply brakes, while seated in driver's seat.
3. Place shift selector in any drive range.
4. Engage PTO.
5. Shift transmission to neutral or park.

**Power Shift PTOs**  
*Manual or Automatic Trans.*

1. Let engine idle.
2. Engage PTO with switch.
3. Resume operating speed.

**STATIONARY APPLICATIONS:**  
CHOCK WHEELS BEFORE ENGAGING PTO.

**COMO USAR LA TOMA DE FUERZA**

**ESTACIONARIAS: BLOQUEAR LAS LLANTAS ANTES DE ACTIVAR LA TOMA DE FUERZA.**

**Tomas de fuerza de activación manual (incluye activación neumática)**  
*Transmisiones estándares*

1. Pise el embrague
2. Cambie la transmisión a neutral
3. Activa la toma de fuerza
4. Desembragar

**Tomas de fuerza de activación con embrague**  
*Transmisiones estándares o automáticas*

1. Prende el motor. No aumenta velocidad o RPM
2. Activa la toma de fuerza con el interruptor
3. Aumenta las RPM a la velocidad de operación deseada

**Transmisiones automáticas**

1. Prende el motor. No aumenta velocidad o RPM
2. Frene mientras está sentado en la silla del conductor
3. Cambia la transmisión a marcha (cualquier velocidad)
4. Activa la toma de fuerza
5. Cambia la transmisión a neutral o aparcamiento

**THIS VEHICLE IS EQUIPPED WITH A POWER TAKE-OFF**

**READ AND UNDERSTAND OPERATOR'S MANUAL BEFORE USING THIS MACHINE.**

**FAILURE TO FOLLOW OPERATING INSTRUCTIONS COULD RESULT IN DEATH OR SERIOUS INJURY.**

**ESTE VEHICULO ESTA EQUIPADO CON UNA TOMA DE FUERZA**

**IMPORTANTE. FAVOR DE LEER Y CONSULTAR EL MANUAL DE OPERACION ANTES DE OPERAR Y MANEJAR ESTA UNIDAD.**

**EL NO SEGUIR LAS INSTRUCCIONES DE OPERACION PUEDE RESULTAR EN HERIDAS PERSONALES O EN LA MUERTE.**

© Muncie Power Products, Inc. 2006 Part No. 36M35652 (Rev. 9-06)

Fuente: MUNCIE POWER PRODUCTS, Installing IN84-03,  
<<http://www.munciepower.com>>

- Señalización de riesgo mecánico: esta señalización deberá mostrar las piezas móviles del dispositivo, se deberá disponer de señalización en puntos clave como lo son en las uniones o acoples de las secciones de la Tea de 8 metros y 10 metros, en el sistema de deslizamiento, acople de la Tea y el sistema de desplazamiento.

Ilustración 160. Señalización de riesgo mecánico



Fuente: PROLAE, Riesgos de trabajo con máquinas, <<http://www.prolae.com>>

Ilustración 161. Señalización de elevación de Carga



Fuente: PROLAE, Riesgos de trabajo con máquinas, <<http://www.prolae.com>>

- Señalización en la conexión de la tea. Para una correcta manipulación del equipo se debe conocer no solo para el montaje sino también para el desmontaje la señalización del gas de quema.

Ilustración 162. Señalización de Gas inflamable



Fuente: ASIMET, Manual de sustancias peligrosas, clasificación e información de riesgos, <[http://www.asimet.cl/pdf/msp\\_ACHS.pdf](http://www.asimet.cl/pdf/msp_ACHS.pdf)>

6.4.3 Señalización de obligación y prohibición. Estas señales mejorarán y contribuirán con el buen manejo del manual de seguridad y salud ocupacional, proporcionando un patrón de disciplina y concienciación de los riesgos laborales.

- Uso de implementos de seguridad. El buen uso de los implementos de seguridad reducirán el daño proporcionado ante alguna eventualidad o accidente al operario o demás personas que se encuentren en el área.

Ilustración 163. Señalización de implementos obligatorios para el uso del equipo



Fuente: UNIVERSIDAD DE CADIZ, Señalización de seguridad, [En línea], Disponible en: <http://ciencias.uca.es/conocenos/seguridad/senales>

- Otro aspecto fundamental a señalar son las prohibiciones que no están relacionadas con la operación pero que pueden generar riesgos muy representativos como es el uso de cigarrillos, elementos incendiarios y el paso de peatones durante la elevación de la tea.

Ilustración 164. Señalización de prohibiciones.

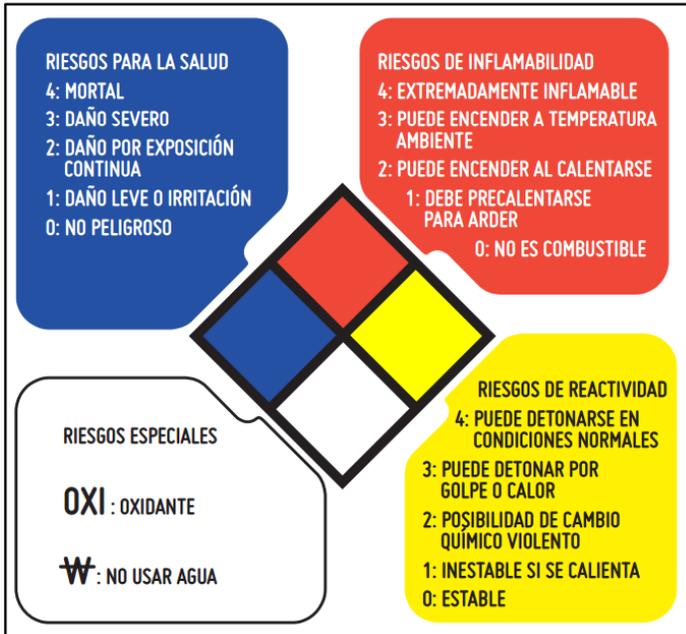


Fuente: UNIVERSIDAD DE CADIZ, Señalización de seguridad, <<http://ciencias.uca.es/conocenos/seguridad/senales>>

6.4.4 Recomendaciones. A continuación se describen unas pautas para mejorar los procedimientos descritos anteriormente en el manual.

- Verificar en el punto de instalación la caracterización del gas de quema (si está disponible), si está identificado usar las recomendaciones que requieren dicho gas para su correcta manipulación.

Ilustración 165. Identificación de material de riesgo.



Fuente: ASIMET, Manual de sustancias peligrosas, clasificación e información de riesgos, < [http://www.asimet.cl/pdf/msp\\_ACHS.pdf](http://www.asimet.cl/pdf/msp_ACHS.pdf)>

- Verificar la estabilidad del terreno para realizar el montaje.
- Revisar que todas la conexiones y aseguramientos de la tea se hayan retirado para el desmontaje, ya que los daños del equipo o accidentes de trabajo pueden ser representativos
- Verificar los permisos concedidos de tránsito y acogerse a los requerimientos que se expiden por seguridad en el tránsito de carreteras.
- Se recomienda evaluar las aptitudes de los operarios para realizar los trabajos que se requieren.

## 7. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

Para el presente capítulo se evaluarán los aspectos que impactarán en el ambiente desde su construcción hasta su operación, lo cual significa que se hará una estimación no solamente relacionada con el diseño del proyecto el cual solo abarca el sistema de levantamiento de una Tea y no el diseño de la antorcha, el sistema ignición y demás componentes que hacen parte de una Tea. Para hacer una correcta evaluación del impacto ambiental satisfactoria, en primera instancia se deberá evaluar cada segmento del sistema de elevación de una tea que pueda afectar en cierto modo la normatividad ambiental, se evaluará cada aspecto representativo desde su fabricación, al transporte y su operación.

Este Proyecto se caracteriza porque uno de los requerimientos de la utilización de las Teas es la protección ambiental, su utilización paradójicamente, al quemar gases se reduce su impacto ambiental y reduce riesgos de salud a poblaciones aledañas al optar por quemar los gases y no liberarlos directamente a la atmósfera, mas no significa que el impacto ambiental sea mínimo. El sector petrolero y minero son los sectores que más impacto tienen sobre el medio ambiente debido a la escala con que se realiza dichas actividades, y la gran cantidad de agua que requieren estos procesos. Son varias normatividades las que actualmente existen y regulan la actividad de quema de gases y además son distintas entidades las que regulan cada procedimiento realizado en el sector petrolero buscando un equilibrio entre la prosperidad del sector industrial como la protección del ambiente, recursos naturales y sus posibles afectaciones a comunidades cercanas al punto de operaciones.

La agencia nacional de hidrocarburos (ANH) es una de las entidades más representativas en la regulación e inspección de la actividad petrolera la cual establece un puente de comunicación con el gobierno nacional, las gobernaciones locales, la empresa que opera y las comunidades que se puedan ver afectadas por la actividad, por otro lado el Ministerio de Minas y Energía inspecciona y controla el cumplimiento de toda normatividad que regule la explotación de recursos hidrocarburos. Entre las normatividades que más se destacan son:

- DECRETO 948 DE 1995, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.
- RESOLUCIÓN NUMERO 532 (26 DE ABRIL DE 2005), por la cual se establecen requisitos, términos, condiciones y obligaciones, para las quemas abiertas controladas en áreas rurales en actividades agrícolas y mineras.
- Norma API 521 sistemas de alivio de presión y de despresurización

## 7.1 ASPECTOS VALORATIVOS AMBIENTALES

Para esta evaluación ambiental se van a evaluar tres aspectos que pueden afectar el medio ambiente, para este sistema de elevación de una Tea los aspectos valorativos están presentes en; fabricación, transporte, montaje y operación.

- Sistema de elevación.

Fabricación: durante el proceso de fabricación de este dispositivo se presentan varios procedimientos en los cuales se implementan diferentes componentes para el procesamiento de las materias primas, consumo de energía, aplicación de soldaduras, Galvanizado, recubrimientos especiales, adición de inhibidores de corrosión al medio electrolítico y pintura. Estos componentes generalmente producen afectaciones ya sea de salud o contaminación a recursos naturales

- En el caso de realizar un galvanizado en las piezas, en algunos casos (dependiendo el método), donde el uso de ácido clorhídrico se realiza en grandes cantidades, es un riesgo alto la contaminación de fuentes hídricas. De este modo el uso de agua para el lavado de sellos hidráulicos y de las piezas es alto.
- En la transformación de las materias primas, al hacer uso de altas cantidades de material férreo como aceros, en su producción se liberan grandes cantidades de dióxido de carbono y azufre a la atmósfera.
- Este diseño se caracteriza por el alto uso de soldadura proporcionada por un electrodo E-70 para aceros ASTM de estructuras para puentes, esta soldadura al momento de aplicarla genera humos metálicos procedentes del material a soldar, algunos de los contaminantes que se liberan son óxidos de hierro, cromo, aluminio, níquel cobre y plomo.
- En el proceso de pintura, hay dos formas en las que puede haber impacto ambiental, un modo es cuando se realiza la aplicación de la pintura por medio de aerosol, generando contaminación por diversas sustancias en el aire, como óxidos de azufre y nitrógeno, monóxido de carbono, material compuesto por partículas, y compuestos orgánicos volátiles (COV)

Transporte: la contaminación de este aspecto se debe a la combustión del motor diésel, esta contaminación al ambiente se realiza en dos momentos, durante el transporte del sistema de elevación y cuando por medio de la toma de fuerza se realiza el montaje de la Tea.

Tabla 17. Componentes de los gases de la combustión en motores

COMPONENTES DE LOS GASES DE ESCAPE	CONTENIDO MAX. EN VOLUMEN (%)		OBSERVACIONES
	GASOLINA	DIESEL	
NITROGENO	74.0 - 77.0	76.0 - 78.0	NO TOXICO
OXIGENO	0.3 - 0.8	2.0 - 18.0	NO TOXICO
VAPOR DE AGUA	3.0 - 5.5	0.5 - 4.0	NO TOXICO
DIOXIDO DE CARBONO	5.0 - 12.0	1.0 - 10.0	NO TOXICO
MONOXIDO DE CARBONO	0.1 - 10.0	0.01 - 0.5	TOXICO
OXIDO NITRICO	0.1 - 0.5	0.001 - 0.4	TOXICO
HIDROCARBUROS NO CANCERIGENOS	0.2 - 3.0	0.009 - 0.5	TOXICO
ALDEHIDOS	0.0 - 0.2	0.001 - 0.009	TOXICO
DIOXIDO DE AZUFRE	0.0 - 0.002	0.0 - 0.003	TOXICO
HOLLIN (g/M3)	0.0 - 0.04	0.01 - 1.1	TOXICO
BENZOPIRENO	HASTA 20.0	HASTA 10.0	CANCERIGENO

Fuente: Emisiones de motores de combustión interna, Universidad San Agustín de Arequipa.

Montaje de la Tea: cuando se pone en marcha el sistema de elevación para realizar el montaje de la Tea existen algunos aspectos que pueden afectar el entorno, como lo es el vertimiento de aceites en recursos naturales como fuentes hídricas.

## 7.2 CRITERIOS DE EVALUACIÓN.

A continuación se describirán los aspectos que se evaluarán en la matriz evaluativa del impacto ambiental:

- Impacto atmosférico: se refiere a la cantidad de elementos contaminantes que son liberados a la Atmósfera y el nivel de afectación que tiene sobre esta
- Impacto a recursos naturales: en este ítem se evalúa para determinar el nivel de daño que puede generar la interacción del equipo con los diferentes recursos naturales, ya sea hídricos o modificación del paisaje ecológico.
- Impacto social: se evaluará el impacto positivo o negativo que puede generar en la población, dependiendo de los intereses de los actores, afectaciones de salud y de recursos.
- Impacto a la Flora y Fauna: en este aspecto se evaluará los cambios a la biodiversidad que se pueden generar en la interacción de los equipos y a la

actividad con el entorno, afectando en ambos modos la flora y la fauna ya sea directa o indirectamente.

- Impacto Litosférico. Se evaluará el detrimento de los suelos, aumento de los fenómenos erosivos, pérdida de riqueza ecológica.
- Impacto Económico: se refiere a la estimación del valor monetario representativo que se le asigna para considerar el valor de reparación a los diferentes factores mencionados que se ven afectados por el impacto ambiental.

#### Caracteres evaluativos

Para evaluar cada impacto de los nombrados anteriormente se considerará tres caracteres evaluativos:

- **Intensidad (I).** se refiere este factor al nivel de gravedad en que se ve afectado el eje ambiental, este aspecto evalúa el grado de afectación y se estimará con un valor numérico de 1 a 5, en la tabla que está a continuación muestra la estimación numérica frente al nivel de intensidad y frente a la connotación del nivel mostrado.

Tabla 18. Nivel de Intensidad

Intensidad		
Nivel	Valor numérico	Connotación del nivel
Muy bajo	1	Daño Nulo
Bajo	2	Daño Leve
Medio	3	Daño medio
Alto	4	Daño moderado
Muy alto	5	Daño Grave

- **Periodicidad (PR).** este ítem se refiere a la frecuencia con que se incurre a un impacto ambiental debido a la actividad a evaluar, este aspecto evalúa el grado regularidad con que se efectúa la actividad que afecta el criterio de impacto ambiental, y se estimará con un valor numérico de 1 a 5. La tabla que está a continuación muestra la estimación numérica frente al nivel de Periodicidad y frente a la connotación del nivel mostrado.

Tabla 19. Nivel de periodicidad.

<b>PERIODICIDAD</b>		
<b>Nivel</b>	<b>Valor numérico</b>	<b>Connotación del nivel</b>
inusual	1	semestral
Poco frecuente	2	mensual
Medio	3	semanal
Frecuente	4	Diario medio día
Muy frecuente	5	Diario 24 horas

- Reversibilidad (RV). Este factor evaluará la factibilidad de revertir un impacto negativo en el ambiente, de acuerdo a las posibilidades físicas, tecnológicas y demás recursos necesarios para poder revertir un daño ambiental. Este aspecto evaluará cada ítem de los criterios de impacto ambiental, caracterizando su nivel de reversibilidad, y se estimará con un valor numérico de 1 a 5. La tabla que está a continuación muestra la estimación numérica frente al nivel de reversibilidad y frente a la connotación del nivel mostrado.

Tabla 20. Nivel de reversibilidad

<b>REVERSIBILIDAD</b>		
<b>Nivel</b>	<b>Valor numérico</b>	<b>Connotación del nivel</b>
inusual	1	semestral
Poco frecuente	2	mensual
Medio	3	semanal
Frecuente	4	Diario medio día
Muy frecuente	5	Diario 24 horas

- **Significancia (S)**

Este es un parámetro evaluativo que permite analizar los aspectos más relevantes y representativos en el impacto ambiental con respecto a los caracteres evaluativos mencionados anteriormente. La significancia está dada por:

$$S = (I + PR + RV)$$

A través de la siguiente estimación se podrá tener una perspectiva de los aspectos que más afectan el entorno de desarrollo de la actividad del equipo. A continuación en la siguiente tabla se estimará con un rango numérico en cuatro diferentes escalas (3-4, 5-8, 9-12, 13-15) y a medida que mayor sea la escala en la cual se caracteriza la significancia, mayor criticidad tendrá el ítem, además se

muestra la estimación del rango numérico frente al nivel de significancia y frente a la connotación del nivel mostrado.

Tabla 21. Nivel de Significancia

<b>Significancia</b>		
<b>Nivel</b>	<b>Rango numérico</b>	<b>Connotación del nivel</b>
Bajo	3 - 4	Irrelevante
Medio	5 - 8	Moderado
Alto	9 - 12	Severo
Muy alto	13 - 15	Critico

### 7.3 EVALUACIÓN MATRICIAL

El paso final que se debe realizar es desarrollar la evaluación matricial tanto en el sistema de elevación de la Tea como en la Tea.

Tabla 22. Matriz impacto sistema de elevación de una tea

<b>Impacto sistema de elevación de una tea</b>												
<b>Impacto</b>	<b>Fabricación</b>				<b>Transporte</b>				<b>Montaje</b>			
	<b>Intensidad</b>	<b>Periodicidad</b>	<b>Reversibilidad</b>	<b>Significancia</b>	<b>Intensidad</b>	<b>Periodicidad</b>	<b>Reversibilidad</b>	<b>Significancia</b>	<b>Intensidad</b>	<b>Periodicidad</b>	<b>Reversibilidad</b>	<b>Significancia</b>
Atmosférico	3	2	2	<b>7</b>	1	1	2	<b>4</b>	1	1	3	<b>5</b>
Recursos naturales	4	4	1	<b>9</b>	2	2	3	<b>7</b>	3	1	4	<b>8</b>
Social	2	2	1	<b>5</b>	1	1	1	<b>3</b>	3	2	3	<b>8</b>
Flora y Fauna	3	2	3	<b>8</b>	2	1	2	<b>5</b>	1	1	1	<b>3</b>
Litosférico	4	2	3	<b>9</b>	2	2	2	<b>6</b>	1	2	1	<b>4</b>
Económico	3	2	3	<b>8</b>	1	2	3	<b>6</b>	1	1	2	<b>4</b>
	<b>Total</b>			<b>46</b>	<b>Total</b>			<b>31</b>	<b>Total</b>			<b>32</b>

De acuerdo al desarrollo de las matrices de impacto ambiental se puede deducir que la fabricación es el aspecto más contaminante en el sistema de elevación de la Tea, pero se puede deducir que es aún mucho mayor el impacto ambiental que genera la operación de la Tea al incinerar gases provenientes de los pozos petroleros en análisis y prueba.

## 8. EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO

En este capítulo se evaluará el nivel de rentabilidad de la construcción del equipo, este es un aspecto muy importante ya que determina la viabilidad del proyecto para la empresa que ideó este dispositivo y así en la fabricación de un sistema de elevación de una tea portátil para el quemado de gases de pozos petroleros de prueba se determinará si el balance de todos los ítems que representan un rubro para efectuar dicho proceso, generará beneficios a corto o mediano plazo.

### 8.1 GENERALIDADES DE LA ACTIVIDAD EXPLORATORIA DE HIDROCARBUROS Y SU MERCADO

Al principio de este documento se explicaron algunas razones que justifican el diseño y fabricación del dispositivo, se ha descrito al principio de este proyecto la importancia de la actividad exploratoria de hidrocarburos en el sector petrolero, el cual este es un tema de importancia en la actualidad, en el mes de mayo del presente año (2016) el sector petrolero declaró que el país podría perder la autosuficiencia petrolera y de no invertir significativamente en el sector; "De no revertirse esta tendencia, en el 2022 la producción podría ubicarse por debajo de los 400.000 barriles promedio diario, lo que significa que para completar las cargas de las refinerías de Cartagena y Barrancabermeja sería necesario importar crudo"<sup>5</sup>, señaló la ACP.

Gran parte de la inversión necesaria para mejorar el panorama en el sector petrolero se debe invertir en la exploración, la cual no ha sido lo esperado en lo corrido del 2016 a lo que el ACP atribuye una inversión de solo 620 millones de dólares en exploración. "Entre los posibles financiadores de la exploración pueden estar los fondos de capital privado. Todo depende del Gobierno. Una de las propuestas que estudia la Agencia Nacional de Hidrocarburos es permitir que estos inversionistas pongan el dinero y se asocien con compañías operadoras. Sin embargo, todavía no se han modificado las reglas para permitir esta clase de alianzas y la industria está a la expectativa sobre las condiciones económicas que ofrezca el regulador".<sup>6</sup>

La interrelación de estas actividades están descritas al patrón del mercado mundial en donde las afectaciones del precio del barril de petróleo han afectado directamente la producción en Colombia y se puede denotar el decrecimiento que coincide justo cuando el valor del barril de petróleo estuvo muy depreciado y el dólar muy valorizado. En la figura que esta continuación se muestra los tres

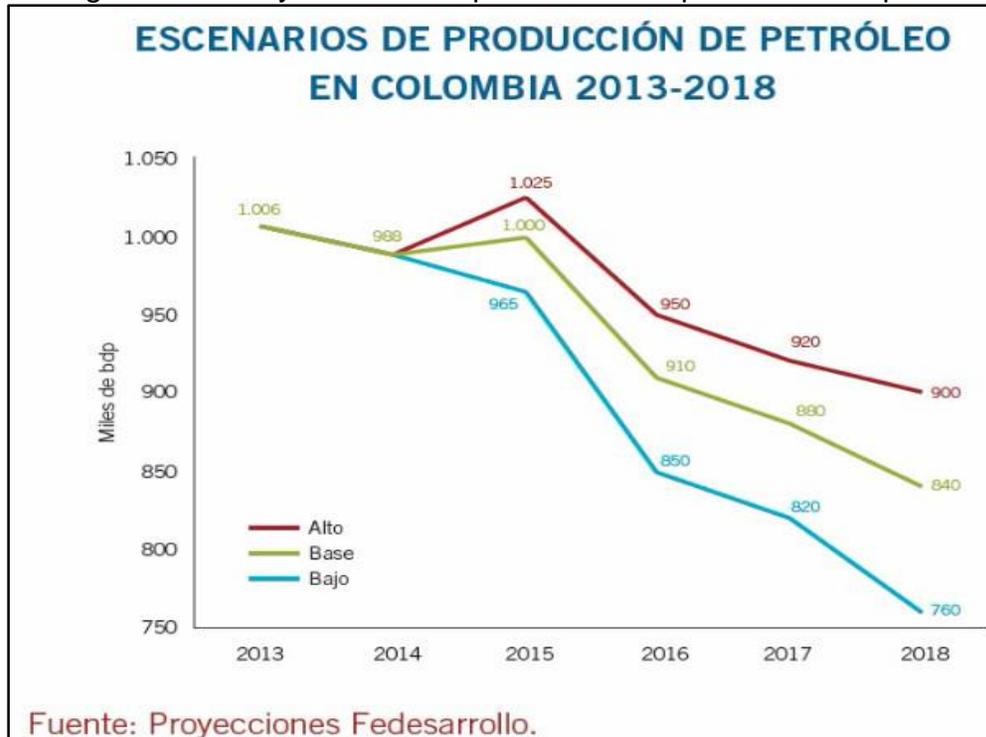
---

<sup>5</sup> EL TIEMPO, Producción de petróleo en Colombia, [En Línea], Disponible en; <http://www.eltiempo.com/economia/indicadores/produccion-de-petroleo-en-colombia-en-2016/16608567>

<sup>6</sup> REVISTA DINERO, Inversionistas, [en Línea] Disponible en: <http://www.dinero.com/inversionistas/articulo/la-petrolera-que-quiere-subir-apuesta-de-exploracion-en-colombia/223636>

escenarios esperados para los próximos años hasta el 2018, en la cual se hace una caracterización de tres comportamientos, alto bajo y base.

Figura 148. Proyección de la producción de petróleo en el país



Fuente: PORTAFOLIO, finanzas, ¿Cómo debería ajustarse la economía colombiana?, <http://www.portafolio.co/economia/finanzas/deberia-ajustarse-economia-colombiana-32276>

En el marco de la Agencia Nacional de Hidrocarburos, el 11 de marzo del 2016 se dio a conocer las asignaciones de áreas para exploración de hidrocarburos, estas asignaciones están compuestas por un total de 849 áreas a lo largo del territorio nacional que mediante un proceso solicitud las empresas aplican para las áreas disponibles para la celebración de contratos en las diferentes cuencas sedimentarias del país. De este reporte cabe recalcar que de estas áreas 23 se encuentran en evaluación Técnica con la agencia nacional de hidrocarburos por contrato de TEA, y 409 áreas son de exploración nuevas.

Ante este panorama de oportunidad de mercado para los sistemas de elevación de Teas se puede esperar resultados muy favorables en la comercialización de este equipo, para determinar la viabilidad financiera de este proyecto se realizara por medio del Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), y se analizaran los beneficios que se pueden obtener de este dispositivo. Por lo tanto su análisis se realizara desde el punto de vista del fabricante

## 8.2 COSTO DE LOS MATERIALES DE FABRICACIÓN

Para conocer el verdadero beneficio del proyecto y determinar su viabilidad es necesario conocer todos los costes que requieren la totalidad del dispositivo, inicialmente lo que se debe conocer es la cantidad exacta de cada material el valor unitario y así conocer un valor global de toda la materia prima. En la tabla que está a continuación se muestra la cantidad necesaria de una unidad de un sistema de elevación de una Tea móvil.

Tabla 23. Ítems para la construcción

Ítem	Cant.	Medida	Valor unitario	Valor total
Tubo Schedule 40, Diam. 10 Pulg.	18,5	metros	390.000	\$ 7.215.000
Brida 150 Lbs W.N. 10 Pulg	5	Unidades	175.000	\$ 875.000
Acero 15,88 mm ASTM A572	14,8	(m <sup>2</sup> )	470.000	\$ 6.956.000
Viga Perfil IPN 160	1,1	Metros	167.000	\$ 183.700
Viga Perfil IPN 80	1,2	Metros	185.000	\$ 222.000
Tubo en cobre 1 ½ Pulg.	18	Metros	25.000	\$ 450.000
Cable de B.T. Cal. 3/0 AWG	22	metros	14.000	\$ 308.000
Tornillo DIN 6914 calid 10.9 Zincado	36	Unidades	3.500	\$ 126.000
Tuerca Din 6914 ø24 mm	36	Unidades	3.500	\$ 126.000
Arandela 24 mm	72	Unidades	1.000	\$ 72.000
Llantón 60-30 (bh)	8,8	metros	30.000	\$ 264.000
Perfil cuadrado SHS 40x40x3	3,5	metros	37.000	\$ 129.500
Perfil Rectangular RHS 80x60x5	103	metros	48.000	\$ 4.944.000
Rueda para riel DIN 15049 D 160.	4	Unidades	140.000	\$ 560.000
Ruedas para puente grúa PTW020	4	Unidades	60.000	\$ 240.000
Rodamiento bearing GB/T 283	4	Unidades	21.000	\$ 84.000
Mandos Hidráulicos	2	Unidades	136.000	\$ 272.000
Cilindro Hidráulico øe = 100mm øv=70mm C=2000mm	1	Unidad	4.800.000	\$ 4.800.000
Cilindro Telescópico 4 Etapas, C=156 Pulg.	1	Unidad	9.800.000	\$ 9.800.000
Tanque para aceite	1	Unidades.	200.000	\$ 200.000
Válvula 4/n vías	2	Unidades	66.000	\$ 132.000

Tabla 26. (Continuación)

Ítem	Cant.	Medida	Valor unitario	Valor total
Válvula anti retorno estranguladora	4	Unidades	74.600	\$ 298.400
Válvula de Retención Pilotada	1	Unidad	64.000	\$ 64.000
Caudalímetro analógico	2	Unidades	135.000	\$ 270.000
Aparato de medición de Presión	2	Unidades	145.000	\$ 290.000
Toma de Fuerza	1	Unidad	310.000	\$ 310.000
Acople	1	Unidad	60.000	\$ 60.000
Bomba de desplazamiento positivo 37 L/min	1	Unidad	530.000	\$ 530.000
Manguera para presión nominal de trabajo 160 Bar	23	Metros	58.000	\$ 1.334.000
Pasador + buje + asegurador para Diámetro 42 mm	1	Unidad	65.000	\$ 65.000
Pasador + buje + asegurador para Diámetro 34,5 mm	1	Unidad	60.000	\$ 60.000
Pasador + buje + asegurador cilindro hidráulico ø 50	1	Unidad	70.000	\$ 70.000
Pasador + buje + asegurador cilindro hidráulico ø 63	1	Unidad	77.000	\$ 77.000
Pasador + buje + asegurador cilindro telescópico ø 50 mm	1	Unidad	75.000	\$ 75.000
Aluminio perfil en LD 40x4	17	metros	38.500	\$ 654.500
Aluminio 4 mm esp.	3	(m <sup>2</sup> )	240.000	\$ 720.000
Arnés para anclaje	8	unidad	25.000	\$ 200.000
Tensor para guaya	4	unidad	35.000	\$ 140.000
Patas estabilizadoras hidráulicas	4	unidad	280.000	\$ 1.120.000
Sistema de incineración de gases	1	unidad	6.800.000	\$ 6.800.000
Tráiler convencional para Contenedores	1	Unidad	11.500.000	\$ 11.500.000
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 62.597.100</b>

### 8.3 COSTO MANO DE OBRA

Para la fabricación un ítem importante para tener en consideración en la evaluación del costo por una unidad de un sistema de elevación de una Tea móvil es el valor que genera la mano de obra por cada una de las personas que intervienen en la construcción del proyecto.

Para realizar dicho análisis se debe tener en cuenta el número de personas que intervienen por cargo, para así determinar el costo por hora requerida de trabajo en el sistema de elevación de acuerdo al salario que devenga cada uno.

Tabla 24. Costo de mano de obra por dispositivo

<b>Cargo</b>	<b>Cant.</b>	<b>Salario Mensual</b>	<b>Horas requeridas</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor por dispositivo</b>
Auxiliar de metalmecánica	3	689.454	36	\$ 3.315	\$ 477.314
Operario torno	2	750.000	40	\$ 3.606	\$ 288.462
Operario corte laser	1	850.000	40	\$ 4.087	\$ 163.462
Operario punzonado ángulo y chapa	1	800.000	38	\$ 3.846	\$ 146.154
Operario doblez de chapa	1	800.000	40	\$ 3.846	\$ 153.846
Soldador	3	1.050.000	44	\$ 6.490	\$ 571.154
Auxiliar de pintura	2	750.000	36	\$ 4.087	\$ 294.231
Ensamblador	3	689.454	37	\$ 3.315	\$ 490.573
Asistente de compras	1	1.200.000	28	\$ 5.769	\$ 161.538
Analista de facturación y cartera	1	1.800.000	36	\$ 8.654	\$ 311.538
Representante de ventas	1	900.000	39	\$ 4.327	\$ 506.250
Supervisor de producción	1	2.000.000	57	\$ 9.615	\$ 548.077
Ingeniero de diseño	1	2.500.000	32	\$ 12.019	\$ 384.615
Gerente de producción	1	4.000.000	57	\$ 19.231	\$ 1.096.154
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 5.593.368</b>

#### 8.4 COSTO DE LA INVESTIGACIÓN

En esta sección se estimará el valor que refleja la investigación sobre el proyecto, en la tabla que está a continuación se muestra cada uno de los ítems que tienen valor influyente en la investigación del presente proyecto.

Tabla 25. Tabla de costo de la investigación

ITEMS	UNIDAD	CANTIDAD	VR/ Unidad	TOTAL (\$)	FUENTE FINANCIADORA
<b>Talento Humano</b>					
Proyectista	Hora	360	7.000	2'520.000	Proyectista
Orientador	Hora	32	12.000	384.000	Universidad de América
<i>Total Talento Humano(\$)</i>				2'904.000	
<b>Gastos Maquinaria y Equipos</b>					
Computador	Unidad	1	1.599.000	1.599.000	proyectista
Uso lic. inventor	Hora	168	3.000	504.000	proyectista
Uso licencia NX siemens 8.0	Hora	48	2.500	120.000	proyectista
Uso lic. FluidSim	Hora	36	2.500	90.000	proyectista
<i>Total Maquinaria y Equipo(\$)</i>				2'313.000	
<b>Fungibles</b>					
Libros	Unidad	5	250.000	1'250.000	Proyectista
Papel	Resma	5	9.000	45.000	Proyectista
Impresiones	Resma	5	40.000	200.000	Proyectista
<i>Total Fungibles(\$)</i>				1'495.000	
<b>Otros Gastos</b>					
Transporte terrestre	Pasajes	48	2.500	120.000	Proyectista
<i>Total Otros Gastos(\$)</i>				120.000	
TOTAL ANTES DE IMPREVISTOS			\$ 6'832.000		
Imprevistos 5 %			\$ 341.400		
COSTO TOTAL DE LA INVESTIGACION			\$ 7'173.400		

## 8.5 COSTO TOTAL DE LA FABRICACIÓN

Una vez obtenidos los costos totales de los materiales de la fabricación, mano de obra y costo de la investigación se procede a conocer el costo total de la fabricación, en la siguiente tabla se muestra la sumatoria de los valores que componen el costo total de fabricación.

Tabla 26. Estimación del costo total de la fabricación

No.	Ítem de rubro	Valor
1	Materiales para la fabricación	\$ 62.597.100
2	Mano de obra	\$ 5.593.368
3	Investigación	\$ 7.173.400
	<i>Sub Total</i>	\$75.363.868
4	<i>Imprevistos 6%</i>	\$4.521.832
	<i>Total</i>	\$79.885.700

## 8.6 DEPRECIACIÓN DEL EQUIPO

El proyecto de este equipo será evaluado financieramente con una vida útil de 10 años, esta vida útil dependerá del correcto uso del manual de operación, y realizando los procedimientos de mantenimiento preventivo recomendados. Para analizar la depreciación del equipo es importante conocer el valor comercial del equipo por el cual una empresa del sector hidrocarburos podrá acceder a ella.

Para conocer el costo de venta se estima que la empresa para suplir deberes administrativos, impuestos, gestión de mercadeo se debe poner una meta de ganancia del 40% sobre el costo total de fabricación.

$$\text{Valor comercial} = \text{costo total de Fabricacion} + 40 \%$$

$$V.C. = 79.885.700 + (79.885.700 * 0.4)$$

$$V.C. = 111.839.980 \cong 112'000.000 \text{ COP}$$

Ahora se procede a realizar el análisis de la depreciación del equipo el cual está dado por el número de años de vida útil:

$$D_{LR} = \frac{C_b - V_s}{n}$$

Donde:  $D_{LR}$  Es la depreciación del equipo,  $C_b$  Es el Costo básico del equipo,  $V_s$  Es el valor de salvamento y  $n$  Es la vida depreciable del activo en años.

Para el presente equipo se fija un valor de salvamento de 25 millones como un valor de intercambio o de mercado al final de la vida útil, para el costo básico del equipo que equivale al valor comercial o de adquisición es de 112 millones, y se realizará el análisis para un lapso de 10 años.

$$D_{LR} = \frac{112.000.000 - 25.000.000}{10}$$

$$D_{LR} = \$ 8.700.000$$

La depreciación de este equipo equivale a un valor aproximado de \$8.700.000 por año a partir de su adquisición tasado en su costo inicial, teniendo esta disminución de valor del activo debido al uso del equipo.

## 8.7 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

En la presente sección se pretende evaluar todos los costos que se generan mensualmente que están ligados a la operación y al mantenimiento del equipo, cada uno de estos aspectos generará una afectación en el flujo de caja asumida por el usuario del equipo, estos costos se deberán tener en cuenta para la determinación de viabilidad financiera del proyecto ya que generan una afectación de rubro a la empresa poseedora del dispositivo y son aspectos que darán una estimación real de costo-beneficio.

- Operación

Los costos que se generan por operación es el primer ítem que se examinará de los costos que puede generar mes a mes como se muestra en la tabla que está a continuación, para su determinación se utilizarán tres componentes; talento humano, consumibles y costos por transporte, cada uno de los siguientes aspectos denota la relación directa que existe entre el uso y su costo requerido para la utilización.

Tabla 27. Costos de operación por mes.

ITEMS	UNIDAD	CANTIDAD	VR/ Unidad (\$)	TOTAL (\$)
<i>Talento humano</i>				
Conductor	Persona	1	\$970.000	\$970.000
Ayudante de carga	Persona	1	\$750.000	\$750.000
Asistente de instalación	Persona	1	\$689.454	\$689.454
Operador de la Tea	Persona	1	\$1.100.000	\$1.100.000
<i>Total Talento Humano(\$)</i>				\$3.509.454
<i>Consumibles</i>				
ACPM - Diésel	Galón	85	\$7.890	\$670.650
Gas para ignición	Recarga Tanque	2	\$70.000	\$140.000
cercha	metros	12	\$1.000	\$12.000
Set de empaques	PAQ X 2	2	\$7.000	\$14.000
<i>Total consumibles (\$)</i>				\$836.650
<i>Transporte</i>				
Permiso de tránsito de maq. pesada	Und.	1	\$137.500/mes aprox.	\$137.500/mes aprox.
Peajes	Und.	6 aprox.	\$42.000 prom.	\$252.000
<i>Total costo por concepto de transporte</i>				\$389.500
Subtotal			\$4.735.604	
Imprevistos 7%			\$331.492	
Total			<b>\$5.067.096</b>	

- Mantenimiento

En este ítem se contemplarán los procedimientos rutinarios de mantenimiento preventivo, mas no se tendrá en cuenta los mantenimientos correctivos los cuales pueden incurrir en costos muy altos, y su determinación de cuándo y cómo son estudios más detallados que no se incluyen en el estudio financiero del equipo.

A continuación se muestran los costos que componen el mantenimiento del equipo mensualmente.

Tabla 28. Costo de mantenimiento

ITEMS	UNIDA D	CAN T	VR/ Unidad	TOTAL (\$)
<i>Talento humano</i>				
Auxiliar de mantenimiento	Person a	1	\$950.000	\$950.000
<i>Repuestos</i>				
Concepto por repuestos consumibles: rodamientos, grasa, elementos de remoción de contaminantes.	Varia N/A	N/A	\$150.000 Aprox.	\$150.000
<i>Subtotal</i>		\$1.100.000		
<i>Imprevistos 13%</i>		\$143.000		
<i>Total</i>		<b>\$1.243.000</b>		

## 8.8 INGRESOS

La evaluación financiera de este proyecto se desarrolla en el escenario cuando una empresa del sector de hidrocarburos que realiza servicios de exploración, adquiere el sistema de elevación de una Tea móvil. Por ende el valor que se usará como ingreso se definirá como el valor que la empresa deja de invertir en una Tea convencional de instalación fija.

Tabla 29. Costos de una Tea fija

ITEMS	UNIDAD	CANTIDAD	VR/ Unidad (\$)	TOTAL (\$)
<b>Equipo necesario</b>				
Andamios	Día	4	800.000	3.200.000
Transporte de andamio	Día	2	410.000	820.000
Grúa telescópica	Día	4	1.500.000	8.400.000
Transporte grúa telescópica	Día	2	500.000	1.000.000
Mezcladora de cemento	Día	3	200.000	600.000
<i>Total equipo necesario para montaje</i>				14.020.000
<b>Talento humano</b>				
Operador de grúa	Día	12	33.750	405.000
Conductor camión para andamio	Día	12	36.250	435.000
Conductor grúa telescópica	Día	12	36.250	435.000
Soldador	Día	12	43.750	525.000
Operador mezcladora de cemento	Día	12	28.727	344.727
Ensamblador de trabajo en alturas	Día	12	29.167	350.000
Auxiliar general	Día	12	28.727	344.727
<i>Total costos de talento humano</i>				2.839.454
<b>Costos materiales de la Tea Fija</b>				
Estructura fija	Und.	1	8.000.000	8.000.000
Secciones de la Tea	Und.	10	1.000.000	10.000.000
Sistema de ignición	Und.	1	7.000.000	7.000.000
<i>Total costos materiales de la Tea fija</i>				25.000.000
<b>Subtotal</b>			41.859.454	
<b>Imprevistos 7%</b>			2.930.161	
<b>Total</b>			44.789.615	

## 8.9 EVALUACIÓN FLUJOS DE CAJA

Para realizar el siguiente análisis se toma una tasa de inflación anual constante del 6.77%, debido a que este fue el valor con que finalizó el año 2015, y se ha mantenido esta tendencia durante el transcurso del 2016. Para realizar la evaluación del flujo de caja se debe tener en cuenta el VPN (valor presente neto),

de este modo se analizará frente a la TIO (12%), la tasa interna de retorno hallada la cual debe ser mayor para que el proyecto sea viable.

Ecuación 50. Valor Presente Neto

$$VPN = -P + \sum_i^N \frac{FN}{(1 + TMAR)^n} + \frac{Vsal}{(1 + TMAR)^n}$$

Fuente: Diez Luis, Mascareñan Juan, Ingeniería Financiera; MacGraw Hill

Donde  $VPN$  es el valor presente neto,  $P$  es la inversión,  $FN$  es el flujo neto,  $V_{sal}$  es el valor de salvamento,  $TMAR$  es la tasa mínima atractiva de retorno, y  $n$  es el periodo.

Ecuación 51. Tasa Interna de Retorno

$$VPN = 0 = \sum_i^n \frac{FN}{(1 + TMAR)^n} + \frac{Vsal}{(1 + TMAR)^n}$$

Fuente: Diez Luis, Mascareñan Juan, Ingeniería Financiera; MacGraw Hill

Tabla 30. Flujo de fondos

	0	1	2	3	4
periodo	2016	2017	2018	2019	2020
Costo del equipo (-)	\$112.000.0000				
Depreciación (-)		\$8.700.000	\$8.700.000	\$8.700.000	\$8.700.000
Costo de operación (-)		\$60.805.152	\$ 64.921.661	\$ 69.316.857	\$ 74.009.608
Costo de mantenimiento (-)		\$14.916.000	\$ 15.925.813	\$ 17.003.991	\$ 18.155.161
Ingreso por ahorro (+)		\$227.313.448	\$ 242.702.568	\$ 259.133.532	\$ 276.676.872
Total flujo de caja	-\$112.000.0000	\$ 142.892.296	\$ 153.155.094	\$ 164.112.684	\$ 175.812.103

Continuación Tabla 33

5	6	7	8	9	10
2021	2022	2023	2024	2025	2026
\$8.700.000	\$8.700.000	\$8.700.000	\$8.700.000	\$8.700.000	\$8.700.000
\$ 79.020.059	\$ 84.369.717	\$ 90.081.547	\$ 96.180.067	\$ 102.691.458	\$ 109.643.670
\$ 19.384.265	\$ 20.696.580	\$ 22.097.739	\$ 23.593.755	\$ 25.191.053	\$ 26.896.487
\$ 295.407.897	\$ 315.407.011	\$ 336.760.066	\$ 359.558.722	\$ 383.900.848	\$ 409.890.935
\$ 188.303.572	\$ 201.640.714	\$ 215.880.781	\$ 231.084.900	\$ 247.318.337	\$ 264.650.779

Tabla 31. Resultados

VPN	\$ 940.607.369
TIO	12%
TIR	134,69%

Los resultados del análisis de la evaluación financiera evidencian que la realización del proyecto a largo plazo dejaría ganancias muy justificables para aquellas empresas que decidieran adquirirlas para su uso propio, la adquisición del equipo evidenciaría notables beneficios, entre ellos:

- Una considerable agilización en el ensamblaje del dispositivo de la tea, en donde pasaría de durar unos días a tan solo 2 horas con el sistema móvil.
- Reducción en gastos de alquiler de maquinaria alterna para su ensamblaje y su transporte mismo tanto de las secciones del dispositivo como de la maquinaria para realizar el ensamble.
- Se notará un ahorro de \$ 142.892.296 a partir del primer año de la inversión.
- El estado financiero arroja una tasa interna de retorno de 134,69% para un periodo de 10 años y Valor Presente neto de \$ 940.607.369 lo cual muestra un comportamiento de un flujo de caja positivo continuamente a través de los años aun manejando una inflación de 6,77% constante lo cual es un valor alto con respecto a años anteriores al 2015.

Los valores de los materiales de fabricación se cotizaron online en la época de mayo cuando el valor del Dólar de 3200 pesos lo cual es un escenario crítico para la adquisición de algunos elementos fundamentales para el dispositivo. De ello se puede deducir que aun cuando en un escenario de una tasa de cambio alta el proyecto sigue siendo muy rentable, este proyecto está en la capacidad de evaluarse con un valor de dólar más alto con respecto al peso colombiano.

## 9. CONCLUSIONES

- Se concluye que el proyecto es viable financieramente a partir de la evaluación que se realizó en el capítulo 9, donde se denotó una ganancia considerable a partir del segundo año, y una recuperación de la inversión en el primer año
- En la evaluación del impacto ambiental se determinó que el impacto que genera el dispositivo está dentro de los estándares que están permitidos en el sector de hidrocarburos y especialmente durante la incineración de gases residuales.
- El proyecto reduce considerablemente la complejidad en los procesos convencionales en el ensamble de una tea para la incineración de gases.
- El proyecto sirve como ejemplo en la simplificación de procesos que requieren un constate cambio de lugar de operación de una maquina en cualquier sector industrial.
- El acero ASTM A572 Gr. 50 demostró ser el material apropiado para todos los elementos estructurales que se utilizaron en el dispositivo

## 10.RECOMENDACIONES

- Se recomienda fabricar el dispositivo ya que aporta en gran medida a agilizar los procesos de exploración de hidrocarburos.
- Se recomienda tomar de referencia este proyecto para aplicarlo tanto como a los otros dispositivos del sistema de ignición como a Teas de mayor diámetro de tubo.
- Se recomienda evaluar como derivación a este proyecto el diseño de todo el sistema de ignición con todos los componentes (líneas de alivio, knock-out drum, wáter-seal, líneas de drenaje y el flashback prevention) en un solo dispositivo.

## BIBLIOGRAFÍA

BEER. Ferdinand P, JOHNSTON. E. Russel Jr. MECÁNICA DE MATERIALES, ED. McGraw-Hill Mexico, 2001.

BUDYNAS. Richard G, NISBETT. J. Keith. DISEÑO EN INGENIERIA MECANICA DE SHIGLEY, ED. McGraw-Hill Mexico, Octava edición.

CHERMISINOFF. Nicholas p. industrial gas flaring practices. Canada. Editorial scrivener publishing LLC. 2013

DODGE, Robert J. off-shore gas flare line, and anchor and float therefor. Estados Unidos. Patente. 1957.

ENGGCYCLOPEDIA. FLARE SYSTEM TYPES. ENCLOSED OR GROUND FLARE SYSTEMS. {En línea}. {Consultado marzo 2014}. Disponible en: <http://www.enggcyclopedia.com/2011/06/flare-system-types/>

EXXON MOBIL. UNDERSTANDING FLARES, WHAT ARE FLARES? {en línea}. {Consultado marzo 2015}. Disponible en: [http://www.exxonmobil.com.sg/AP-English/about\\_who\\_profile\\_understanding\\_flares.aspx](http://www.exxonmobil.com.sg/AP-English/about_who_profile_understanding_flares.aspx)

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Sexta actualización. NTC-1486. Bogotá: ICONTEC, 2008.

\_\_\_\_\_.Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. NTC 5613.Bogotá: El Instituto, 2008.

\_\_\_\_\_. Referencias documentales para fuentes de información electrónica. NTC 4490. Bogotá: El instituto, 1998.

KRAUS, RICHARD. Petróleo: Prospección Y Perforación. Industrias Basadas en Recursos Naturales. 1996.

MEDINA. Alfredo. Gerente general SERVIMECOL Ltda. Parámetros del diseño

MOUNTAIN EQUIPMENT. Flare stacks. <En Línea>. Disponible en: <http://www.mtnequip.com/flare-stacks/gallery.html>

PETROWIKI. Flaring and venting. <En línea>. Disponible en: [http://petrowiki.org/Flare\\_and\\_vent\\_disposal\\_systems](http://petrowiki.org/Flare_and_vent_disposal_systems)

ROBERT L. Mott. Mecánica de Fluidos. Nomenclatura de las ganancias y pérdidas de energía, México. 2006.202P.

ANEXOS

**ANEXO A**  
**TUBERIA DE ACERO AL CARBONO**  
**API 5L / ASTM A53 / A106**



**TUBERIA DE ACERO AL CARBONO**  
**API 5L / ASTM A53 / A106**

[www.vemacero.com](http://www.vemacero.com)

Diámetro Nominal NPS DN		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación		Peso del Tubo		ASTM A53 PRESION DE PRUEBA							
Pulgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	mm.	Pulgadas (in.)	Milímetros (mm.)	Weight Class	Schedule	lb/pie	kg/m	Grado A		Grado B					
										psi	Kg/cm2	psi	Kg/cm2				
8	200	8.625	219,1	0.188	4.78	-	-	16.94	25.26	780	55	920	65				
				0.203	5.16	-	-	18.26	27.22	850	60	1000	70				
				0.219	5.56	-	-	19.66	29.28	910	64	1070	75				
				0.250	6.35	-	20	22.36	33.31	1040	73	1220	86				
				0.277	7.04	-	30	24.70	36.81	1160	82	1350	95				
				0.312	7.92	-	-	27.70	41.24	1300	91	1520	107				
				0.322	8.18	STD	40	28.55	42.55	1340	94	1570	110				
				0.344	8.74	-	-	30.42	45.34	1440	101	1680	118				
				0.375	9.52	-	-	33.04	49.20	1570	110	1830	129				
				0.406	10.31	-	60	35.64	53.08	1700	120	2000	141				
				0.438	11.13	-	-	38.30	57.08	1830	129	2130	150				
				0.500	12.70	XS	80	43.39	64.64	2090	147	2430	171				
				0.594	15.09	-	100	50.95	75.92	2500	176	2800	197				
				0.719	18.26	-	120	60.71	90.44	2800	197	2800	197				
				0.812	20.62	-	140	67.76	100.92	2800	197	2800	197				
				0.875	22.22	XXS	-	72.42	107.88	2800	197	2800	197				
				0.906	23.01	-	160	74.69	111.27	2800	197	2800	197				
10	250	10.750	273,0	0.188	4.78	-	-	21.21	31.62	630	44	730	51				
				0.203	5.16	-	-	22.87	34.08	680	48	800	56				
				0.219	5.56	-	-	24.63	36.67	730	51	860	60				
				0.250	6.35	-	20	28.04	41.75	840	59	980	69				
				0.279	7.09	-	-	31.20	46.49	930	65	1090	77				
				0.307	7.80	-	30	34.24	51.01	1030	72	1200	84				
				0.344	8.74	-	-	38.23	56.96	1150	81	1340	94				
				0.365	9.27	STD	40	40.48	60.29	1220	86	1430	101				
				0.438	11.13	-	-	48.19	71.87	1470	103	1710	120				
				0.500	12.70	XS	60	54.71	81.52	1670	117	1950	137				
				0.594	15.09	-	80	64.43	95.97	1990	140	2320	163				
				0.719	18.26	-	100	77.03	114.70	2410	169	2800	197				
				0.844	21.44	-	120	89.29	133.00	2800	197	2800	197				
				1.000	25.40	XXS	140	104.13	155.09	2800	197	2800	197				
				1.125	28.57	-	160	115.65	172.21	2800	197	2800	197				
				12	300	12.750	323,8	0.203	5.16	-	-	27.20	40.55	570	40	670	47
								0.219	5.56	-	-	29.31	43.63	620	44	720	51
0.250	6.35	-	20					33.38	49.71	710	50	820	58				
0.281	7.14	-	-					37.42	55.75	790	56	930	65				
0.312	7.92	-	-					41.45	61.69	880	62	1030	72				
0.330	8.38	-	30					43.77	65.18	930	65	1090	77				
0.344	8.74	-	-					45.58	67.90	970	68	1130	79				
0.375	9.52	STD	-					49.52	73.78	1060	75	1240	87				
0.406	10.31	-	40					53.52	79.70	1150	81	1340	94				
0.438	11.13	-	-					57.59	85.82	1240	87	1440	101				
0.500	12.70	XS	-					65.42	97.43	1410	99	1650	116				
0.562	14.27	-	60					73.15	108.92	1590	112	1850	130				
0.688	17.28	-	80					88.63	132.04	1940	136	2270	160				
0.844	21.44	-	100					107.32	159.86	2390	168	2780	195				
1.000	25.40	XXS	120					125.49	186.91	2800	197	2800	197				
1.125	28.57	-	140					139.68	208.00	2800	197	2800	197				
1.312	33.32	-	160					160.27	238.68	2800	197	2800	197				



BERIA DE ACERO AL CARBONO  
API 5L / ASTM A53 / A106

[www.vemacero.com](http://www.vemacero.com)

#### Propiedades Mecánicas

Norma de Fabricación	Grado del Acero	Limite de Fluencia		Resistencia a la Tracción			
		Mpa	psi	Mínimo		Máximo	
				Mpa	psi	Mpa	psi
ASTM A53 Tipo E (ERW)	A	205	30,000	330	48,000	--	--
	B	240	35,000	415	60,000	--	--

#### Requerimientos Químicos

Norma de Fabricación	Grado del Acero	Porcentaje Máximo de los Elementos			
		C	Mn	P	S
		Carbono	Manganeso	Fósforo	Azufre
ASTM A53 Tipo E (ERW)	A	0,25	0,95	0,05	0,045
	B	0,30	1,20	0,05	0,045

## ANEXO B BRIDAS DE ACERO AL CARBÓN FORJADO, CLASE 150

Catálogo de productos



### MATERIAL

#### BRIDAS DE ACERO AL CARBÓN FORJADO, CLASE 150

Los materiales usados en la fabricación de las Bridas de Acero al Carbón Forjado CIFUNSA cumplen ampliamente los requerimientos mínimos establecidos por la norma ASTM A-105, que rigen este tipo de conexión.

PROPIEDADES MECÁNICAS	ASTM A-105
Resistencia a la tensión, min, psi (mpa)	70 000 (485)
Punto de cedencia, min, psi (mpa)	38 000 (250)
Elongación en 2" o 50 mm, min, %	30
Reducción de área, min, %	30
Dureza, máx. , Hb	187

### DISEÑO

En términos generales, las dimensiones para las bridas de acero al carbón forjado son establecidos por las normas:

ASME	B 16.5	DIMENSIONES DE BRIDAS DE ACERO AL CARBÓN FORJADO.
ASME / ANSI	B 1.20.1	ROSCADO (BRIDAS ROSCADAS, TIPO DE ROSCA NPT).

#### TOLERANCIA

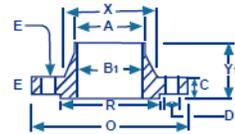
TABLA DE TOLERANCIAS	+ / - PULGADAS
Espesor de la Brida, C	NPS 18 y menores + 0.12 in., - cero NPS 20 y mayores + 0.19 in., - cero
Diámetro Exterior del cuello en Brida de cuello Soldable, A	NPS 5 y menores + 0.09 in., - 0.03 in. NPS 6 y mayores + 0.16 in., - 0.03 in.
Bore (Conducto del Fluido) en Brida de cuello soldable, B1	NPS 10 y menores 0.03 in. NPS 12 a 18 0.06 in. NPS 20 y mayores + 0.12 in., - 0.06 in.
Bore (Conducto del Fluido) en Brida de cuello soldable, B2	NPS 10 y menores + 0.03 in., - cero NPS 12 y mayores + 0.06 in., - cero



### Brida con Cuello Soldable

W.N. = Welding Neck

**150 lbs.**  
**Acero forjado**



MEDIDA NOMINAL	DIMENSIONES COMUNES				BORE (CONDUCTO DEL FLUIDO)		ALTURA TOTAL DE LA BRIDA		DIÁMETRO EXTERIOR DEL CUELLO DEL TUBO WELDING NECK A	PERFORACIONES (BARRENOS)	
	DIÁMETRO EXTERIOR DE LA BRIDA O	DIÁMETRO LEVANTADO DE LA CARA R	DIÁMETRO DEL CUBO X	ESPESOR DE LA BRIDA C	WELDING NECK B1	SLIP-ON B2	WELDING NECK Y1	SLIP-ON THREADED Y2		DIÁMETRO DE BARRENOS D	NÚMERO DE BARRENOS E
1/2	3.50	1.38	1.19	0.44	0.62	0.88	1.88	0.6200	0.84	0.63	4
3/4	3.88	1.69	1.50	0.50	0.82	1.09	2.06	0.6200	1.05	0.63	4
1	4.25	2.00	1.94	0.56	1.05	1.36	2.19	0.6900	1.32	0.63	4
1 1/4	4.62	2.50	2.31	0.62	1.38	1.70	2.25	0.8100	1.66	0.63	4
1 1/2	5.00	2.88	2.56	0.69	1.61	1.95	2.44	0.8800	1.90	0.63	4
2	6.00	3.63	3.06	0.75	2.07	2.44	2.50	1.0000	2.38	0.75	4
2 1/2	7.00	4.13	3.56	0.88	2.47	2.94	2.75	1.1200	2.88	0.75	4
3	7.50	5.00	4.25	0.94	3.07	3.57	2.75	1.1900	3.50	0.75	4
3 1/2	8.50	5.50	4.81	0.94	3.55	4.07	2.81	1.2500	4.00	0.75	8
4	9.00	6.18	5.31	0.94	4.03	4.60	3.00	1.3100	4.50	0.75	8
5	10.00	7.32	6.44	0.94	5.05	5.66	3.50	1.4400	5.56	0.88	8
6	11.00	8.50	7.56	1.00	6.07	6.72	3.50	1.5600	6.63	0.88	8
8	13.50	10.63	9.69	1.12	7.98	8.72	4.00	1.7500	8.63	0.88	8
10	16.00	12.76	12.00	1.19	10.02	10.88	4.00	1.9400	10.75	1.00	12
12	19.00	15.00	14.38	1.25	12.00	12.88	4.50	2.1900	12.75	1.00	12
14	21.00	16.26	15.75	1.38	13.27	14.14	5.00	2.2500	14.00	1.13	12
16	23.50	18.50	18.00	1.44	15.24	16.16	5.00	2.5000	16.00	1.13	16
18	25.00	20.98	19.88	1.56	17.24	18.18	5.50	2.6900	18.00	1.25	16
20	27.50	22.99	22.00	1.69	19.25	20.20	5.69	2.8800	20.00	1.25	20
22	29.49	25.24	24.25	1.81	21.26	22.20	5.88	3.1300	22.01	1.38	20
24	32.00	27.24	26.12	1.88	23.27	24.25	6.00	3.2500	24.00	1.38	20

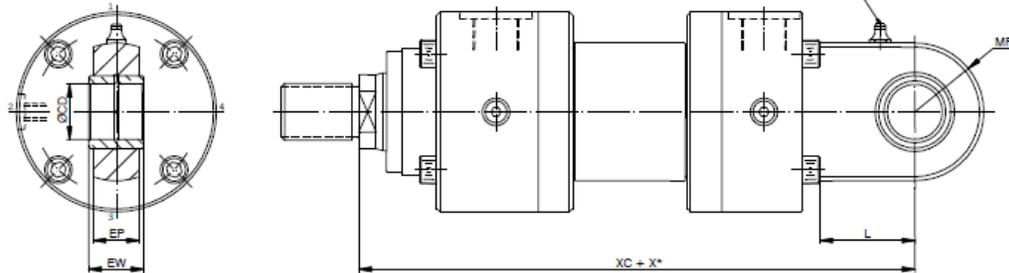
## ANEXO C CILINDRO HIDRÁULICO ALPESA CRM1

**Alpessa s.l.**

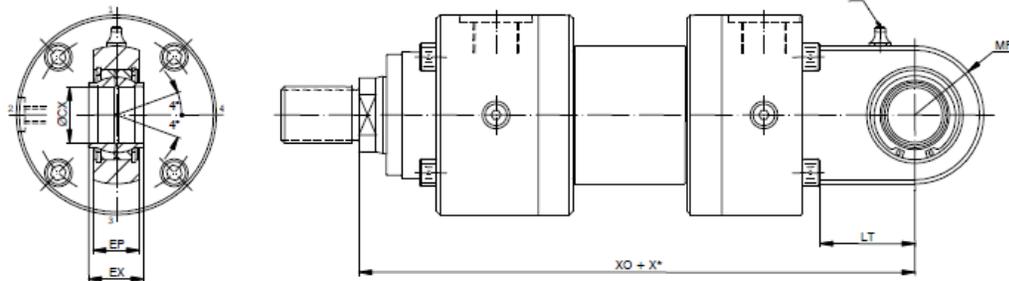
TIPO DE AMARRE / MOUNTING TYPE CILINDRO / CYLINDER **CRM1**  
- MP3 / MP5 -  
ISO 6020/1

Presión Nominal  
Nominal Pressure **160Bar**

MP3



MP5



AL Ø	MM Ø	CD / CX H9/H7	EP	EW / EX h12	L / LT mín	MR / MS máx	XC / XO
25	14 18	12	10.6	12	16	16	178
32	18 22	16	14	16	20	20	206
40	22 28	20	18	20	25	25	231
50	28 36	25	23	25	32	32	257
63	36 45	32	27	32	40	40	289
80	45 56	40	32	40	50	50	332
100	56 70	50	40	50	63	63	395
125	70 90	63	52	63	71	71	428
160	90 110	80	66	80	90	90	505
200	110 140	100	84	100	112	112	615
250	140 180	125	102	125	160	160	773
320	180 220	160	130	160	200	200	930

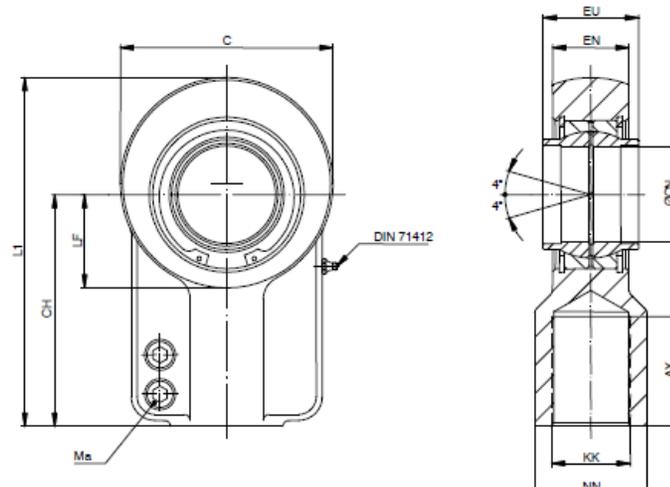
Para las cotas principales ver página 6.

AL = Ø Pistón  
MM = Ø Vástago  
X\* = Carrera  
1) = Engrasador forma A según DIN 71412

For main dimensions, see page 6.

AL = Piston Ø  
MM = Piston rod Ø  
X\* = Stroke length  
1) = Cone head grease nipple form A to DIN 71412

ISO 6982  
DIN 24338



AL Ø	MM Ø	CODIGO CODE	KK	AX mín	C	CH js16	CN H7	EN h12	EU	L1 máx	LF	N	MA <sup>3)</sup> Nm
25	14 <sup>1)</sup> / 18 <sup>2)</sup>	CARB 12	M12 x 1.25	17	32	38	12	10.5	12	54	14	16	6
25 32	18 <sup>1)</sup> 18 <sup>1)</sup> / 22 <sup>2)</sup>	CARB 16	M14 x 1.5	19	40	44	16	13	16	64	18	21	6
32 40	22 <sup>1)</sup> 22 <sup>1)</sup> / 28 <sup>2)</sup>	CARB 20	M16 x 1.5	23	50	52	20	17	20	77	22	25	10
40 50	28 <sup>1)</sup> 28 <sup>1)</sup> / 36 <sup>2)</sup>	CARB 25	M20 x 1.5	29	62	65	25	21	25	96	27	30	10
50 63	36 <sup>1)</sup> 36 <sup>1)</sup> / 45 <sup>2)</sup>	CARB 32	M27 x 2	37	76	80	32	27	32	118	32	38	25
63 80	45 <sup>1)</sup> 45 <sup>1)</sup> / 56 <sup>2)</sup>	CARB 40	M33 x 2	46	97	97	40	32	40	146	41	47	25
80 100	56 <sup>1)</sup> 56 <sup>1)</sup> / 70 <sup>2)</sup>	CARB 50	M42 x 2	57	118	120	50	40	50	179	50	58	49
100 125	70 <sup>1)</sup> 70 <sup>1)</sup> / 90 <sup>2)</sup>	CARB 63	M48 x 2	64	142	140	63	52	63	211	62	70	86
125 160	90 <sup>1)</sup> 90 <sup>1)</sup> / 110 <sup>2)</sup>	CARB 80	M64 x 3	86	180	180	80	66	80	270	78	90	210
160 200	110 <sup>1)</sup> 110 <sup>1)</sup> / 140 <sup>2)</sup>	CARB 100	M80 x 3	96	224	210	100	84	100	322	98	110	210
200 250	140 <sup>1)</sup>	CARB 125	M100 x 3	113	262	260	125	102	125	405	120	135	385
250 320	180 <sup>1)</sup>	CARB 160	M125 x 4	126	326	310	160	130	160	488	150	165	660
320	220 <sup>1)</sup>	CARB 200	M160 x 4	161	418	390	200	162	200	620	195	215	1350

AL = Ø Pistón  
MM = Ø Vástago  
1) = Arrastrador para extremo de vástago roscado G.  
2) = Arrastrador para extremo de vástago roscado H.  
3) = El arrastrador debe roscarse siempre contra el reborde y luego deben apretarse los tornillos de fijación con el par indicado.

AL = Piston Ø  
MM = Piston rod Ø  
1) = Self-aligning clevis for piston rod end G.  
2) = Self-aligning clevis for piston rod end H.  
3) = The Self-aligning clevis must always be screwed to the piston rod thread stop. Subsequently, the clamping screws have to be tightened to the specified torque.

## ANEXO D ACERO AISI-SAE 1045 (UNS G10450)

### ACERO AISI-SAE 1045 (UNS G10450)

**1. Descripción:** es un acero utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarios en condición de suministro. Este acero medio carbono puede ser forjado con martillo. Responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado. Cuando se hacen prácticas de soldadura adecuadas, presenta soldabilidad adecuada. Por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria.

**2. Normas involucradas:** ASTM A108

**3. Propiedades mecánicas:** Dureza 163 HB (84 HRb)  
Esfuerzo de fluencia 310 MPa (45000 PSI)  
Esfuerzo máximo 565 MPa (81900 PSI)  
Elongación 16% (en 50 mm)  
Reducción de área (40%)  
Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)  
Maquinabilidad 57% (AISI 1212 = 100%)

**4. Propiedades físicas:** Densidad 7.87 g/cm<sup>3</sup> (0.284 lb/in<sup>3</sup>)

**5. Propiedades químicas:** 0.43 – 0.50 % C  
0.60 – 0.90 % Mn  
0.04 % P máx  
0.05 % S máx

**6. Usos:** los usos principales para este acero es piñones, cuñas, ejes, tornillos, partes de maquinaria, herramientas agrícolas y remaches.

**7. Tratamientos térmicos:** se da normalizado a 900°C y recocido a 790°C

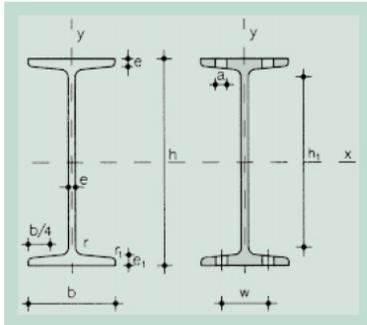
**NOTA:**

Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

**ACERO MAQUINARIA - AISI 1045**

# ANEXO E PERFILES ESTRUCTURALES

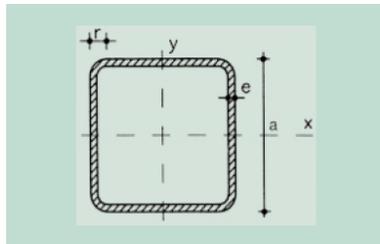
**Tabla 2.A1.1. Perfiles IPN**



- |   |   |
|---|---|
| <p>A = Área de la sección<br/> <math>S_x</math> = Momento estático de media sección, respecto a X<br/> <math>I_x</math> = Momento de inercia de la sección, respecto a X<br/> <math>W_x = 2I_x : h</math>. Módulo resistente de la sección, respecto a X<br/> <math>i_x = \sqrt{I_x : A}</math>. Radio de giro de la sección, respecto a X<br/> <math>I_y</math> = Momento de inercia de la sección, respecto a Y<br/> <math>W_y = 2I_y : b</math>. Módulo resistente de la sección, respecto a Y<br/> <math>i_y = \sqrt{I_y : A}</math>. Radio de giro de la sección, respecto a Y</p> | <p><math>I_t</math> = Módulo de torsión de la sección<br/> <math>I_a</math> = Módulo de alabeo de la sección<br/> u = Perímetro de la sección<br/> a = Diámetro del agujero del roblón normal<br/> w = Gramil, distancia entre ejes de agujeros<br/> <math>h_1</math> = Altura de la parte plana del alma<br/> <math>e_2</math> = Espesor del ala en el eje del agujero<br/> p = Peso por m</p> |
|---|---|

Perfil	Dimensiones							Términos de sección										Agujeros			Peso	
	h	b	e=r	e <sub>1</sub>	r <sub>1</sub>	h <sub>1</sub>	u	A	S <sub>x</sub>	I <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	I <sub>t</sub>	I <sub>a</sub>	w	a	e <sub>2</sub>		p
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>6</sup>	mm	mm	mm	kp/m	
IPN 80	80	42	3,9	5,9	2,3	59	304	7,58	11,4	77,8	19,5	3,20	6,29	3,00	0,91	0,93	87,5	22	—	4,43	5,95	C
IPN 100	100	50	4,5	6,8	2,7	75	370	10,60	19,9	171,0	34,2	4,01	12,20	4,88	1,07	1,72	268,0	28	—	5,05	8,32	P
IPN 120	120	58	5,1	7,7	3,1	92	439	14,20	31,8	328,0	54,7	4,81	21,50	7,41	1,23	2,92	685,0	32	—	5,67	11,20	P
IPN 140	140	66	5,7	8,6	3,4	109	502	18,30	47,7	573,0	81,9	5,61	35,20	10,70	1,40	4,66	1.540,0	34	11	6,29	14,40	P
IPN 160	160	74	6,3	9,5	3,8	125	575	22,80	68,0	935,0	117,0	6,40	54,70	14,80	1,55	7,08	3.138,0	40	11	6,91	17,90	P
IPN 180	180	82	6,9	10,4	4,1	142	640	27,90	93,4	1.450,0	161,0	7,20	81,30	19,80	1,71	10,30	5.924,0	44	13	7,53	21,90	P
IPN 200	200	90	7,5	11,3	4,5	159	709	33,50	125,0	2.140,0	214,0	8,00	117,00	26,00	1,87	14,60	10.520,0	48	13	8,15	26,30	P
IPN 220	220	98	8,1	12,2	4,9	175	775	39,60	162,0	3.060,0	278,0	8,80	162,00	33,10	2,02	20,10	17.760,0	52	13	8,77	31,10	P
IPN 240	240	106	8,7	13,1	5,2	192	844	46,10	206,0	4.250,0	354,0	9,59	221,00	41,70	2,20	27,00	28.730,0	56	17	9,39	36,20	P
IPN 260	260	113	9,4	14,1	5,6	208	906	53,40	257,0	5.740,0	442,0	10,40	288,00	51,00	2,32	36,10	44.070,0	60	17	10,15	41,90	P
IPN 280	280	119	10,1	15,2	6,1	225	966	61,10	316,0	7.590,0	542,0	11,10	364,00	61,20	2,45	47,80	64.580,0	62	17	11,04	48,00	P
IPN 300	300	125	10,8	16,2	6,5	241	1.030	69,10	381,0	9.800,0	653,0	11,90	451,00	72,20	2,56	61,20	91.850,0	64	21	11,83	54,20	P
IPN 320	320	131	11,5	17,3	6,9	257	1.090	77,80	457,0	12.510,0	782,0	12,70	555,00	84,70	2,67	78,20	128.800,0	70	21	12,72	61,10	P
IPN 340	340	137	12,2	18,3	7,3	274	1.150	86,80	540,0	15.700,0	923,0	13,50	674,00	98,40	2,80	97,50	176.300,0	74	21	13,51	68,10	P
IPN 360	360	143	13,0	19,5	7,8	290	1.210	97,10	638,0	19.610,0	1.090,0	14,20	818,00	114,00	2,90	123,00	240.100,0	76	23	14,50	76,20	P
IPN 380	380	149	13,7	20,5	8,2	306	1.270	107,00	741,0	24.010,0	1.260,0	15,00	975,00	131,00	3,02	150,00	318.700,0	82	23	15,29	84,00	P
IPN 400	400	155	14,4	21,6	8,6	323	1.330	118,00	857,0	29.210,0	1.460,0	15,70	1.160,00	149,00	3,13	183,00	419.600,0	86	23	16,18	92,60	P
IPN 450	450	170	16,2	24,3	9,7	363	1.478	147,00	1.200,0	45.850,0	2.040,0	17,70	1.730,00	203,00	3,43	288,00	791.100,0	94	25	18,35	115,00	P
IPN 500	500	185	18,0	27,0	10,8	404	1.626	180,00	1.620,0	68.740,0	2.750,0	19,60	2.480,00	268,00	3,72	449,00	1.403.000,0	100	28	20,53	141,00	P
IPN 550	550	200	19,0	30,0	11,9	445	1.787	213,00	2.120,0	99.180,0	3.610,0	21,60	3.490,00	349,00	4,02	618,00	2.389.000,0	110	28	23,00	167,00	P
IPN 600	600	215	21,6	32,4	13,0	485	1.924	254,00	2.730,0	139.000,0	4.630,0	23,40	4.670,00	434,00	4,30	875,00	3.821.000,0	120	28	24,88	199,00	P

Tabla 2.A2.2. Perfiles huecos cuadrados



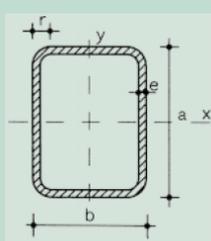
$r$  = Radio exterior de redondeo  
 $u$  = Perímetro  
 $A$  = Área de la sección  
 $S$  = Momento estático de media sección, respecto al eje X o Y  
 $I$  = Momento de inercia de la sección, respecto al eje X o Y  
 $W = 2I : d$ . Módulo resistente de la sección, respecto al eje X o Y  
 $i = \sqrt{I : A}$ . Radio de giro de la sección, respecto al eje X o Y  
 $It$  = Módulo de torsión de la sección

Perfil	Dimensiones				Términos de sección						Peso	
	a mm	e mm	r mm	u mm	A cm <sup>2</sup>	S cm <sup>3</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm	$I_x$ cm <sup>4</sup>	$\rho$ kp/m	
# 40.2	40	2	5	151	2,90	2,04	6,60	3,40	1,53	11,3	2,28	P
# 40.3	40	3	8	147	4,13	2,80	9,01	4,51	1,48	15,6	3,24	P
# 40.4	40	4	10	143	5,21	3,40	10,50	5,26	1,42	18,9	4,09	P
# 45.2	45	2	5	171	3,30	2,63	9,94	4,42	1,74	16,3	2,59	C
# 45.3	45	3	8	167	4,73	3,65	13,40	5,95	1,68	22,9	3,71	C
# 45.4	45	4	10	163	6,01	4,49	15,90	7,07	1,63	28,2	4,72	C
# 50.2	50	2	5	191	3,70	3,30	13,90	5,57	1,94	22,7	2,91	P
# 50.3	50	3	8	187	5,33	4,62	19,00	7,59	1,89	32,0	4,18	P
# 50.4	50	4	10	183	5,81	5,73	22,90	9,15	1,83	39,9	5,35	P
# 55.2	55	2	5	211	4,10	4,04	18,90	6,86	2,14	30,5	3,22	C
# 55.3	55	3	8	207	5,93	5,70	25,90	9,43	2,09	43,4	4,66	C
# 55.4	55	4	10	203	7,61	7,12	31,60	11,50	2,04	54,5	5,97	C
# 60.2	60	2	5	231	4,50	4,86	24,80	8,28	2,35	39,9	3,53	P
# 60.3	60	3	8	227	6,53	6,89	34,40	11,50	2,30	57,1	5,13	P
# 60.4	60	4	10	223	8,41	8,66	42,30	14,10	2,24	72,2	6,60	P
# 60.5	60	5	13	219	10,10	10,20	48,50	16,20	2,19	85,2	7,96	C
# 70.2	70	2	5	271	5,30	6,71	40,30	11,50	2,76	64,1	4,16	P
# 70.3	70	3	8	267	7,73	9,60	56,60	16,20	2,71	92,6	6,07	P
# 70.4	70	4	10	263	10,00	12,20	70,40	20,10	2,65	118,0	7,86	P
# 70.5	70	5	13	259	12,10	14,50	82,00	23,40	2,60	141,0	9,53	P
# 80.3	80	3	8	307	8,93	12,80	86,60	21,70	3,11	140,0	7,01	P
# 80.4	80	4	10	303	11,60	16,30	108,80	27,20	3,06	180,0	9,11	P

# 80.5	80	5	13	299	14,10	19,50	128,00	32,00	3,01	217,0	11,10	P
# 80.6	80	6	15	294	16,50	22,40	144,00	36,00	2,95	250,0	13,00	C
# 90.3	90	3	8	347	10,10	16,40	126,00	37,90	3,52	202,0	7,95	P
# 90.4	90	4	10	343	13,20	21,10	159,00	35,40	3,47	281,0	10,40	P
# 90.5	90	5	13	339	16,10	25,30	189,00	41,90	3,42	316,0	12,70	P
# 90.6	90	6	15	334	18,90	29,20	214,00	47,60	3,36	366,0	14,90	P
# 100.3	100	3	8	387	11,30	20,10	175,00	35,00	3,93	279,0	8,89	P
# 100.4	100	4	10	383	14,80	26,40	223,00	44,60	3,88	363,0	11,60	P
# 100.5	100	5	13	379	18,10	31,90	266,00	53,10	3,83	440,0	14,20	P
# 100.6	100	6	15	374	21,30	37,00	304,00	60,70	3,77	513,0	16,70	P
# 120.4	120	4	10	463	18,00	38,90	397,00	66,20	4,70	638,0	14,10	P
# 120.5	120	5	13	459	22,10	47,20	478,00	79,60	4,64	780,0	17,40	P
# 120.6	120	6	15	454	26,10	55,10	551,00	91,80	4,59	913,0	20,50	C
# 140.5	140	5	13	539	26,10	65,60	780,00	111,00	5,46	260,0	20,50	P
# 140.6	140	6	15	534	30,90	76,80	905,00	129,00	5,41	480,0	24,30	P
# 140.8	140	8	20	526	40,00	97,50	1.130,00	161,00	5,30	890,0	31,40	P
# 160.5	160	5	13	619	30,10	86,90	1.190,00	149,00	6,28	1.901,0	23,70	P
# 160.6	160	6	15	614	35,70	102,00	1.390,00	173,00	6,23	2.240,0	28,00	P
# 160.8	160	8	20	609	46,40	131,00	1.740,00	218,00	6,12	2.890,0	36,50	P

Tabla 2.A2.3. Perfiles huecos rectangulares

Perfil	Dimensiones					Términos de sección										Peso	
	a mm	b mm	e mm	r mm	u mm	A cm <sup>2</sup>	S <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> cm	S <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> cm	I <sub>t</sub> cm <sup>4</sup>	p kp/m	
× 60. 40.2	60	40	2	5	191	3,70	3,70	18,1	6,03	2,21	2,80	9,69	4,85	1,62	20,7	2,91	P
× 60. 40.3	60	40	3	8	187	5,33	5,18	24,7	8,23	2,15	3,91	13,10	6,56	1,57	29,2	4,18	P
× 60. 40.4	60	40	4	10	183	6,81	6,42	29,7	9,91	2,09	4,84	15,70	7,86	1,52	36,1	5,35	P
× 70. 40.2	70	40	2	5	211	4,10	4,67	26,4	7,55	2,54	3,18	11,10	5,57	1,65	25,8	3,22	C
× 70. 40.3	70	40	3	8	207	5,93	6,59	36,4	10,40	2,48	4,47	15,20	7,59	1,60	36,4	4,66	C
× 70. 40.4	70	40	4	10	203	7,61	8,23	44,3	12,60	2,41	5,56	18,30	9,16	1,55	45,3	5,97	C
× 70. 50.2	70	50	2	5	231	4,50	5,35	31,1	8,87	2,63	4,26	18,50	7,42	2,03	37,5	3,53	C
× 70. 50.3	70	50	3	8	227	6,53	7,59	43,1	12,30	2,57	6,03	25,60	10,30	1,98	53,6	5,13	C
× 70. 50.4	70	50	4	10	223	8,41	9,55	53,0	15,10	2,51	7,57	31,40	12,50	1,93	67,6	6,60	C
× 80. 40.3	80	40	3	8	227	6,53	8,15	51,0	12,80	2,79	5,02	17,20	8,62	1,62	43,8	5,13	P
× 80. 40.4	80	40	4	10	223	8,41	10,20	62,6	15,60	2,73	6,28	20,90	10,50	1,58	54,7	6,60	P
× 80. 40.5	80	40	5	13	219	10,14	12,00	71,6	17,90	2,66	7,33	23,70	11,90	1,53	63,6	7,96	C
× 80. 60.3	80	60	3	8	267	7,73	10,50	68,8	17,20	2,98	8,60	44,20	14,70	2,39	88,5	6,07	P
× 80. 60.4	80	60	4	10	263	10,00	13,30	85,7	21,40	2,93	10,90	54,90	18,30	2,34	113,0	7,86	P
× 80. 60.5	80	60	5	13	259	12,10	15,80	99,8	25,00	2,87	12,90	63,70	21,20	2,29	134,0	9,53	P
× 100. 50.3	100	50	3	8	287	8,33	13,10	105,0	20,90	3,54	8,13	35,60	14,20	2,07	88,6	6,54	P
× 100. 50.4	100	50	4	10	283	10,80	16,80	131,0	26,10	3,48	10,30	44,10	17,60	2,02	113,0	8,49	P
× 100. 50.5	100	50	5	13	279	13,10	20,00	153,0	30,60	3,41	12,20	51,10	20,40	1,97	134,0	10,31	P



r = Radio exterior de redondeo

u = Perímetro

A = Área de la sección

S<sub>x</sub> = Momento estático de media sección, respecto al eje X

I<sub>x</sub> = Momento de inercia de la sección, respecto al eje X

W<sub>y</sub> = 2I<sub>x</sub> : a. Módulo resistente de la sección, respecto al eje Y

i<sub>x</sub> = √(I<sub>x</sub>/A). Radio de giro de la sección, respecto al eje X

S<sub>y</sub> = Momento estático de media sección, respecto al eje Y

I<sub>y</sub> = Momento de inercia de la sección, respecto al eje Y

W<sub>y</sub> = 2I<sub>y</sub> : b. Módulo resistente de la sección, respecto al eje Y

i<sub>y</sub> = √(I<sub>y</sub>/A). Radio de giro de la sección, respecto al eje Y

I<sub>t</sub> = Módulo de torsión de la sección

✖100.	50.6	100	50	6	15	274	15,30	22,90	171,0	34,20	3,34	13,90	56,70	22,70	1,92	151,0	12,03	C
✖100.	60.4	100	60	4	10	303	11,60	18,70	149,0	29,80	3,58	13,10	67,40	22,50	2,41	156,0	9,11	P
✖100.	60.5	100	60	5	13	299	14,10	22,40	175,0	35,10	3,52	15,70	78,90	26,30	2,36	187,0	11,10	C
✖100.	60.6	100	60	6	15	294	16,50	25,70	197,0	39,50	3,46	17,90	88,40	29,50	2,31	214,0	12,97	C
✖100.	80.4	100	80	4	10	343	13,20	22,60	186,0	37,20	3,75	19,40	132,00	33,00	3,16	254,0	10,37	P
✖100.	80.5	100	80	5	13	339	16,10	27,10	221,0	44,10	3,70	23,30	156,00	39,00	3,11	307,0	12,67	P
✖100.	80.6	100	80	6	15	334	18,90	31,30	251,0	50,10	3,64	26,90	177,00	44,30	3,06	355,0	14,85	P
✖120.	60.4	120	60	4	10	343	13,20	24,90	236,0	39,30	4,22	15,40	80,00	26,70	2,46	201,0	10,37	P
✖120.	60.5	120	60	5	13	339	16,10	30,00	279,0	46,50	4,16	18,40	94,00	31,40	2,41	241,0	12,67	P
✖120.	60.6	120	60	6	15	334	18,90	34,60	317,0	52,80	4,09	21,20	106,00	35,30	2,37	277,0	14,85	P
✖120.	80.4	120	80	4	10	383	14,80	29,60	290,0	48,30	4,42	22,40	155,00	38,80	3,24	332,0	11,63	C
✖120.	80.5	120	80	5	13	379	18,10	35,70	345,0	57,60	4,36	27,00	184,00	46,10	3,19	402,0	14,24	P
✖120.	80.6	120	80	6	15	374	21,30	41,40	395,0	65,80	4,30	31,30	210,00	52,50	3,14	467,0	16,74	P
✖120.	100.4	120	100	4	10	423	16,40	34,20	343,0	57,20	4,57	30,20	260,00	57,00	3,98	479,0	12,88	P
✖120.	100.5	120	100	5	13	419	20,10	41,50	412,0	68,60	4,52	36,60	311,00	62,20	3,93	583,0	15,81	C
✖120.	100.6	120	100	6	15	414	23,70	48,30	473,0	78,80	4,46	42,60	357,00	71,40	3,88	681,0	18,62	C
✖140.	60.4	140	60	4	10	383	14,80	32,00	349,0	49,80	4,85	17,60	92,60	30,90	2,50	247,0	11,63	C
✖140.	60.5	140	60	5	13	379	18,10	38,60	415,0	59,30	4,78	21,20	109,00	36,40	2,45	297,0	14,24	C
✖140.	60.6	140	60	6	15	374	21,30	44,70	474,0	67,70	4,71	24,40	124,00	41,20	2,41	342,0	16,74	C
✖140.	80.4	140	80	4	10	423	16,40	37,40	423,0	60,40	5,08	25,40	178,00	44,60	3,30	412,0	12,88	P
✖140.	80.5	140	80	5	13	419	20,10	45,30	506,0	72,40	5,01	30,80	212,00	53,10	3,25	500,0	15,81	P
✖140.	80.6	140	80	6	15	414	23,70	52,70	582,0	83,10	4,95	35,70	243,00	60,70	3,20	582,0	18,62	P

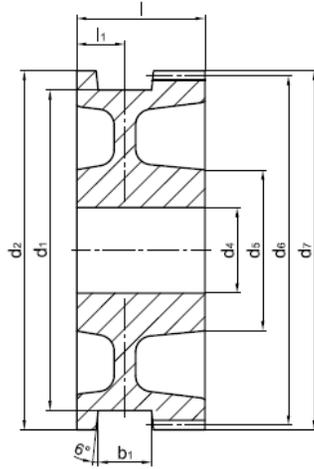
# ANEXO F RUEDA PARA RIEL DIN 15049

## Crane wheels with smooth bore

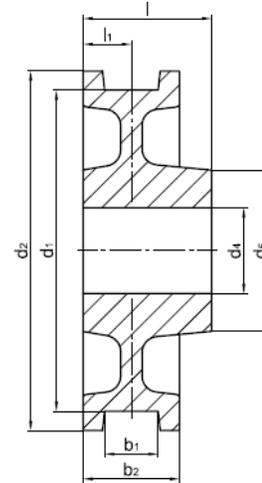
or with feather keyway according to DIN 6885-1

**DIN 15049**

**KG 010.1**



**Form A** with gear ring



**Form B** without gear ring

wheel-Ø $d_1$	$b_1^{1)}$	$b_2$	$d_2$	$d_4^{1)}$	$d_5$	$l$	$l_1$	gear ring <sup>2)</sup> (Form A)				unit weight = [kg]		wheel load [kg] <sup>3)</sup>
								mo- dule	number of teeth	$d_6$	$d_7$	Form A	Form B	
160	30-60	80	186	30-65	85	95	40	2,5	72	180	185	10	8,5	3 300
								3	60		186			
200	30-60	80	232	30-90	117	95	40	3	75	225	231	17,5	16	4 300
								4	56		224			
250	30-60	80	274	40-110	142	120	40	3	88	264	270	30	25	5 600
								4	66		272			
300	35-65	90	336	40-120	152	120	45	3	110	330	336	43	37	7 250
								4	82		328			
315	40-75	100	348	50-130	167	140	50	4	85	340	348	54	48	9 000
400	40-75	100	432	50-160	197	140	50	4	106	424	432	86	71	11 900
500	50-85	110	540	60-180	230	170	55	6	88	528	540	156	125	17 000
630	55-95	120	680	80-130	180	200	60	8	83	664	680	235	181	22 100

1) The dimension of the gauge recess  $b_1$  and bore diameter  $d_4$  to be stated with order.

2) Module and number of teeth to be stated with order.

Tooth form according to DIN 887 without profile correction.

Pressure angle 20 degree.

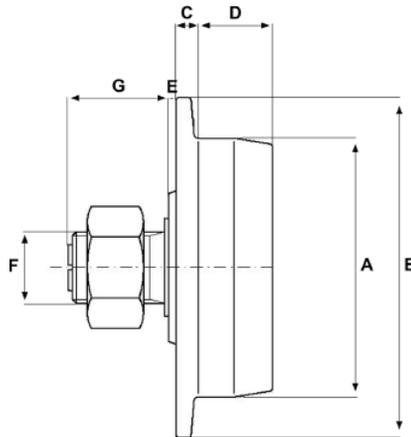
3) The wheel loads stated are obtained from the maximum permissible pressure between wheel and rail with maximum possible rail head width of the corresponding wheel and  $v = 40$  m/min.

## ANEXO G RODADURAS PARA PUENTE GRUA

### Specifications

MODEL	PTW005	PTW010	PTW020	PTW030	PTW050	PTW100
Rated Capacity on 4 Wheels	500 kg	1 tonne	2 tonne	3 tonne	5 tonne	10 tonne
Rated Capacity per Wheel	125 kg	250 kg	500 kg	750 kg	1.25 tonne	2.5 tonne
Weight (kg)	0.7	1	2.5	3.7	6.2	12.3

### Dimensions (in mm)



MODEL	PTW005	PTW010	PTW020	PTW030	PTW050	PTW100
ØA	62	70	100	114	140	175
ØB	92	100	136	160	190	230
C	9	9	11	13	15	12
D	18	20	24	28	34	53
E	2	2	2	3	3	3.2
F	M16	M20	M24	M30	M36	M48
G	30	35	45	50	60	70



The information shown is to be used as a guide only. Specifications are subject to change without notice. All materials handling or lifting jobs should be assessed individually. Pacific Hoists products are NOT to be used for lifting or lowering persons.

#### HEAD OFFICE

24 Foundry Rd,  
Seven Hills NSW 2147 Australia  
**P** +61 2 8825 6900  
**F** +61 2 8825 6999  
**E** sales@pacifichoists.com.au

#### WESTERN AUSTRALIA

Unit 1, 31 Colin Jamieson Drive,  
Welshpool WA 6106 Australia  
**P** +61 8 6253 1000  
**F** +61 8 9458 9840  
**E** sales@pacifichoists.com.au

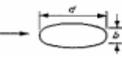
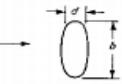
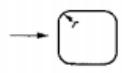
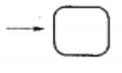
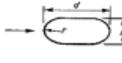
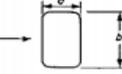
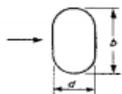
#### NEW ZEALAND

11 Druces Rd,  
Wiri 2104 Auckland New Zealand  
**P** +64 9 263 5566  
**F** +64 9 263 5567  
**E** info@pacifichoists.co.nz

## ANEXO H COEFICIENTE DE FUERZA C1

*NSR-98 – Capítulo B.6 – Fuerzas del viento*

**Tabla B.6.7-8**  
**Coefficientes de fuerza  $C_f$  de edificios revestidos sección uniforme, ejercida en la dirección del viento**

Configuración en planta		$V_s b$ m <sup>2</sup> /s	$C_f$ para una relación altura/frente						
			hasta $\frac{1}{2}$	1	2	5	10	20	$\infty$
	Todas las superficies	<6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2
	Aspera o con proyecciones	≥6							
	lisa	≥6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6
	elipse	<10	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7
	$b/d = 1/2$	≥10	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	elipse	<8	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.7
	$b/d = 2$	≥8	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.5
	$b/d = 1$	<4	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	1.0
	$r/b = 1/3$	≥4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
	$b/d = 1$	<10	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	1.3
	$r/b = 1/6$	≥10	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
	$b/d = 1/2$	<3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4
	$r/b = 1/2$	≥3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3
	$b/d = 1/2$	todos los valores	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7
	$r/b = 1/6$								
	$b/d = 2$	todos los valores	0.9	0.9	1.0	1.1	2	1.5	1.9
	$r/b = 1/12$								
	$b/d = 2$	<6	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.2	1.6
	$r/b = 1/4$	≥6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6

# ANEXO I CABLES PARA RIENDA



## Constitución y medición

### El cable y sus componentes.

Los cables de acero están constituidos por alambres de acero, generalmente trenzados en hélice (espiral) formando las unidades que se denominan torones los cuales posteriormente son cableados al rededor de un centro que puede ser de acero o de fibra. El número de torones en el cable puede variar según las propiedades que se desean obtener.

### Alambres

El alambre es obtenido por estiramiento al reducir el diámetro del alambón, haciéndolo pasar por dados o matrices mediante la aplicación de una fuerza axial.

Las propiedades del alambre dependen básicamente de su composición química, microestructura, nivel de inclusiones, tamaño de grano, segregaciones y condiciones del proceso.

Todos los alambres deben cumplir con los requisitos establecidos en las normas ASTM A 1007, JIS G 3525, API 9A, RRW 410 F, ISO 2232.

### Torones

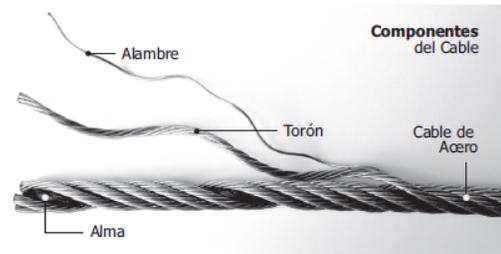
Están formados por alambres que pueden ser todos del mismo o de diferentes diámetros, trenzados helicoidalmente sobre un alma central.

### Alma

El alma o núcleo es el eje central de un cable, alrededor del cual van enrollados los torones. Se utiliza alma de acero, fibra natural o sintética.

### Cable

Conjunto de torones trenzados helicoidalmente alrededor del alma o núcleo.

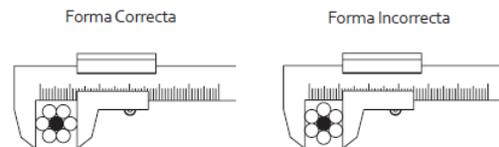


### Dimensiones y Tolerancias.

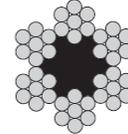
El diámetro del cable cumple con las tolerancias establecidas en la siguiente tabla.

Diámetro de cable en milímetros o pulgadas	TOLERANCIA %		
	Sin carga	5% de MCR	10% de MCR
≤ 10 (3/8")	+6 +2	+5 +1	+4 0
> 10 (3/8")	+5 +2	+4 +1	+3 0

### MEDICIÓN DE DIÁMETRO



## 6X7 ALMA DE FIBRA (AF)



Construcción del Cable	
Item	Cantidad
Torones	6
Torones Externos	6
Capa de Torones	1
Alambres en Cable	30 A 54

Construcción del Torón	
Item	Cantidad
Alambres	5 A 9
Alambres Externos	4 A 8
Capa de Alambres	1

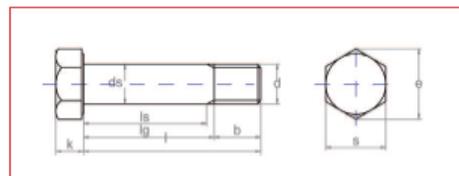
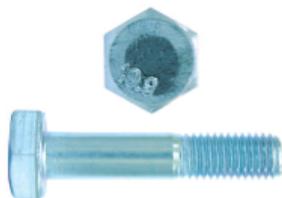
TABLA 2									
Diámetro		Peso Aprox.		Carga mínima de Rotura				Rango Diámetro	
pulg	mm	lb/ft	kg/m	IPS tons	1770 kN	EIPS tons	1960 kN	Min pulg	Max pulg
1/4	6	0.08	0.124	2,64	21,2	2,90	23,4	0,236	0,248
	7	0.09	0.139		28,8		31,9	0,250	0,263
5/16	8	0.11	0.169	4,10	37,6	4,51	41,6	0,276	0,289
	9	0.15	0.217		47,6		52,7	0,313	0,328
3/8	10	0.19	0.279	5,86	58,8	6,45	65,1	0,315	0,331
	11	0.21	0.313		71,1		78,7	0,354	0,372
7/16	12	0.23	0.345	7,93	84,6	8,72	93,7	0,375	0,394
	13	0.28	0.417		99,3		110	0,433	0,455
1/2	14	0.29	0.426	10,3	115	11,3	128	0,438	0,459
	16	0.33	0.497		143		157	0,472	0,496
9/16	18	0.37	0.556	13,0	199,3	14,3	218	0,500	0,525
	19	0.39	0.583		235		260	0,512	0,537
5/8	20	0.45	0.676	15,9	284	25,0	315	0,551	0,579
	22	0.47	0.704		338		375	0,563	0,591
3/4	24	0.58	0.869	22,7	444	33,8	490	0,625	0,656
	26	0.59	0.883		520		575	0,630	0,661
7/8	28	0.75	1.118	30,7	611	43,7	675	0,630	0,661
	30	0.84	1.245		711		785	0,675	0,709
1	34	0.84	1.252	39,7	846	54,8	937	0,748	0,785
	36	0.84	1.252		993		1090	0,750	0,788
1 1/8	40	0.93	1.380	49,8	1157	67,1	1280	0,787	0,827
	42	1.12	1.670		1380		1515	0,866	0,909
1 1/4	48	1.15	1.704	61,0	1770	77,0	1960	0,875	0,919
	50	1.34	1.987		2040		2250	0,945	0,992
1 3/4	56	1.50	2.226	77,0	2332	93,0	2550	1,000	1,050
	58	1.57	2.332		2660		2900	1,024	1,075
2	60	1.82	2.705	93,0	3117	111,0	3400	1,102	1,157
	62	1.89	2.817		3597		3900	1,125	1,181
2 1/4	68	2.34	3.478	111,0	4610	133,0	5000	1,250	1,313
	70	2.34	3.478		5200		5700	1,250	1,313

ANEXO J  
TORNILLO 6914 CALIDAD 10.9 ZINCADO

**Tornillería Hexagonal**

**TORNILLO PARA ESTRUCTURAS METÁLICAS**

**DIN 6914 CALIDAD 10.9 ZINCADO**

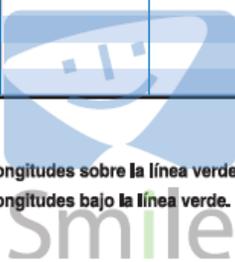


MÉTRICA	M-12	M-16	M-20	M-22	M-24	M-27	M-30
Paso	1,75	2	2,5	2,5	3	3	3,5
b1	21	26	31	32	34	37	40
b2	23	28	33	34	37	39	42
k	8	10	13	14	15	17	19
s	22	27	32	36	41	46	50

L	M-12	M-16	M-20	M-22	M-24	M-27	M-30
30	•						
35	•						
40	•	•					
45	•	•	•				
50	•	•	•	•			
55	•	•	•	•			
60	•	•	•	•	•		
65	•	•	•	•	•	•	
70		•	•	•	•	•	•
75		•	•	•	•	•	•
80		•	•	•	•	•	•
85		•	•	•	•	•	•
90		•	•	•	•	•	•
95		•	•	•	•	•	•
100		•	•	•	•	•	•
105			•	•	•	•	•
110		•	•	•	•	•	•
115			•	•	•	•	•
120		•	•	•	•	•	•
125			•	•	•	•	•
130			•	•	•	•	•
140			•	•	•	•	•
145				•	•	•	•
150				•	•	•	•
160					•	•	•

b1) Para longitudes sobre la línea verde.

b2) Para longitudes bajo la línea verde.

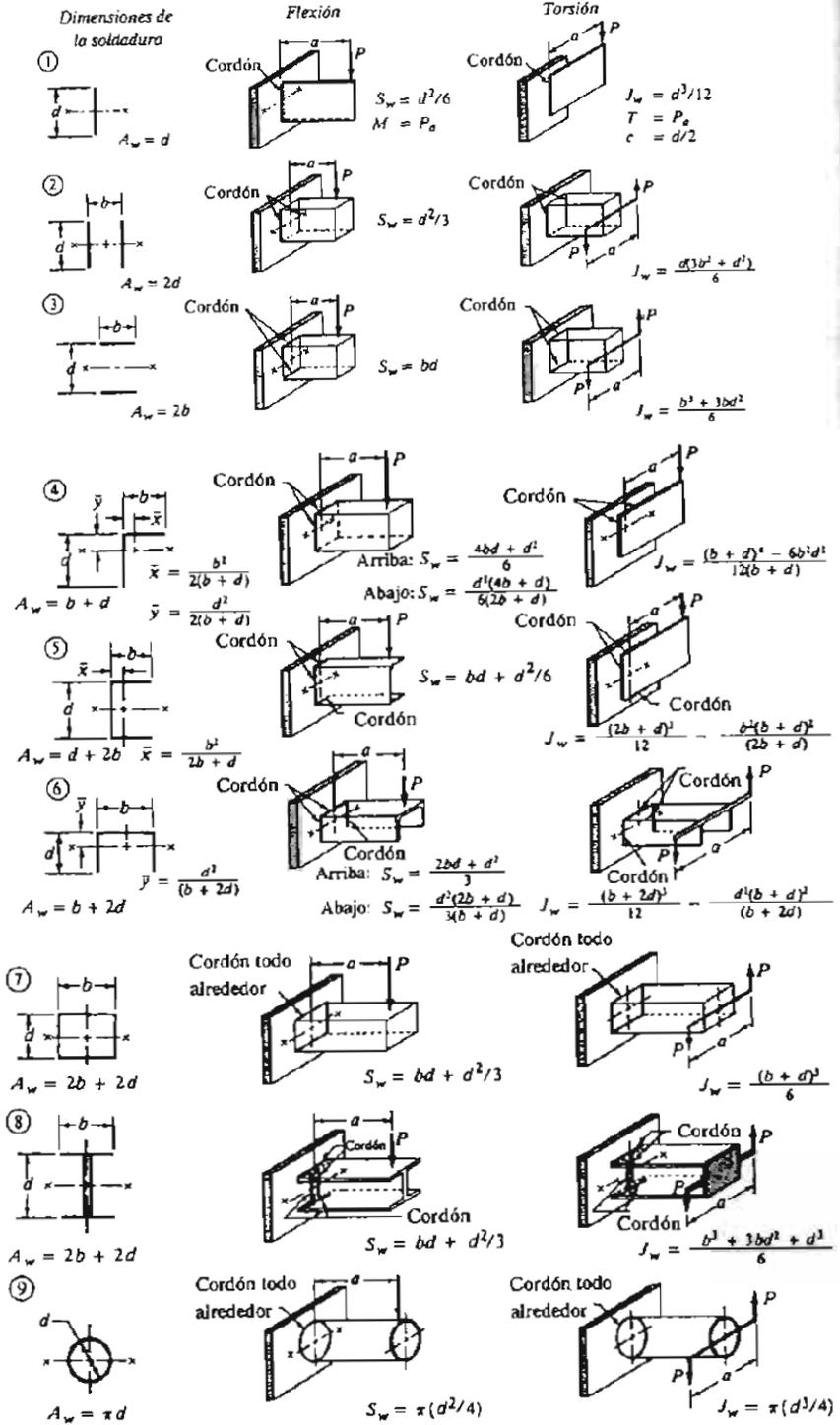


# ANEXO K FACTORES GEOMETRICOS PARA EL ANALISIS DE SOLDADURA

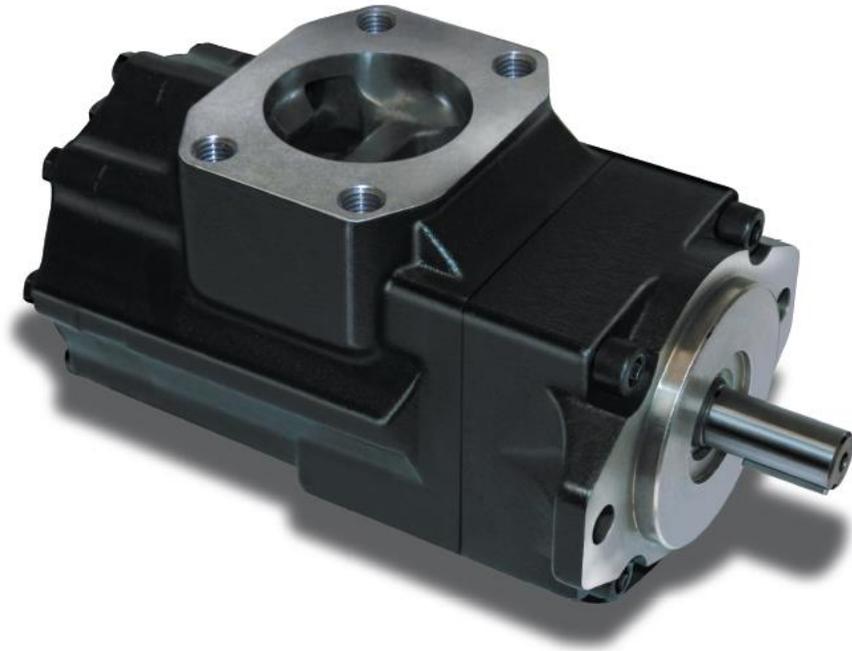
786

Capítulo 20 ■ Bastidores de máquina, conexiones atornilladas y uniones soldadas

**FIGURA 20-8**  
Factores geométricos para el análisis de soldaduras



ANEXO L  
BOMBA HIDRÁULICA



**Mobile Hydraulic Pumps  
T6CCZ**

Denison Vane Technology, fixed displacement

aerospace  
climate control  
electromechanical  
filtration  
fluid & gas handling  
**hydraulics**  
pneumatics  
process control  
sealing & shielding



ENGINEERING YOUR SUCCESS.

**Ordering Code**

Model N°.

Series - SAE B 2 bolts  
Mounting flange J 744 c

One letter can be added to specify special parts in series

Cam ring for "P1" and "P2"  
(Delivery at 0 bar & 1500 r.p.m.)

- B03 = 16,2 l/min
- B05 = 25,8 l/min
- B06 = 31,9 l/min
- B08 = 39,6 l/min
- B10 = 51,1 l/min
- B12 = 55,6 l/min
- B14 = 69,0 l/min
- B17 = 87,4 l/min
- B20 = 95,7 l/min
- B22 = 105,4 l/min
- B25 = 118,9 l/min
- B28 = 133,2 l/min
- B31 = 150,0 l/min

Type of shaft  
X = keyed  
V = keyed  
W = keyed

T6CCZ - B22 - B10 - X R 00 - A - 1 00 -



Modifications

Mounting W/ connection variables

	P1 = 1"		S = 2"	
	UNC		Metric	
P2	1"	3/4"	1"	3/4"
Code	00	01	0M	W0
	P1 = 1"		S = 2.1/2"	
	UNC		Metric	
P2	1"	3/4"	1"	3/4"
Code	10	11	1M	W1

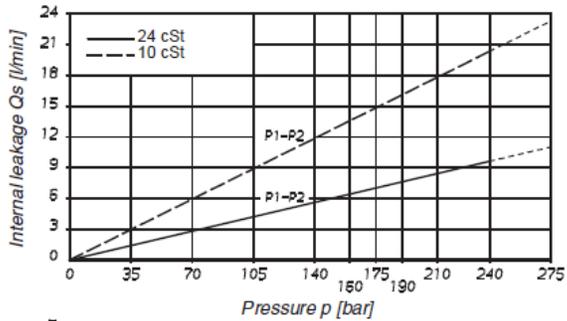
Seal class  
1 = S1 - BUNA N (for mineral oil)

Design letter

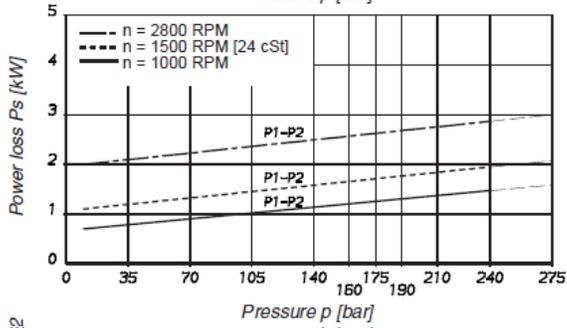
Porting combination (see page 3)

Direction of rotation (view on shaft end)  
R = clockwise  
L = counter-clockwise

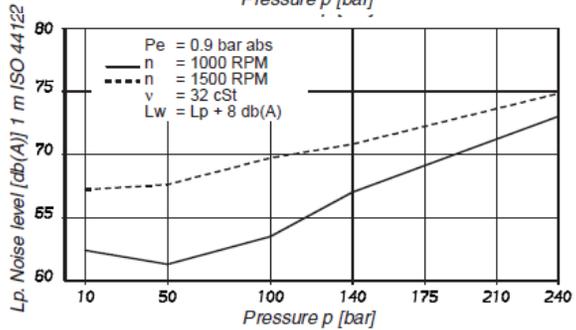
**INTERNAL LEAKAGE (TYPICAL)**



**POWER LOSS HYDROMECHANICAL (TYPICAL)**



**NOISE LEVEL (TYPICAL)**





# ANEXO M CILINDRO TELESCÓPICO

## *Bleederless Telescopic*

### **Bleederless Telescopic Cylinders**

Innovative Mobile Solutions From  
Mobile Cylinder Division



#### **Customer**

##### **Unmet Need:**

Bleeding cylinders is a tough dirty job for the dump truck and trailer industry. No one really wants to bleed the cylinder because it is a dirty, dangerous, and environmentally hazardous job as the mechanic must climb in and out of the dump bed to adjust the bleeder screw. Failure to bleed the cylinder will result in early cylinder failure in addition to cylinder mis-staging, and excessive costly hydraulic repairs.

##### **Solution:**

Parker has developed a special bleed system that is incorporated into the cylinder that allows air to bleed every time the dump bed goes up and down. This keeps the cylinder free of air and as a result the bleeding of oil and air is eliminated.



#### **Contact Information:**

Parker Hannifin Corporation  
**Mobile Cylinder Division**  
1775 Logan Avenue  
Youngstown, Ohio 44505

phone 800 848 5575  
fax 800 694 3392  
mcdsales@parker.com

www.parker.com

HY18-0027/US



#### **Value Added:**

- Fleets using Parker's high quality cylinders will benefit by saving the labor charges from bleeding cylinders through out the life time of the Dump Bed \$800-\$2400.
- OEM's save a minimum of 1/2 gallon of hydraulic oil to 4.5 gallons of oil on 8" and 9" cylinders. For a trailer manufacturer selling 500 a year this would save \$23,625 a year.

#### **Product Features:**

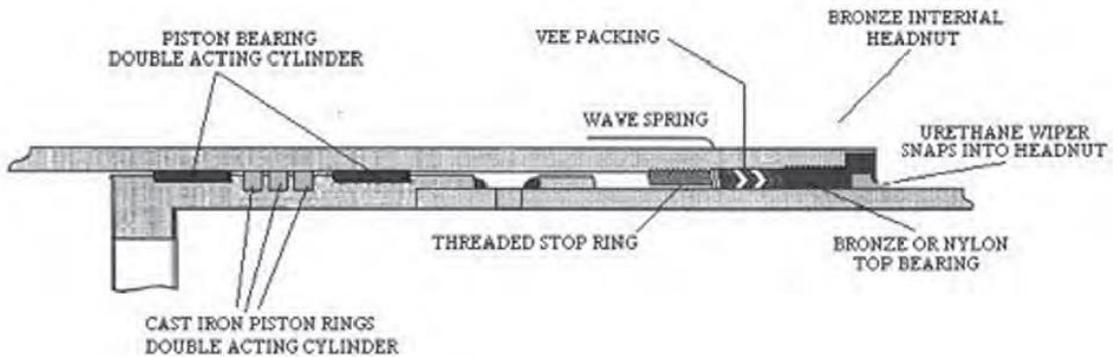
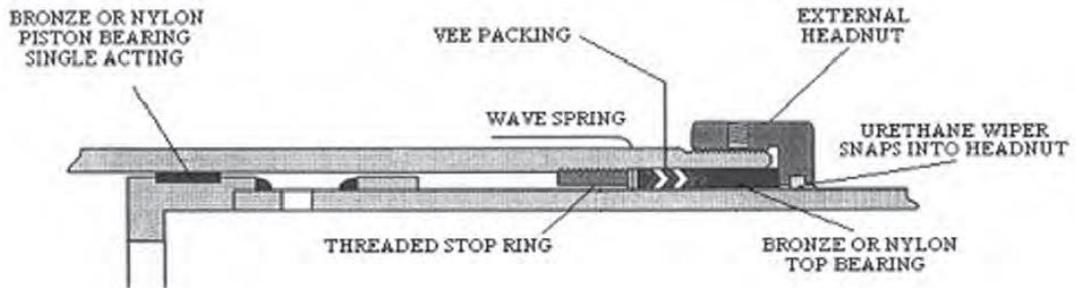
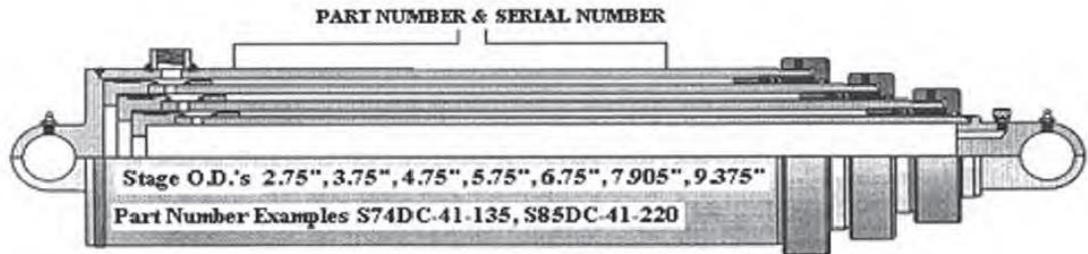
- No air to bleed
- No speedy dry to sweep
- No EPA to deal with
- No more climbing into dirty beds
- Fewer hydraulic repairs
- Completely interchangeable with all manufacturers cylinders
- Size Range from 4" to the largest 9" cylinders
- Reduced weight over standard cylinders with bleeder screws

ENGINEERING YOUR SUCCESS.





**TELESCOPIC CYLINDERS  
SINGLE & DOUBLE ACTING**  
HOW TO IDENTIFY  
PARKER (COMMERCIAL INTERTECH)  
CYLINDERS.



## Hydraulic Cylinder Load & Displacements

### “ S ” SERIES SINGLE-ACTING, SINGLE & MULTIPLE STAGE CYLINDERS

Sleeve or Plunger O.D. (in inches)	Effective Area in square inches	Load Capacity lbs @ 2000 p.s.i.	Displacement per inch of stroke in gallons *
1.75"	2.41"	4,811	0.010
2.75"	5.94"	11,880	0.026
3.75"	11.04"	22,089	0.048
4.75"	17.72"	35,441	0.077
5.75"	25.97"	51,935	0.112
6.75"	35.78"	71,570	0.155
7.90"	49.02"	98,034	0.212
9.38"	69.03"	138,059	0.299
10.75"	90.76"	181,526	0.393
12.50"	122.72"	245,438	0.531
14.00"	153.94"	307,877	0.666

### “ SD ” SERIES DOUBLE-ACTING, MULTIPLE STAGE CYLINDER

Sleeve or Plunger O.D. (in inches)	Bore of Main or Sleeve (in inches)	Effective area (sq. inches) to extend	Effective area (sq. inches) to retract	Load capacity lbs @ 2000 p.s.i. extending	Load capacity lbs @ 2000 p.s.i. retracting	Displacement per inch of stroke (in gallons)* to extend	Displacement per inch of stroke (in gallons)* to retract
1.75"	2.25"	3.98"	1.57"	7,952	3,142	0.017	0.007
2.75"	3.25"	8.29"	2.35"	16,592	4,712	0.036	0.010
3.75"	4.25"	14.18"	3.14"	28,372	6,283	0.061	0.014
4.75"	5.25"	21.64"	3.92"	43,296	7,854	0.094	0.017
5.75"	6.25"	30.68"	4.71"	61,360	9,426	0.133	0.020
6.75"	7.25"	41.28"	5.49"	82,564	10,994	0.179	0.024
7.90"	8.44"	55.68"	6.97"	111,360	13,946	0.242	0.030
9.38"	9.88"	76.59"	7.56"	153,180	15,120	0.332	0.033
10.75"	11.50"	103.87"	13.11"	207,738	26,213	0.450	0.057
12.50"	13.00"	132.73"	10.01"	265,465	20,028	0.575	0.043
14.00"	14.50"	165.13"	11.19"	330,261	22,384	0.715	0.048

**Note: The Effective area to RETRACT a Standard “SD” series double acting multiple stage cylinder is the effective area of the PLUNGER (plunger bore area minus the plunger O.D. area).**

Example: Retract force for a SD94CC-8-190 (which has 5.75" O.D. plunger and fits in 6.25" bore) would be 9,426 lbs @ 2,000 psi, based on a 4.71 sq. in. effective area.

**To calculate load capacity / cylinder force:** Multiply effective area times operating pressure (psi)

Example: 19.63 Square inches x 1750 P.S.I = 34,361 lbs of force

**To calculate the required gallons of fluid to extend a cylinder:**

Add each “Displacement per inch of stroke” (from chart) for the required sleeve sizes.

Divide this total by the number of moving sleeves, then multiply that total by the desired cylinder stroke.

**Note: The “Gallons required to extend” does not include the necessary fluid to fill an empty cylinder.**

Example: Required fluid to extend a S83DC-40-134 single-acting telescopic cylinder with following stage sizes:

$$5.75" \text{ O.D.} = .112$$

$$6.75" \text{ O.D.} = .155$$

$$7.90" \text{ O.D.} = .210$$

$$.477$$

$$.477 \div 3 = .159 \text{ gallons per inch of stroke}$$

$$.159 \text{ gallons per inch} \times 134" \text{ of stroke} = 21.31 \text{ gallons to extend cylinder}$$



## ANEXO N TOMA DE FUERZA

### Mechanical Six Bolt Power Take-Offs

#### 290 Series

- 290 Series fits the Eaton's 4106 used in Mack Midliners and Mack's T2060A transmissions
- Mounts directly to transmissions, no geared adapters needed
- Cast iron housing for strength and tapered cone bearings for increased load capacity



#### Specifications Chart – 290 Series

	290°F	290*L	290*Q	290*U
Standard Output Shaft Size	1-1/4" Round w/key			
Intermittent Torque Rating (Lbs. ft.)	175	175	175	175
Intermittent Torque Rating (N.m.)	237	237	237	237
Horsepower Rating for Intermittent Service				
At 500 R.P.M. of Output Shaft (HP)	17	17	17	17
At 1000 R.P.M. of Output Shaft (HP)	33	33	33	33
At 500 R.P.M. of Output Shaft (Kw)	12	12	12	12
At 1000 R.P.M. of Output Shaft (Kw)	25	25	25	25
Approximate Weight:	37 lbs. [16.8 kg]			

#### 442 Series

- Engineered to work with virtually all existing transmission applications
- Economical workhorse features a cast iron housing
- Tapered cone bearings for high torque rating and long service life
- Slip fit idler pin for easy interchange from one transmission to another
- Easy to set backlash
- Wide range of shift and output options



#### Specifications Chart – 442 Series

	442*A	442*B	442*C	442*F	442*H	442*L	442*Q	442*R	442*S	442*U	442*W	442*X
Standard Output Shaft Size	1-1/4" Round w/key											
Intermittent Torque Rating (Lbs. ft.)	250	250	250	250	250	250	225	225	200	195	175	140
Intermittent Torque Rating (N.m.)	339	339	339	339	339	339	305	305	271	264	237	190
Horsepower Rating for Intermittent Service												
At 500 R.P.M. of Output Shaft (HP)	24	24	24	24	24	24	21	21	19	19	17	13
At 1000 R.P.M. of Output Shaft (HP)	48	48	48	48	48	48	43	43	38	37	33	27
At 500 R.P.M. of Output Shaft (Kw)	18	18	18	18	18	18	16	16	14	14	12	10
At 1000 R.P.M. of Output Shaft (Kw)	36	36	36	36	36	36	32	32	28	28	25	20
Approximate Weight:	21 lbs. [9.5 kg]											



 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

## AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES

Yo **Hermes Pulido Duarte** en calidad de titular de la obra **Diseño de un sistema de elevación de una tea portátil para el quemado de gases de pozos petroleros de prueba**, elaborada en el año **2015**, autorizo al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que me corresponde y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autor manifiesto conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.

	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autor establezco las siguientes condiciones de uso de mi obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:


**Atribución- no comercial- sin derivar:** permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.


**Atribución – no comercial:** permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.


**Atribución – no comercial – compartir igual:** permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.

Licencias completas: [http://co.creativecommons.org/?page\\_id=13](http://co.creativecommons.org/?page_id=13)

**Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a su autor.**

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá, a los 10 días del mes de Noviembre del año 2016.

**EL AUTOR:**

Autor 1	
Nombres	Apellidos
Hermes	Pulido Duarte
Documento de identificación No	Firma
CC. 1032434183 de Bogotá	