



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES: GALARZA MALDONADO, KARINA ELIZABETH  
VACA BRITO, ELENA LISSETH**

**TEMA: DISEÑO DE UN CAMIÓN DE VACÍO CON UNA  
CAPACIDAD DE 120 BBL Y ELABORACIÓN DE SU  
RESPECTIVA GUÍA DE CALIDAD Y FABRICACIÓN MEDIANTE  
NORMAS INTERNACIONALES PARA INDUSTRIA ACERO DE  
LOS ANDES S.A**

**DIRECTOR: ING. TUMIPAMBA, EMILIO**

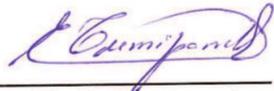
**CODIRECTOR: ING. VILLAVICENCIO, ÁNGELO**

**SANGOLQUÍ**

**2015**

## CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “**DISEÑO DE UN CAMIÓN DE VACÍO CON UNA CAPACIDAD DE 120 BBL Y ELABORACIÓN DE SU RESPECTIVA GUÍA DE CALIDAD Y FABRICACIÓN MEDIANTE NORMAS INTERNACIONALES PARA INDUSTRIA ACERO DE LOS ANDES S.A**” fue realizado en su totalidad por las señoritas Karina Elizabeth Galarza Maldonado y Elena Lisseth Vaca Brito, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniera Mecánica.



Ing. Emilio Tumipamba  
DIRECTOR



Ing. Ángelo Villavicencio  
CODIRECTOR

Sangolquí, Julio de 2015

## AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

**Nosotras, KARINA ELIZABETH GALARZA MALDONADO Y  
ELENA LISSETH VACA BRITO**

### DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado titulado “**DISEÑO DE UN CAMIÓN DE VACÍO CON UNA CAPACIDAD DE 120 BBL Y ELABORACIÓN DE SU RESPECTIVA GUÍA DE CALIDAD Y FABRICACIÓN MEDIANTE NORMAS INTERNACIONALES PARA INDUSTRIA ACERO DE LOS ANDES S.A**”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme a las citas y notas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención

---

Karina Elizabeth Galarza Maldonado  
1719242560

---

Elena Lisseth Vaca Brito  
1724300973

Sangolquí, Julio de 2015

## AUTORIZACIÓN

**Nosotras, KARINA ELIZABETH GALARZA MALDONADO Y  
ELENA LISSETH VACA BRITO**

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto de grado titulado **“DISEÑO DE UN CAMIÓN DE VACÍO CON UNA CAPACIDAD DE 120 BBL Y ELABORACIÓN DE SU RESPECTIVA GUÍA DE CALIDAD Y FABRICACIÓN MEDIANTE NORMAS INTERNACIONALES PARA INDUSTRIA ACERO DE LOS ANDES S.A”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

---

Karina Elizabeth Galarza Maldonado  
1719242560

---

Elena Lisseth Vaca Brito  
1724300973

Sangolquí, Julio de 2015

## DEDICATORIA

*Para Alex, Samy, Saúl, Andrés, Alice y Jessi con la esperanza de que en su búsqueda de nuevas conquistas y aventuras tomen las decisiones correctas con la guía de Dios y su familia manteniendo la esencia de sus corazones.*

*Con todo el amor de mi corazón les deseo una vida llena de felicidad*

**Karina**

*Todo el esfuerzo del presente proyecto va dedicado a mis padres, José y Marcia, por motivarme constantemente a alcanzar mis metas, porque a través de su lucha diaria me enseñan a creer que todo es posible y sobre todo por su amor incondicional que la vida no me alcanza para devolver.*

**Liseth**

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecerles a Dios y a mi Virgen por darme la fortaleza para seguir adelante a pesar de todas las dificultades.

A mis padres Carlos y Gloria por inculcarme valores como honestidad, respeto y humildad que siempre formarán parte de mi vida personal y profesional.

A Daysi mi compañera de aventuras y travesuras, por siempre lograr dibujarme una sonrisa a pesar de creer que es difícil lograrlo en mí.

A Santiago mi ejemplo a seguir, por escucharme y brindarme su consejo sin que yo pronuncie palabra.

A Anita, por confiar siempre en mí.

A mi mamita Jesús por regalarme la mejor niñez de mi vida gracias a su ternura y amor incondicional, por siempre sonreír y disfrutar como nadie con cada detalle, por sus ocurrencias, por demostrarme que el amor de una madre es infinito y por transmitirlo no sólo a sus hijos, sino a todos los que han tenido el privilegio de conocerla.

A mis tías, tíos, primas y primos por ser mis segundos padres, herman@s y amig@s, en especial a Arturo, gracias por tu apoyo y cariño.

A Liss mi amiga y hermana, gracias por ser mi apoyo en todo momento. Dios nos llena de bendiciones y tu amistad es una de las mayores bendiciones de mi vida.

A mis queridos amigos con los que tuve el privilegio de compartir mi vida universitaria y de los cuales me llevo un pedacito de su esencia, especialmente a Belén, Sonia, Majo, Xavy, Alejo y Luis. El encanto de la vida depende en gran parte de las grandes amistades que cultivamos y ustedes han hecho que mi vida esté llena de momentos felices.

**Karina**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, por las lecciones de vida y por darme las herramientas necesarias para crecer personal y profesionalmente.

A Eduardo, por ser mi ejemplo a seguir y demostrar que con esfuerzo todo es posible.

A Giany, por mostrarme siempre otra perspectiva de la vida y enseñarme el valor de las cosas que no son visibles para los ojos.

A mis sobrinos, Miguel Ángel y María Paz, que con su alegría y ternura dan color a la vida.

A Karina, mi compañera y amiga, gracias por todo el esfuerzo y constante apoyo durante la culminación de esta meta, gracias por compartir alegrías y tristezas, por tu valiosa amistad que ha sido una gran bendición.

A Luis, por su amor, apoyo y comprensión a lo largo del camino, especialmente por ser siempre viento para mis alas.

A mis amigos, Paty, Villa, Ronald, Alexis, Felipe, Beto, Sebas, Diego y Alejo que son parte esencial de mi vida, por todos los momentos compartidos durante tantos años.

**Lisseth**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO .....	I
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	II
AUTORIZACIÓN.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
LISTA DE ANEXOS.....	XVI
GLOSARIO.....	XIX
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
<b>GENERALIDADES</b> .....	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.3 OBJETIVOS .....	5
1.3.1 GENERAL .....	5
1.3.2 ESPECÍFICOS.....	5
1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....	5
1.5 ALCANCE .....	6
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>8</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>8</b>
2.1 CAMIÓN DE VACÍO .....	8
2.1.1 CAMIONES DE VACÍO FABRICADOS EN EL PAÍS.....	9
2.1.2 CAMIONES DE VACÍO INTERNACIONALES DISPONIBLES EN EL PAÍS.....	10
2.2 NORMAS Y REGLAMENTOS QUE RIGEN EL DISEÑO .....	12
2.2.1 ASME.....	12
2.2.2 API 2219. Operación Segura de Camiones de Vacío en Servicios Petroleros .....	14
2.2.3 DOT 407 Y 412.....	14
2.2.4 MTOP.....	16
2.3 COMPONENTES DEL CAMIÓN DE VACÍO .....	20
2.3.1 CAMIONES PESADOS DE CARGA.....	22
2.3.2 RECIPIENTES A PRESIÓN .....	31
2.3.3 BOMBAS DE VACÍO.....	32
2.3.4 VÁLVULAS Y ACCESORIOS .....	35
2.3.4.1 VÁLVULAS.....	35
2.3.4.2 ABERTURA DE ACCESO (MANHOLE) .....	37
2.3.4.3 TRAMPA DE CIERRE PRIMARIA (PRIMARY SHUT OFF) .....	37

2.3.4.4	TRAMPA DE CIERRE SECUNDARIA.....	38
2.3.4.5	TRAMPA DE ACEITE .....	39
2.3.5	INSTRUMENTACIÓN.....	39
2.3.5.1	MEDIDORES DE NIVEL.....	39
2.3.5.2	VACUÓMETRO .....	41
2.4	ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.....	41
	<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>43</b>
	<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y DISEÑO CONCEPTUAL.....</b>	<b>43</b>
3.1	CONSIDERACIONES PARA ESTABLECER LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS .....	43
3.2	LA CASA DE LA CALIDAD.....	43
3.2.1	VOZ DEL USUARIO .....	44
3.2.2	VOZ DEL INGENIERO.....	44
3.2.3	RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	45
3.3	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	46
3.4	ANÁLISIS FUNCIONAL.....	48
3.4.1	DESARROLLO Y ANÁLISIS DE LOS DIAGRAMAS FUNCIONALES ..	50
3.5	MODULARIDAD.....	52
3.5.1	DIVISIÓN MODULAR.....	53
3.5.2	SOLUCIONES PARA CADA MÓDULO .....	55
3.5.2.1	MÓDULO 1.....	55
3.5.2.2	MÓDULO 2.....	58
3.5.2.3	MÓDULO 3.....	63
3.5.2.4	MÓDULO 4.....	73
3.5.3	ALTERNATIVAS DE CADA MÓDULO.....	80
3.5.3.1	ALTERNATIVAS PARA EL MÓDULO 1 .....	80
3.5.3.2	ALTERNATIVAS PARA EL MÓDULO 2 .....	81
3.5.3.3	ALTERNATIVAS PARA EL MÓDULO 3 .....	81
3.5.3.4	ALTERNATIVAS PARA EL MÓDULO 4 .....	82
3.5.4	EVALUACIÓN Y SELECCIÓN PARA CADA MÓDULO .....	83
3.5.4.1	EVALUACIÓN Y SELECCIÓN PARA EL MÓDULO 1.....	83
3.5.4.2	EVALUACIÓN Y SELECCIÓN PARA EL MÓDULO 2.....	85
3.5.4.3	EVALUACIÓN Y SELECCIÓN PARA EL MÓDULO 3.....	87
3.5.4.4	EVALUACIÓN Y SELECCIÓN PARA EL MÓDULO 4.....	89
	<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>92</b>
	<b>DISEÑO MECÁNICO, SELECCIÓN DE LA BOMBA Y ACCESORIOS.....</b>	<b>92</b>
4.1	DIMENSIONAMIENTO DEL RECIPIENTE .....	92
4.2	REQUERIMIENTOS Y PARÁMETROS DE DISEÑO .....	96
4.2.1	SELECCIÓN DE MATERIALES.....	101
4.3	DISEÑO MECÁNICO .....	103
4.3.1	DISEÑO POR PRESIÓN INTERNA.....	104

4.3.1.1	CÁLCULO DE LOS ESPESORES DEL CUERPO .....	104
4.3.1.2	CÁLCULO DE LOS ESPESORES DE LAS CABEZAS.....	105
4.3.2	DISEÑO POR PRESIÓN EXTERNA .....	107
4.3.2.1	ANILLOS DE REFUERZO.....	107
4.3.2.2	CÁLCULO DEL ESPESOR DEL CUERPO.....	113
4.3.2.3	CÁLCULO DE LOS ESPESORES DE LAS CABEZAS.....	116
4.3.3	CÁLCULO DE LA MÁXIMA PRESIÓN DE DISEÑO PERMITIDA (MAWP).....	118
4.3.4	CÁLCULO DE LA PRESIÓN DE PRUEBA.....	120
4.3.5	ALARGAMIENTO DE LA FIBRA EN CONFORMADO EN FRÍO.....	121
4.3.6	CÁLCULO DE LAS ABERTURAS .....	123
4.3.7	CÁLCULO DE LAS OREJAS DE IZAJE .....	160
4.4	SELECCIÓN DE LA BOMBA.....	165
4.5	SELECCIÓN DE LOS ACCESORIOS .....	170
4.5.1	TRAMPA DE CIERRE PRIMARIA (PRIMARY SHUT-OFF).....	170
4.5.2	TRAMPA DE CIERRE SECUNDARIA (SECONDARY SHUT-OFF).....	171
4.5.3	ABERTURA DE ACCESO (MANHOLE).....	173
4.5.4	VÁLVULAS DE SUCCIÓN Y DESCARGA .....	174
4.5.5	VACUÓMETRO.....	176
4.5.6	INDICADOR DE NIVEL DE TUBO .....	176
4.5.7	VÁLVULA DE ALIVIO DE PRESIÓN Y VACÍO .....	177
4.6	SELECCIÓN DEL CAMIÓN .....	182
4.6.1	CÁLCULO DE LAS REACCIONES EN CUMPLIMIENTO CON EL M <sub>TOP</sub> .....	183
<b>CAPÍTULO 5.....</b>		<b>190</b>
<b>GUÍA DE CALIDAD Y FABRICACIÓN.....</b>		<b>190</b>
5.1	INTRODUCCIÓN.....	190
5.2	ORGANIGRAMA DE IAA .....	190
5.3	CONTROL DE DISEÑO .....	192
5.3.1	REQUISITOS DE DISEÑO .....	192
5.3.2	RESPONSABILIDADES.....	192
5.3.3	REVISIÓN Y CONTROL DE PLANOS, CÁLCULOS Y ESPECIFICACIONES.....	193
5.3.4	PROGRAMA DE EXÁMENES E INSPECCIONES.....	194
5.4	RECURSOS ESPECÍFICOS DEL PRODUCTO.....	194
5.4.1	REVISIÓN Y CONTROL DE PEDIDOS.....	194
5.4.1.1	PEDIDO DE MATERIALES.....	195
5.4.2	INSPECCIÓN A LA RECEPCIÓN.....	196
5.4.2.1	IDENTIFICACIÓN .....	198
5.4.3	CONTROL DE LOS DISPOSITIVOS DE SEGUIMIENTO Y MEDICIÓN.....	199

5.5 REALIZACIÓN DEL PRODUCTO.....	200
5.5.1 IDENTIFICAR Y CONTROLAR LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN.....	200
5.5.1.1 SOLDADURA Y OPERADORES DE SOLDADURA.....	201
5.5.1.1.1 CALIFICACIÓN DE SOLDADORES Y OPERADORES DE SOLDADURA.....	201
5.5.1.1.2 RECALIFICACIÓN DE SOLDADORES Y OPERADORES DE SOLDADURA.....	201
5.5.1.1.3 MANTENIMIENTO DE LAS CALIFICACIONES DE LOS SOLDADORES.....	202
5.5.1.1.4 MATERIAL DE SOLDADURA.....	202
5.5.1.1.5 PROCESOS DE SOLDADURA.....	203
5.5.1.2 TRATAMIENTO TÉRMICO.....	203
5.5.1.3 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS .....	204
5.6 INSPECCIONES FINALES Y ACCIONES DE MEJORA.....	204
5.6.1 INSPECCIÓN FINAL.....	205
5.6.2 ENSAYO DE PRESIÓN.....	205
5.6.3 REPORTES DE DATOS DEL FABRICANTE .....	205
5.6.4 CONTROL DEL PRODUCTO NO CONFORME.....	205
5.6.5 ACCIONES CORRECTIVAS.....	206
<b>CAPÍTULO 6.....</b>	<b>208</b>
<b>ANÁLISIS DE COSTOS .....</b>	<b>208</b>
6.1 COSTOS DIRECTOS.....	208
6.2 COSTOS INDIRECTOS .....	212
<b>CAPÍTULO 7.....</b>	<b>215</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>215</b>
7.1 CONCLUSIONES.....	215
7.2 RECOMENDACIONES.....	219
BIBLIOGRAFÍA .....	221
ANEXOS	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Instalaciones de Industria Acero de los Andes .....	1
Figura 2. Principales clientes de IAA .....	3
Figura 3. Camión de vacío fabricado en el Ecuador .....	9
Figura 4. Camión de vacío fabricado por CUSCO con el método de descarga por gravedad .....	12
Figura 5. Camión de vacío fabricado por DRAGON LTD.....	12
Figura 6. Tabla Nacional de Pesos y Dimensiones.....	17
Figura 7. Tabla Nacional de Pesos y Dimensiones: Posibles comb. ....	18
Figura 8. Componentes de un camión de vacío.....	21
Figura 9. Esquema de un camión simple .....	22
Figura 10. Tipos de camiones simples.....	23
Figura 11. Camión simple utilizado en un tanque cargado al vacío .....	24
Figura 12. Esquema de un trailer.....	24
Figura 13. Esquema de un tren de carretera .....	25
Figura 14. Tipos de tracto camiones.....	25
Figura 15. Tracto camión de dos ejes.....	26
Figura 16. Tracto camión de dos ejes.....	26
Figura 17. Semirremolque de dos ejes para un recipiente de vacío .....	28
Figura 18. King pin empernado.....	30
Figura 19. Quinta rueda .....	30
Figura 20. Soporte Telescópicos .....	31
Figura 21. Bomba de paletas deslizantes .....	33
Figura 22. Bomba de anillo líquido.....	34
Figura 23. Bomba de lóbulos rotativos (dos lóbulos) .....	35
Figura 24. Válvula limitadora de presión.....	35
Figura 25. Válvula limitadora de vacío .....	36
Figura 26. Válvula de bola .....	36
Figura 27. Válvula de mariposa .....	37
Figura 28. Manhole .....	37
Figura 29. Trampa de cierre primaria.....	38
Figura 30. Trampa de cierre secundario .....	38
Figura 31. Trampa de aceite .....	39
Figura 32. Mirillas de inspección de plástico y vidrio .....	39
Figura 33. Cristal de medición .....	40
Figura 34. Flotador.....	40
Figura 35. Vacuómetro .....	41
Figura 36. Análisis funcional nivel 0.....	50
Figura 37. Análisis funcional nivel 1 .....	51
Figura 38. Análisis funcional nivel 2. Modo de operación succión .....	52

Figura 39. Análisis funcional nivel 2. Modo de operación descarga.....	52
Figura 40. División Modular .....	53
Figura 41. Módulo 1 .....	54
Figura 42. Módulo 2.....	54
Figura 43. Módulo 3 .....	55
Figura 44. Módulo 4 .....	55
Figura 45. Camión simple con el recipiente sobre el chasis .....	56
Figura 46. Tracto camión con el recipiente sobre el semirremolque.....	57
Figura 47. Conexión a tierra: Bonding and Grounding.....	59
Figura 48. Conexión a tierra: Bonding .....	60
Figura 49. Conexión a tierra: Grounding.....	61
Figura 50. Mangueras de succión de un camión de vacío.....	61
Figura 51. Camión de vacío accionado por correas.....	64
Figura 52. Accionamiento por motor auxiliar.....	65
Figura 53. Esquema de un accionamiento hidráulico .....	66
Figura 54. Accionamiento hidráulico .....	67
Figura 55. Bomba de paletas deslizantes 607 Challenger .....	68
Figura 56. Bomba de vacío de anillo líquido.....	70
Figura 57. Bomba con dos modos de operación.....	71
Figura 58. Método de descarga de un camión de vacío .....	72
Figura 59. Camión de vacío con mirillas de inspección .....	74
Figura 60. Camión de vacío con tubo de medición .....	75
Figura 61. Camión de vacío con flotador .....	76
Figura 62. Vacuómetro instalado en las líneas de un camión de vacío .....	77
Figura 63. Cabeza toriesférica.....	78
Figura 64. Cabeza semielíptica.....	79
Figura 65. Relaciones dimensionales de una cabeza toriesférica .....	94
Figura 66. Categoría de la junta.....	97
Figura 67. Distribución de los anillos de refuerzo .....	112
Figura 68. Esquema general de una boca .....	123
Figura 69. Esquema de una boca no radial .....	127
Figura 70. Cargas en las juntas soldadas de las bocas .....	152
Figura 71. Ejemplo de soldadura en una boca .....	153
Figura 72. Localización de las orejas de izaje .....	163
Figura 73. Esfuerzos cortantes y fuerzas sobre soldaduras .....	165
Figura 74. Consumo de combustible aproximado.....	169
Figura 75. Máximos rangos de presión y temperatura.....	175
Figura 76. Presiones de seteo y reseteo de la válvula.....	182
Figura 77. Esquema de las reacciones y cargas .....	184
Figura 78. Representación de las cargas sobre el semirremolque .....	185
Figura 79. Representación de las cargas sobre los ejes del cabezal .....	186
Figura 80. Representación de las cargas sobre el semirremolque .....	187

Figura 81. Reacciones en el tracto camión.....	188
Figura 82. Etiqueta de material aceptado .....	196
Figura 83. Etiqueta de material pendiente .....	197
Figura 84. Etiqueta de calibración.....	199

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos mínimos para el cumplimiento del código DOT .....	15
Tabla 2. Volúmenes máximos permitidos según MTOP. ....	20
Tabla 3. Diferencia entre remolque y semirremolque .....	27
Tabla 4. Tipos de configuraciones de remolques y semirremolques para recipientes a presión .....	27
Tabla 5. Ventajas y desventajas de la suspensión mecánica y neumática. ....	29
Tabla 6. Lista de especificaciones .....	48
Tabla 7. Simbología para la estructura funcional .....	49
Tabla 8. Representación de las soluciones. ....	80
Tabla 9. Alternativas para el módulo 1.....	80
Tabla 10. Alternativas para el módulo 2.....	81
Tabla 11. Alternativas para el módulo 3 en modo succión.....	81
Tabla 12. Alternativas para el módulo 3 en modo descarga. ....	82
Tabla 13. Alternativas para el módulo 4.....	82
Tabla 14. Ponderación de los criterios de selección para el módulo 1. ....	83
Tabla 15. Evaluación de las alternativas para el módulo 1. ....	84
Tabla 16. Conclusiones para el módulo 1.....	85
Tabla 17. Ponderación de los criterios de selección para el módulo 2. ....	85
Tabla 18. Evaluación de las alternativas para el módulo 2 .....	86
Tabla 19. Conclusiones para el módulo 2.....	86
Tabla 20. Ponderación de los criterios de selección para el módulo 3. ....	87
Tabla 21. Evaluación de las alternativas para el módulo 3. ....	88
Tabla 22. Conclusiones para el módulo 3.....	89
Tabla 23. Evaluación de las alternativas para el módulo 4. ....	90
Tabla 24. Evaluación de las alternativas para el módulo 4. ....	90
Tabla 25. Conclusiones para el módulo 4.....	91
Tabla 26. Grado máximo de llenado de un recipiente transportable.....	93
Tabla 27. Tipo de juntas soldadas .....	98
Tabla 28. Parámetros de diseño del cuerpo y cabezas .....	101
Tabla 29. Especificaciones de los materiales para cuerpo y cabezas .....	102
Tabla 30. Descripción de materiales.....	103
Tabla 31. Resumen de espesores del recipiente por presión interna .....	106
Tabla 32. Propiedades del anillo de refuerzo.....	109
Tabla 33. Cálculo de la inercia del elemento de refuerzo .....	111
Tabla 34. Resumen de espesores del recipiente por presión externa .....	117
Tabla 35. Resumen de presiones máximas permitidas en el recipiente ...	120
Tabla 36. Nomenclatura y fórmulas para el cálculo de bocas.....	124
Tabla 37. Resumen de las aberturas del recipiente.....	151
Tabla 38. Cargas en las juntas soldadas de las bocas .....	152

Tabla 39. Cargas permitidas en las juntas soldadas.....	154
Tabla 40. Pesos de los diferentes componentes del recipiente .....	161
Tabla 41. Dimensionamiento de las orejas de izaje .....	162
Tabla 42. Especificaciones de la Bomba de vacío .....	169
Tabla 43. Especificaciones de la Trampa Primaria .....	171
Tabla 44. Especificaciones de la Trampa Secundaria .....	172
Tabla 45. Especificaciones de la Abertura de acceso.....	174
Tabla 46. Especificaciones de las Válvulas de carga y descarga .....	175
Tabla 47. Mínima capacidad de venteo .....	180
Tabla 48. Especificaciones de la Válvula de alivio de presión y vacío .....	182
Tabla 49. Reacciones en el camión .....	189
Tabla 50. Acciones Correctivas .....	206
Tabla 51. Costos de Materiales Directos .....	208
Tabla 52. Costos de Equipamientos y Accesorios .....	210
Tabla 53. Costos de Mano de Obra Directa.....	211
Tabla 54. Total de Costos Directos.....	211
Tabla 55. Costos de Materiales Indirectos.....	212
Tabla 56. Costos de Mano de Obra Indirecta .....	213
Tabla 57. Gastos Indirectos de Fabricación.....	213
Tabla 58. Total de Costos Indirectos .....	213
Tabla 59. Costo Total del Proyecto.....	214

## **LISTA DE ANEXOS**

**ANEXO 1.** Casa de la Calidad

**ANEXO 2.** Tablas y gráficas utilizadas en el diseño

**ANEXO 3.** Memoria de cálculo utilizando el software Compress.

**ANEXO 4.** Piping and Instrument Diagram (P&ID)

**ANEXO 5.** Data Sheet

**ANEXO 6.** Catálogos de la bomba y accesorios

**ANEXO 7.** Planos constructivos del camión de vacío

**ANEXO 8.** Formularios

## RESUMEN

En base la necesidad de la empresa Acero de los Andes S.A de expandir sus productos y servicios, se ha desarrollado el presente proyecto el cual contiene el diseño de un camión de vacío con una capacidad de 120 Bbl para crudo.

Para el desarrollo se utilizaron técnicas y herramientas basadas en el despliegue de la función de calidad, a través de las cuales se establecen criterios y parámetros de acuerdo a las necesidades y requerimientos de los usuarios. Estos métodos facilitan la selección de la alternativa óptima de diseño para así conformar un camión de vacío que cumpla las normativas vigentes, satisfaga las expectativas de los usuarios, y supere o iguale las características de los productos de la competencia.

El equipo seleccionado contiene una bomba de vacío de paletas rotativas, accionada por un motor de combustión interna y dispositivos de seguridad. Así mismo, el proyecto contiene el diseño mecánico del recipiente incluyendo sus partes internas y principales aberturas con base en los requisitos obligatorios y prohibiciones específicas que proporciona el código ASME 2013, tomando como punto de partida los parámetros determinados mediante el análisis de la casa de la calidad y las recomendaciones del Departamento de Ingeniería de la empresa; además de una guía de calidad y fabricación la cual permitirá controlar todos los procesos en la construcción del equipo.

Por último se desarrolla un análisis de costos, en el cual se establece los costos directos e indirectos del proyecto para comprobar la viabilidad del producto.

### **PALABRAS CLAVE**

DISEÑO CONCURRENTE

BOMBAS DE VACÍO

DISEÑO MECÁNICO

CÓDIGO ASME

GUÍA DE CALIDAD Y FABRICACIÓN

## ABSTRACT

Based on the need presented by the company “Acero de los Andes S.A” to broaden their products and services, this project has been developed which contains the design of a vacuum truck with a capacity of 120 Bbl of crude oil. In the development techniques and tools were used which are based on the deployment of the quality function, through which certain criteria and parameters were established responding to the needs and requirements of the costumers. These methods help the selection of the optimal design alternative and therefore constitute a vacuum truck which may comply with the current regulations, satisfy customer expectations, and surpass or match the characteristics of similar products presented by the competition.

The chosen equipment is constituted of a rotary vane vacuum pump, activated by an internal combustion engine and safety devices. Hence, the project contains the mechanical design of the recipient including its internal parts and main openings based on the statutory requirements and specific prohibitions established in the 2013 ASME code, taking as a starting point the parameters determined through the manufacturer’s analysis and the recommendations of the Engineering Department of the company; in addition to a quality and manufacturing guidebook which shall facilitate the control of all processes regarding the construction of the equipment

At the end a cost analysis was developed, which establishes all the necessary resources that are part of the project and thus substantiate the feasibility of the project.

## KEYWORDS

- CONCURRENT DESIGN
- VACUUM PUMPS
- MECHANICAL DESIGN
- ASME CODE
- QUALITY AND MANUFACTURING GUIDEBOOK

## GLOSARIO

**AISC:** American Institute of Steel Construction (Instituto Americano para la Construcción en Acero)

**ANSI:** American National Standards Institute (Instituto Nacional de Estándares Americanos)

**API:** American Petroleum Institute (Instituto Americano del Petróleo).

**ASME:** American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos).

**ASTM:** American Society for Testing Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)

**AWWA:** American Water Work Association (Asociación Americana de Trabajo de Agua).

**CFR:** Code of Federal Regulation (Código de Regulación Federal)

**DOT:** Department of Transportation

**FCAW:** Flux Cored Arc Welding (Soldadura por arco con núcleo fundente)

**IAA:** Industria Acero de los Andes S.A

**INEN:** Instituto Ecuatoriano de Normalización

**MAEP:** Maximum Allowable External Pressure (Máxima Presión Externa Permitida)

**MAP:** Maximum Allowable Pressure (Máxima Presión Permitida)

**MAWP:** Maximum Allowable Working Pressure (Máxima Presión de Trabajo Permitida)

**MTOP:** Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

**MTR:** Material Test Report (Reporte de Ensayo de Materiales)

**NCR:** Nonconformity Report (Reporte de No Conformidad)

**NDE:** Nondestructive Examination (Ensayos No Destructivos)

**P&ID:** Piping and Instrumentation Diagram.

**PSE:** Pressure Safety Element (Disco de ruptura)

**PSV:** Pressure Safety Valve (Válvula de alivio de presión)

**PTO:** Power take off (Toma de fuerza)

**QFD:** Quality Function Deployment (Desarrollo de la función de Calidad)

**RT:** Radiographic Testing (Prueba de radiografía)

**SAW:** Submerged Arc Welding (Soldadura por arco sumergido)

**SMAW:** Shielded Metal Arc Welding (Soldadura por arco eléctrico)

**SNT-TC-1A:** Recommended Practice for Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing. (Práctica Recomendada para la Calificación y Certificación del Personal de Ensayos No Destructivos)

**SSPC:** Steel Structures Painting Council.

**UDR:** (User's Design Requirements (Requisitos de Diseño del Usuario)

**UL:** Underwriters Laboratories (Consultoría de Seguridad)

**UT:** Ultrasonic Testing (Prueba de ultrasonido)

**VT:** Visual Testing (Examinación Visual)

**WOPQ:** Welding Operator performance Qualification Record (Registro de la Calificación del Desempeño del Operador de Soldadura)

**WPQ:** Welder Performance Qualification Record (Registro de Calificación del Desempeño del Soldador)

**WPS:** Welding Procedure Specification (Especificación del Procedimiento de Soldadura)

## CAPÍTULO 1

### GENERALIDADES

#### 1.1 ANTECEDENTES

El presente proyecto tiene como fin proponer el diseño para Industria Acero de los Andes de un camión de vacío para la succión, transporte y descarga de desechos comunes en la industria petrolera.

Los camiones de vacío se utilizan principalmente para la limpieza de los tanques de almacenamiento, equipos de proceso y tubería antes del mantenimiento. Ellos también son una parte importante de los pozos de petróleo y gas natural de perforación, ya que se encuentran en el sitio de la perforación. Se utilizan para eliminar el lodo de perforación, derrames, y para la eliminación de agua de los tanques de salmuera de producción. Su variedad de aplicaciones en la industria del petróleo hacen de este diseño uno de los proyectos más importantes de IAA para consolidar su crecimiento.

Industria Acero de los Andes S.A (IAA) es una empresa ecuatoriana especializada en el diseño, fabricación y suministro de Bienes de Capital y proyectos de contenido metalmecánico para los sectores energético, industrial y de infraestructura.



**Figura 1.** Instalaciones de Industria Acero de los Andes  
**Fuente:** Autoras

IAA en su amplia trayectoria ha fabricado equipos de proceso para la industria petrolera y gas, tales como: tanques atmosféricos, recipientes a presión, sistemas tubulares y ductos, estructuras pesadas y equipos industriales muchos de ellos con estampe ASME pero nunca antes había realizado el diseño de un camión de vacío bajo estándares internacionales.

Para la obtención de asistencia técnica y transferencia tecnológica IAA mantiene convenios y licencias con empresas internacionales especializadas en distintas actividades industriales, orientadas a la ejecución de proyectos complejos del departamento de ingeniería, éste utiliza entre otras Normas y estándares internacionales: API, ASME, AWWA, ASTM, ANSI, UL, y las normas ecuatorianas determinadas por el INEN. (Industria Acero de los Andes S.A, s.f)

IAA cuenta con un staff de ejecutivos, ingenieros, técnicos, diseñadores, supervisores, soldadores y obreros altamente calificados y entrenados en cada una de sus especialidades, para el desarrollo de sus proyectos integrales.

Su Planta Industrial dispone de 4.000 m<sup>2</sup> de área de prefabricación, ensamblaje y soldadura y 10.000 m<sup>2</sup> de bodegas y patios de manipuleo. Entre los principales equipos y maquinaria que dispone para la fabricación de sus equipos se encuentran:

- Equipos de soldadura bajo procesos MIG, TIG, SAW, SMAW, FCAW.
- Equipos para conformado mecánico (prensado, rolado, rebordeado, plegado y doblado).
- Cabina de granallado y cabina de pintura climatizada y presurizada, que permite proteger adecuadamente las superficies de los equipos.
- Mesa de oxicorte automática de 12m de longitud. Pantógrafo óptico para corte de piezas especiales.
- Equipo de corte por plasma.

- Puentes grúa de 10, 15 y 25 TON y semipórticos de 5 y 10 TON, grúa telescópica de 20 TON y montacargas de 7 TON.
- Laboratorio equipado para realizar pruebas y controles de:
  - Radiografía
  - Líquidos penetrantes
  - Partículas magnéticas
  - Prueba de fugas presión y vacío
  - Medición de espesores de acero
  - Medición de espesores, adherencia de revestimiento y ensayo holliday de continuidad de revestimiento (Industria Acero de los Andes S.A, s.f)

Para evaluar la posición estratégica de la empresa se realizó el análisis de las cinco fuerzas de Porter:

Los principales clientes de IAA son: Repsol YPF, Petroamazonas EP, Baker Hughes, Petroriental, Ideal-Alambrec, Eni Group, Conduto, Wartsila, Mobil, Nestle, Graitman, entre otros. (Industria Acero de los Andes S.A, s.f)



**Figura 2.** Principales clientes de IAA  
**Fuente:** (Industria Acero de los Andes S.A, s.f)

Sus proveedores más relevantes son: Novacero, IPAC, Dongkuk Steel, Illyich Iron and Steel Works Ukraine, Usiminas, Cintolo Hnos., Mega, Hempel,

Pintuco, International, Sherwin Williams, Interzinc, PPG, Carboline, Juan Cevallos.

Otras de las empresas ecuatorianas que ofertan productos y servicios iguales o similares a los que IAA ofrece actualmente son: B&T, Enatin, Codequality S.A, ACINDEC e Induacero cada una de ellas cuenta con certificación ASME.

Existen recipientes de vacío portables mucho más pequeños que pueden ser considerados sustitutos de los camiones de vacío, éstos cuentan con un cuarto de la capacidad de los camiones de vacío, y a pesar de cumplir con las funciones de succión y descarga no pueden suplir a los camiones de vacío porque poseen limitaciones como el transporte y su capacidad en sí.

## **1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Industria Acero de los Andes durante sus 40 años de operación al servicio del país, en su gama de productos y servicios no existe un precedente de que se haya diseñado y fabricado camiones de vacío por lo que IAA quiere asumir este reto y diversificar los servicios que hasta ahora ha brindado ya que este tipo de equipos son altamente utilizados en la industria petrolera pero la mayoría que se fabrican a nivel nacional son elaborados de manera artesanal y no garantizan seguridad y calidad

En la actualidad existen varias empresas en crecimiento como: B&T, Enatin, Codequality S.A, ACINDEC e Induacero, las cuales brindan los mismos productos y servicios que Acero de los Andes y poseen certificaciones otorgadas por la American Society of Mechanical Engineers (ASME) y por la National Board, lo que provoca una competencia continua entre ellas y a pesar de la experiencia que posee Acero de los Andes en la fabricación de Recipientes a Presión, las diferentes propuestas económicas representan muchas veces la pauta para decidir en dónde mandarían a construir sus

equipos por lo que se ha visto en la necesidad de innovar ofertando nuevos productos.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 GENERAL**

Diseñar un camión de vacío con una capacidad de 120 Bbl y elaborar su respectiva guía de calidad y fabricación mediante normas internacionales para Industria Acero de los Andes S.A.

#### **1.3.2 ESPECÍFICOS**

- Establecer la capacidad así como las condiciones de operación y los parámetros de diseño del camión de vacío.
- Determinar las diversas alternativas de cada uno de los componentes del camión de vacío para la succión y descarga de crudo.
- Realizar el diseño mecánico del recipiente, la selección de la bomba, válvulas manuales y accesorios
- Verificar el diseño mediante el software de ingeniería Compress.
- Elaborar la guía de calidad y fabricación para el control durante la construcción del equipo.
- Realizar el análisis de costos del proyecto

### **1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

Acero de los Andes cada vez se encuentra en un mercado más competitivo, por lo que mediante éste proyecto desea innovar su gama de

productos y servicios realizando el diseño de un camión de vacío mediante normas internacionales, mejorando así su imagen y promocionándose aún más a nivel nacional e internacional.

El camión de vacío diseñado puede ser utilizado para acciones de carga, transporte y descarga de hidrocarburos líquidos, agua de formación o de mezclas o emulsiones de estos productos o cualquier otro líquido manejado en las áreas operacionales, ya sea en condiciones normales, anormales o de emergencia, por lo que es considerado un equipo complejo que demanda un análisis detallado de cada uno de sus componentes y parámetros de operación.

En el Ecuador la importación para la adquisición de camiones de vacío diseñados mediante normas resulta muy costoso, con precios que van desde los \$ 92000 a los \$168000 sin considerar los impuestos de importación, pero las actividades que se realizan con ellos son de suma importancia para la industria petrolera, es por eso que IAA desea incursionar en este proyecto realizando el diseño de este equipo de tal manera que se pueda ofertar un equipo con altos estándares de calidad y evite el gasto de los impuestos ayudando también a que Acero de los Andes como empresa ecuatoriana impulse la matriz productiva del país, reduciendo así la importación de estos camiones de vacío.

Además permitirá que el equipo de Desarrollo de Nuevos Productos de IAA realice un análisis de factibilidad que determinará la rentabilidad del equipo.

## **1.5 ALCANCE**

Para el desarrollo del presente proyecto se realizará un estudio y recolección de datos en campo de los camiones de vacío existentes. Para determinar las especificaciones y evaluar las alternativas se analizarán diversas técnicas y herramientas como son el análisis funcional y la división

modular para asegurar las funciones y prestaciones del producto y facilitar aspectos relacionados con su producción y ejecución.

Los documentos que serán entregados a IAA y a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE son: Memoria de cálculo del recipiente a presión de acuerdo al código ASME mediante la utilización del software Compress, el mismo que será proporcionado por la empresa Industria Acero de los Andes. También constarán las hojas de especificaciones de la bomba, válvulas y accesorios seleccionados.

Se elaborará el conjunto usando softwares como SolidWorks y AutoCad para la elaboración de los planos de construcción y el plano P&ID (Piping and Instrumentation Diagram).

Para un control adecuado en la etapa de fabricación del equipo se realizará una Guía de Calidad y Fabricación donde se detallarán los criterios de aceptación, plan de inspección y pruebas, registros para el control de los procesos de fabricación y de los dispositivos de medición y un control de producto no conforme.

Por último se realizará un análisis de costos del diseño desarrollado en el presente proyecto.

IAA se compromete a proporcionar los dispositivos y apoyo técnico necesarios para la realización del presente proyecto de tesis, el cual estará bajo la supervisión del personal del departamento de ingeniería de IAA quienes realizarán un seguimiento de los avances del desarrollo del mismo, no obstante la información que se genere será propiedad de Acero de los Andes.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 CAMIÓN DE VACÍO

Un camión de vacío, es esencialmente un dispositivo móvil de alta resistencia con un recipiente montado en un chasis con una bomba de vacío que es capaz de "recoger" líquidos o vapor en el depósito o de invertir su acción para "bombear" el contenido del recipiente. Cuenta con una variedad de equipos, accesorios y sistemas de seguridad para prevenir o minimizar que el líquido o material sea arrastrado hacia la bomba de vacío durante la carga y la descarga. Estos incluyen rompeolas, trampas de humedad, trampas de cierre, filtros, acoples y mangueras. Los camiones de vacío deben ser protegidos contra la sobrepresión mediante válvulas de alivio de presión (PSV) y (PSE). (API , 2005)

Este vehículo se utiliza para extraer neumáticamente sólidos, líquidos, lodos y materiales peligrosos y no peligrosos, húmedos o secos. Es ampliamente utilizado en la industria del petróleo para limpiar los derrames de petróleo y tanques de almacenamiento. También juega un papel esencial en la extracción de petróleo y gas natural ya que se encuentran directamente relacionados a esos procesos.

El uso de camiones de vacío se ha expandido en la industria petrolera debido a su operación sencilla, versatilidad y eficacia. Su principal ventaja es su gran capacidad de almacenamiento, haciendo de esta actividad un proceso ágil y que de cierta manera contribuye con el medio ambiente.

### 2.1.1 CAMIONES DE VACÍO FABRICADOS EN EL PAÍS

En el país existen una variedad de camiones de vacío con diferentes características y prestaciones. Los camiones de vacío en operación en su mayoría son fabricados de manera artesanal, no se considera el cumplimiento de códigos internacionales para su fabricación y no cumplen con el nivel de calidad esperado, lo que resulta en equipos deficientes en los procesos de carga y descarga, inseguros y de baja calidad.



**Figura 3.** Camión de vacío fabricado en el Ecuador  
**Fuente:** Propia

En nuestro país para las operaciones de transporte y almacenamiento de crudo, lodos y aguas de producción en la industria petrolera se cuenta con camiones de vacío los cuales usan generalmente bombas de paletas deslizantes en los procesos de succión y descarga. Comúnmente en los camiones de vacío fabricados en el país la descarga se la realiza a través de la inversión de la bomba de vacío.

El accionamiento de dichas bombas se lo realiza en su mayoría mediante un sistema de poleas que comprende los siguientes elementos: toma de fuerza, eje de transmisión, rodamientos, cojinetes de apoyo, poleas y correas de transmisión, no obstante existen camiones cuyo accionamiento es hidráulico y se lo realiza mediante la toma de fuerza (PTO) en la transmisión del camión. El sistema de accionamiento hidráulico, también incluye: bomba

hidráulica, motor hidráulico, válvulas, mangueras, adaptadores, accesorios y depósito de aceite hidráulico.

En el sector petrolero se puede encontrar camiones con capacidades desde 80 a 160 barriles, siendo los más frecuentemente utilizados los de 130 barriles.

En cuanto al recipiente el material utilizado para su fabricación es el acero carbono o el acero inoxidable y sus tapas son usualmente toriesféricas.

### **2.1.2 CAMIONES DE VACÍO INTERNACIONALES DISPONIBLES EN EL PAÍS.**

Los camiones de vacío importados son de mejor calidad y altamente confiables aunque sus costos son mayores que de los camiones fabricados localmente y los principales compradores de dichos equipos son las empresas más representativas del sector petrolero las cuales pueden invertir en este tipo de equipos para evitar la subcontratación y economizar.

Internacionalmente existen varias empresas que se dedican al diseño y fabricación de estos equipos por lo que poseen una variedad de configuraciones, características y capacidades que varían entre los 60 a 200 barriles dependiendo del servicio o trabajo que realizará.

Los modelos más difundidos en el mercado ecuatoriano se presentan a continuación:

Utilizan los tres tipos de bombas de vacío que se recomiendan en el diseño de este tipo de equipos, las cuales son: bomba de anillo líquido, bombas de lóbulos rotativos y bombas de paletas deslizantes.

Además de los accionamientos antes mencionados, las bombas de vacío pueden ser activadas por un sistema de caja de cambios o mediante un motor independiente.

El sistema de caja de cambios utiliza una línea de transmisión, caja de engranajes de ángulo recto y el acoplador para alimentar la unidad generándose un acoplamiento directo.

El sistema de motor independiente sólo se utiliza cuando la toma de fuerza del camión no está disponible.

Los tres métodos de descarga que emplean los camiones de vacío importados son la gravedad, la presión y la bomba de transferencia.

1. Método de Gravedad.- Posee un sistema de elevación que por acción de la gravedad permite que el líquido dentro del recipiente sea evacuado.
2. Método de Presión.- Se lleva a cabo mediante la inversión de la bomba de vacío en el camión.
3. Método Pump-off.- Se realiza por medio de engranes auxiliares (externos) o bombas de transferencia giratorios.

El número de ejes de los camiones de vacío varían de acuerdo a la capacidad del recipiente y a su peso en sí.



**Figura 4.** Camión de vacío fabricado por CUSCO con el método de descarga por gravedad  
**Fuente:** (CUSCO, 2009)



**Figura 5.** Camión de vacío fabricado por DRAGON LTD.  
**Fuente:** (DRAGON LTD, 2012)

## 2.2 NORMAS Y REGLAMENTOS QUE RIGEN EL DISEÑO

La normalización fomenta la creación de un idioma técnico común a todas las organizaciones mediante especificaciones técnicas que sirvan como referencia para facilitar la adaptación de los productos, procesos o servicios a los fines a los que se destinan y mejorar la calidad y seguridad de cualquier actividad industrial, tecnológica, científica o de servicios.

### 2.2.1 ASME

La fuente más valorada de información para la guía del ingeniero es el código ASME que gobierna el diseño, la fabricación, la inspección, servicio y mantenimiento de recipientes a presión, tuberías, calderas, tanques de

transporte y otros equipos presurizados. Su objetivo principal es proporcionar pautas técnicas comunes y universales que resultan esenciales para evaluar y asegurar un producto de alta calidad cuya operación sea confiable, económica y minimicen los posibles riesgos inherentes a la operación.

La utilización de este código permite estandarizar criterios de diseño, fabricación, selección de materiales y sistemas mecánicos facilitando la intercambiabilidad de sus componentes. El Código no es un manual que puede sustituir a la educación, la experiencia y la utilización de criterios de ingeniería.

### **ASME VIII División 1**

Esta sección del código contiene reglas formuladas en base a los principios de diseño y prácticas de construcción aplicables a los recipientes diseñados. Esta parte del código comprende la selección de materiales, cálculos de espesores de cuerpo y cabeza, cálculo de bocas, refuerzos, para el diseño, la fabricación, la inspección, las pruebas y los criterios de aceptación en base a los cuales se verifica el cumplimiento del código durante la etapa de fabricación.

### **ASME Sección XII**

Esta sección surge de la revisión de USDOT (Departamento de Transporte de los EE.UU.) y comprende los requisitos para la construcción y operación de recipientes a presión que transportan fluidos peligrosos, a presiones desde el vacío total a 3.000 psig y volúmenes superiores a 120 galones. El Código incluye: materiales, diseño, fabricación, examen, inspección, ensayos, control de los límites de presión, pruebas, reparación, modificación y renovación de la certificación de un recipiente de transporte que ha estado en servicio, cumpliendo con las regulaciones establecidas, logrando beneficios operacionales, reduciendo los costos y garantizando seguridad. (ASME, 2010)

### **2.2.2 API 2219. Operación Segura de Camiones de Vacío en Servicios Petroleros**

Esta norma rige la operación segura de los camiones de vacío que transportan fluidos derivados de operaciones petroleras, la cual describe los tipos de bombas de vacío aplicables a este tipo de equipos y establece cómo se debería manipular el equipo de manera segura, en base al conocimiento de los peligros comunes y precauciones a considerarse para prevenir lesiones y accidentes. Contiene información útil para el cumplimiento de los requisitos reglamentarios aunque no es un documento que exija obligatoriamente su cumplimiento.

### **2.2.3 DOT 407 Y 412**

El Departamento de Transporte de Estados Unidos (USDOT o DOT) es el responsable de la planificación, coordinación de proyectos y del establecimiento de normas de seguridad para todos los principales medios de transporte.

Es el encargado de regular y hacer cumplir todas las reglas y sus requisitos mínimos que son parte del Código de Regulaciones Federales (CFR) cuya codificación representa las normas generales y permanentes publicadas por los departamentos y agencias del Gobierno y está relacionado con el transporte de materiales peligrosos por carretera dentro de los Estados Unidos.

En el diseño se aplicarán los reglamentos específicos de fabricación, inspección y pruebas que se encuentran bajo el Título 49 CFR: § 178.345 Diseño general y requerimientos de construcción aplicables a la Especificación DOT 406 (§ 178.346), DOT 407 (§ 178.347), y DOT 412 (§ 178.348), vehículos de carga. Las DOT 407 y 412 determinan las

especificaciones correspondientes a los tanques de carga autorizados a transportar numerosos materiales peligrosos incluyendo líquidos inflamables, líquidos venenosos, líquidos corrosivos, y otros, con el fin de incrementar la seguridad en los tanques de carga proporcionando una mayor flexibilidad en el diseño y construcción.

En la siguiente tabla se visualizará el alcance y requisitos del código DOT que se deberán cumplir dentro del diseño.

**Tabla 1.**

Requisitos mínimos para el cumplimiento del código DOT

DOT 407	DOT 412
(a) Cada tanque de carga con vehículos motorizado bajo la especificación DOT 407 debe ajustarse a los requisitos de diseño y construcción en general en § 178.345, además de los requisitos específicos de esta sección.	(a) Cada tanque de carga con vehículos motorizado bajo la especificación DOT 412 debe ajustarse a los requisitos de diseño y construcción en general en § 178.345, además de los requisitos específicos de esta sección.
(b) Cada tanque debe ser de una sección transversal circular y tener una MAWP de al menos 25 psig.	(b) El MAWP de cada tanque de carga debe ser de al menos 5 psig.
(c) Cualquier tanque de carga incorporado a esta especificación con un MAWP superior a 35 psig y cada tanque diseñado para ser cargado por vacío debe ser "construido y certificado de acuerdo con el Código ASME". La presión de diseño externo para un tanque de carga cargado por vacío debe ser de al menos 15 psig.	(c) El MAWP para cada tanque de carga diseñado para ser cargado por el vacío debe ser de al menos 25 psig interna y externa 15 psig.
	(d) Cada tanque de carga que tiene una MAWP mayor que 15 psig debe ser de sección transversal circular.
	(e) Cada tanque de carga que tiene un MAWP mayor que 15 psig debe ser "construido y

certificado de conformidad con el Código ASME".

**Fuente:** (Department of Transportation, 2011)

#### **2.2.4 MTOP**

Los vehículos de carga pesada que circulen por las carreteras de la Red Vial del país, cuyo peso bruto permitido sea desde 3,5 toneladas, están sujetos a control por parte del Ministerio rector del Transporte, dentro del ámbito de sus competencias.

El Reglamento Aplicativo de la Ley de Caminos vigente, señala que: “Las unidades de carga, remolques y semirremolques que son importados, ensamblado o fabricados nacional e internacionalmente, que realicen operaciones de transporte de carga nacional o internacional; deberán someterse a las dimensiones y pesos máximos permitidos normados en la Tabla Nacional de Pesos y Dimensiones que será expedida por el Ministerio rector del Transporte mediante el respectivo Acuerdo Ministerial, y en las normas técnicas establecidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización”

El mismo reglamento faculta al Ministerio rector del Transporte, por ser el ente regulador del Sistema Nacional de Pesos y Dimensiones, determinar los procedimientos y normativas de control a través de un Manual Específico y emitir las especificaciones técnicas y parámetros mínimos de diseño para la localización de las estaciones de control. (MTOP, Acuerdo Ministerial No.36, 2012)

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2 D			7	5,00	2,60	3,00
2DA			10	7,50	2,60	3,50
2DB			18	12,20	2,60	4,10
3-A			27	12,20	2,60	4,10
4-C			31	12,20	2,60	4,10
4-0 OCTOPUS			32	12,20	2,60	4,10
V2DB			18	12,20	2,60	4,10
V3A			27	12,20	2,60	4,10
VZS			27	12,20	2,60	4,10
T2			18	8,50	2,60	4,10
T3			27	8,50	2,60	4,10
S3			24	13,00	2,60	4,10
S2			20	13,00	2,60	4,10
S1			11	13,00	2,60	4,10
R2			22	10,00	2,60	4,10
R3			31	10,00	2,60	4,10
B1			11	10,00	2,60	4,10
B2			20	10,00	2,60	4,10
B3			24	10,00	2,60	4,10

Para las unidades de carga (Remolques, semiremolques y remolques balanceados) en la combinación se restará el largo del trasape.

**Figura 6.** Tabla Nacional de Pesos y Dimensiones.  
**Fuente:** (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2012)

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO BRUTO VEHICULAR MÁXIMO PERMITIDO (toneladas)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2S1			29	20,50	2,60	4,30
2S2			38	20,50	2,60	4,30
2S3			42	20,50	2,60	4,30
3S1			38	20,50	2,60	4,30
3S2			47	20,50	2,60	4,30
3S3			48	20,50	2,60	4,30
2R2			40	20,50	2,60	4,30
2R3			48	20,50	2,60	4,30
3R2			48	20,50	2,60	4,30
3R3			48	20,50	2,60	4,30
2B1			29	20,50	2,60	4,30
2B2			38	20,50	2,60	4,30
2B3			42	20,50	2,60	4,30
3B1			38	20,50	2,60	4,30
3B2			47	20,50	2,60	4,30
3B3			48	20,50	2,60	4,30

**Figura 7.** Tabla Nacional de Pesos y Dimensiones: Posibles combinaciones  
**Fuente:** (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2012)

## Nomenclatura de las Tablas

Tipo: Es la descripción de la nomenclatura por vehículo.

Distribución máxima de carga por equipo: Describe el peso máximo por eje simple o conjunto de ejes, permitido a los vehículos para su circulación por la Red Vial Nacional.

Descripción: Configuración de los vehículos de carga de acuerdo a la disposición y número de sus ejes.

Peso máximo permitido: Peso bruto permitido por tipo de vehículo.

Longitudes máximas permitidas: Dimensiones del largo, ancho y alto permitidos a los vehículos para su circulación por la Red Vial Nacional. Para excesos en altura máxima permitida en el caso de carga no divisible dependerá de las limitaciones que presenta la ruta elegida por el transportista para el traslado de los equipo. El transportista deberá verificar dichas condiciones y solicitar el certificado de operación especial correspondiente, con sujeción a las normas previstas en el presente reglamento, sin perjuicio de resarcir los daños que ocasione su negligencia o inobservancia.

- *Certificado regular:* El certificado de operación regular es el documento necesario para la circulación de vehículos de carga pesada por la Red Vial Nacional, que detalla las especificaciones, dimensiones y capacidad del vehículo.
- *Certificado especial:* El certificado de operación especial es el documento necesario para la circulación de vehículos de carga pesada indivisible por la Red Vial Nacional.

## Consideraciones especiales

Para los transportes de combustibles y gas en tanqueros, se autoriza la transportación de las siguientes cantidades, de conformidad con la clasificación vehicular.

**Tabla 2.**

Volúmenes máximos permitidos según MTOP.

TIPO DE VEHICULO	GALONES PERMITIDOS
2DB	4000 gls.
3A.	6000 gls.
3S2	8000 gls.
3S3	10000 gls.

**Fuente:** (MTOP, Acuerdo Ministerial No.36, 2012)

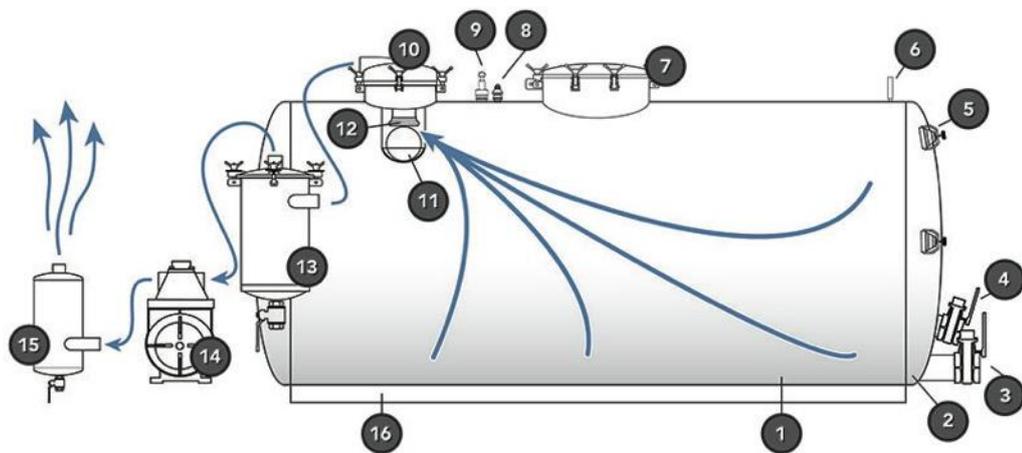
### 2.3 COMPONENTES DEL CAMIÓN DE VACÍO

Los camiones de vacío son equipos compuestos por un camión que soporta un recipiente el cual se encuentra sometido a presión interna y externa para succionar, almacenar y descargar el crudo, para esta operación se necesita de una bomba de vacío que succione el aire contenido dentro del recipiente hasta llegar a la presión de vacío lo que permite el ingreso del fluido de trabajo y que a su vez genere una presión capaz de vaciar el contenido del recipiente.

Para evitar que impurezas o el fluido de trabajo llegue a la bomba el camión debe contar con los siguientes accesorios: trampas de cierre primario y secundario, trampa de aceite y un filtro de aire.

Es importante que el camión posea la seguridad necesaria durante su operación por lo que necesita de válvulas limitadoras de presión y vacío, medidores de nivel y presión, válvulas que controlen el paso del fluido y además de una abertura que permita el acceso hacia el recipiente.

La siguiente figura representa los componentes básicos de un camión de vacío:



**Figura 8.** Componentes de un camión de vacío  
**Fuente:** (LMT Inc. Industrial Vacuum Equipment, 2014)

- |                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| 1. Cuerpo del recipiente a presión.  | 9. Válvula de alivio de presión                                |
| 2. Cabezas del recipiente a presión. | 10. Trampa de cierre primario.                                 |
| 3. Válvula de descarga.              | 11. Bola flotante (Sello de la trampa de cierre primario)      |
| 4. Válvula de succión.               | 12. Asiento de la bola (Parte de la trampa de cierre primario) |
| 5. Indicador de nivel                | 13. Trampa de cierre secundario.                               |
| 6. Medidor de presión y vacío        | 14. Bomba de vacío   |
| 7. Manhole                           | 15. Trampa de aceite   |
| 8. Válvula de alivio de vacío        | 16. Soporte  |

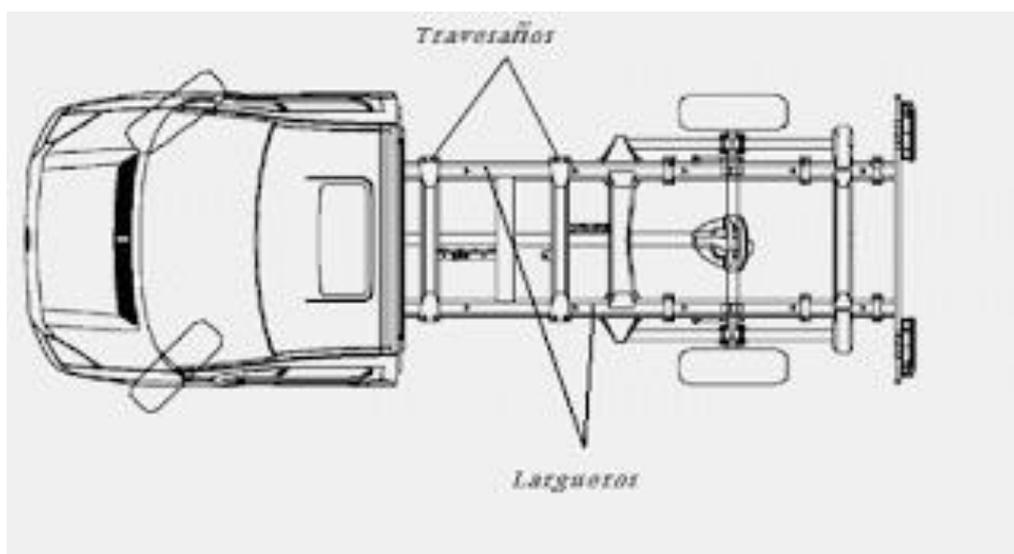
### 2.3.1 CAMIONES PESADOS DE CARGA

Un camión es un vehículo automotor utilizado para el transporte de carga constituido por una cabina, el chasis, y una estructura para transportar la carga. Dependiendo de la estructura requerida y el trabajo que vaya a realizar existen camiones de diferentes tamaños y características.

A pesar de que existen una gran variedad de camiones, la forma más común de clasificarlos es la siguiente:

#### 2.3.1.1 CAMIONES SIMPLES

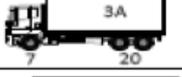
Es un vehículo automotor de una sola pieza, destinado al transporte de carga con peso bruto vehicular mayor a 4 toneladas. Está compuesto de largueros rígidos que van desde la parte delantera, hasta el final, y se unen por otros travesaños, formando una estructura rígida, sobre la que descansan el resto de partes, como son el motor, la propulsión, la suspensión, la cabina, la caja, etc.



**Figura 9.** Esquema de un camión simple  
**Fuente:** (Fran, 2009)

### 2.3.1.1.1 TIPOS DE CAMIONES SIMPLES

La clasificación de los camiones simples según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) es el siguiente:

2 D				CAMIÓN DE 2 EJES PEQUEÑO
2DA				CAMIÓN DE 2 EJES MEDIANOS
2DB				CAMIÓN DE 2 EJES GRANDES
3-A				CAMIÓN DE 3 EJES
4-C				CAMIÓN DE 4 EJES

**Figura 10.** Tipos de camiones simples

**Fuente:** (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2012)

- **Camión de dos ejes pequeño**

Vehículo automotor de 4 llantas, destinado al transporte de carga con un peso máximo permitido de 7 Ton.

- **Camión de dos ejes mediano**

Vehículo automotor de 6 llantas, destinado al transporte de carga con un peso máximo permitido de 10 Ton.

- **Camión de dos ejes grandes**

Vehículo automotor de 6 llantas, destinado al transporte de carga con un peso máximo permitido de 18 Ton.

- **Camión de tres ejes**

Vehículo automotor de 10 llantas, destinado al transporte de carga con un peso máximo permitido de 27 Ton.

- **Camión de cuatro ejes**

Vehículo automotor de 10 llantas, destinado al transporte de carga con un peso máximo permitido de 31 Ton.

Para el diseño del camión de vacío, según las DOT 407 y 412 al utilizar un camión simple se recomienda un camión de tres ejes como lo indica la figura.



**Figura 11.** Camión simple utilizado en un tanque cargado al vacío

**Fuente:** (Transport Canada, US. Department of Transportation, Secretaria of Communications and Transportation, 2012)

### 2.3.1.2 CAMIONES ARTICULADOS

Es un vehículo automotor destinado al transporte de carga, está formado con dos o más estructuras rígidas que se unen entre sí mediante un sistema de acoplamiento que incluye el King pin y la quinta rueda. Este tipo de camiones se subdivide en tráiler y tren de carretera.



**Figura 12.** Esquema de un tráiler

**Fuente:** (Engineering, 2013)



**Figura 13.** Esquema de un tren de carretera  
**Fuente:** (Sala, 2010)

Para transportar un recipiente de vacío comúnmente se utiliza un tráiler el cual está compuesto por dos partes, el tracto camión y el semirremolque.

### 2.3.1.2.1 TRACTO CAMIÓN

Se lo conoce también como cabezal, es un vehículo motorizado destinado para arrastrar y movilizar la carga a través de un remolque o semirremolque.

#### Tipos de tracto camión

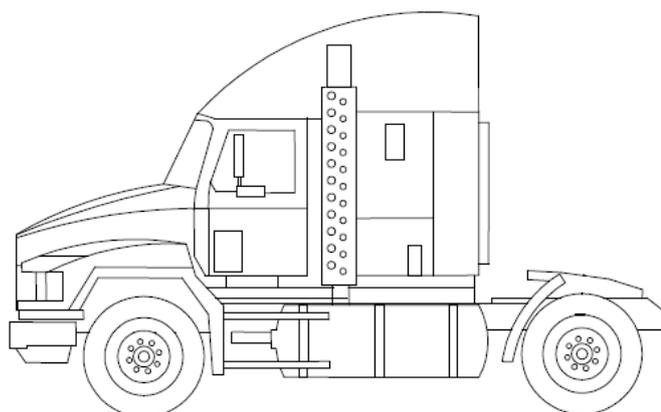
La clasificación de los tracto camiones según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) es el siguiente:

T2		 	TRACTO CAMIÓN DE 2 EJES
T3		 	TRACTO CAMIÓN DE 3 EJES

**Figura 14.** Tipos de tracto camiones  
**Fuente:** (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2012)

- **Tracto camión de dos ejes**

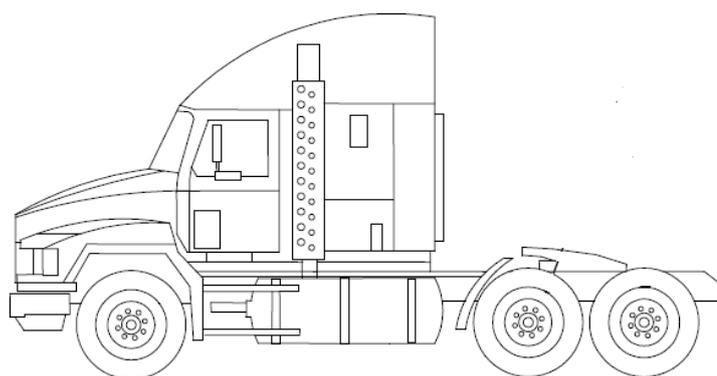
Generalmente se los utiliza para el transporte de cargas ligeras en distancias cortas con un peso máximo permitido de 18 Ton, poseen un eje de tracción y un eje de dirección. Tienen un radio de giro más pequeño que depende de la distancia entre ejes, el cual es medido desde el centro de cada uno de sus ejes.



**Figura 15.** Tracto camión de dos ejes  
**Fuente:** (Andrade & Sánchez, 2007)

- **Tracto camión de tres ejes**

Se los utiliza para el transporte de cargas pesadas en distancias largas con un peso máximo permitido de 27 Ton, poseen un eje de dirección y dos ejes de tracción, generalmente con ejes dobles o tándem los cuales proporcionan cuatro llantas motrices adicionales, que generan mayor fuerza y tracción. Poseen un radio de giro mayor debido a que la distancia entre ejes se la mide del centro de ejes de dirección al centro del par de ejes en tándem.



**Figura 16.** Tracto camión de dos ejes  
**Fuente:** (Andrade & Sánchez, 2007)

### 2.3.1.2.2 REMOLQUES Y SEMIRREMOLQUE

Los remolques y semirremolques son elementos dispuestos para carga que no pueden moverse por sí mismos, necesitando de un elemento motriz para su transporte.

**Tabla 3.**

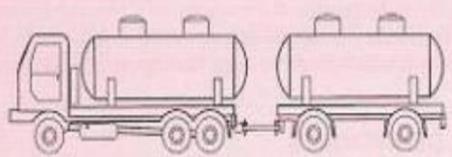
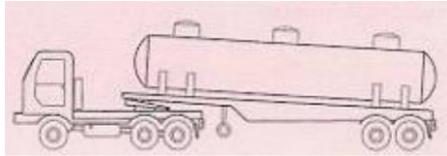
Diferencia entre remolque y semirremolque

Remolque	Semirremolque
Vehículo no autopulsado con eje delantero y trasero cuyo peso total, incluyendo la carga, descansa sobre sus propios ejes, y es remolcado por un camión o cabezal.	Vehículo no autopulsado sin eje delantero, destinado a ser acoplado a un tracto camión cuyo peso y carga se transmiten parcialmente en el cabezal que lo remolca.

**Fuente:** (Comisión de la Comunidad Andina, 2001)

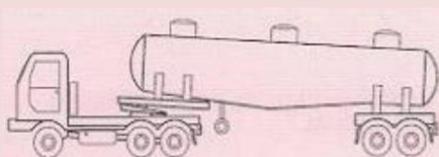
**Tabla 4.**

Tipos de configuraciones de remolques y semirremolques para recipientes a presión

Tipos	Esquema	Descripción
<b>Remolque</b>		Recipiente soportado sobre un bastidor con ejes delanteros y traseros que está unido a la parte tractora o al camión simple mediante un enganche reglamentario.
<b>Semirremolque soportado sobre bastidor</b>		Recipiente apoyado sobre la estructura del bastidor con ejes solamente traseros.

Continúa 

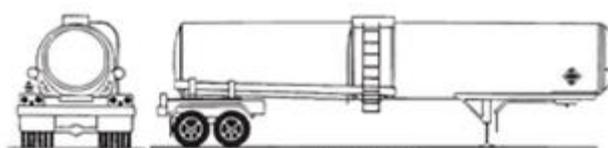
**Semirremolque  
auto-portante**



Sin bastidor, con el recipiente diseñado para resistir la carga en los apoyos mecánicos, los cuales son una placa giratoria en la parte delantera y un falso bastidor auxiliar en la parte posterior. Esta configuración reduce la carga muerta debido al bastidor y permite la libre dilatación a altas temperaturas.

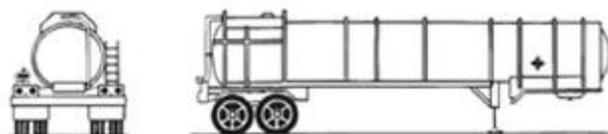
**Fuente:** (Méndez, s.f)

Para el diseño del camión de vacío, según las DOT 407 y 412 al utilizar un tracto camión se recomienda utilizar un semirremolque de mínimo dos ejes como lo indica la figura.



**DOT407**

**Autotank de baja presión para  
productos químicos**



**DOT412**

**Autotank para líquidos corrosivos**

**Figura 17.** Semirremolque de dos ejes para un recipiente de vacío  
**Fuente:** (Transport Canada, US. Department of Transportation, Secretaria of Communications and Transportation, 2012)

Un semirremolque está constituido por los siguientes elementos:

## SISTEMA DE SUSPENSIÓN

El sistema de suspensión está diseñado para absorber y disipar las cargas de impacto ocasionada por las irregularidades propias del terreno, manteniendo un estado de equilibrio dinámico, compensando y ajustando continuamente según las condiciones de conducción cambiantes.

Las principales funciones de los componentes del sistema de suspensión son: mantener al camión a la altura correcta para su movilización, reducir el efecto de las fuerzas de impacto, soportar el peso del vehículo, controlar la dirección del vehículo, mantener alineadas las ruedas y en contacto con la calzada.

Para vehículos de carga pesada existen dos tipos de suspensiones: mecánicas y neumáticas, siendo esta última la más usada en la parte trasera de camiones rígidos, tracto camiones y semirremolques de eje sencillo o compuesto (tándem y tridem).

**Tabla 5.** Ventajas y desventajas de la suspensión mecánica y neumática.

	Ventajas	Desventajas
<b>Suspensión neumática</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad variable de carga</li> <li>• Acción de baja fricción</li> <li>• Bajo mantenimiento</li> <li>• Control de altura</li> <li>• Amortiguación dependiente de la carga</li> <li>• Óptima estabilidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Susceptibles a golpes</li> <li>• Funciona solo cuando la unidad se encuentra con suficiente carga de aire</li> </ul>
<b>Suspensión mecánica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor capacidad de carga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantenimiento continuo</li> <li>• Mayor rigidez de conducción</li> <li>• Baja absorción de irregularidades del terreno</li> </ul>

**Fuente:** (Transporte Informativo & CESVI, 2012)

## KING PIN

El king pin o perno maestro es un componente de acople entre el semirremolque y el tracto camión, es parte de un sistema articulado que incluye la unidad de acople del cabezal, denominada quinta rueda, está ubicado en la parte inferior delantera y directamente conectado a los soportes del semirremolque proporcionando al tráiler estabilidad y maniobrabilidad permitiendo el giro direccional en carretera con la máxima eficacia y seguridad.



**Figura 18.** King pin empinado  
**Fuente:** (JOST, s.f)

## QUINTA RUEDA

Es un dispositivo de acoplamiento sujeto horizontalmente al chasis por encima de los ejes traseros del cabezal que conecta al tracto camión con el semirremolque permitiendo una rápida y perfecta articulación. La quinta rueda es un disco de metal con una ranura en forma de "V" situada en la parte posterior y que contiene un dispositivo de bloqueo para asegurar la unión.



**Figura 19.** Quinta rueda  
**Fuente:** (JOST, s.f)

## SOPORTES TELESCÓPICOS

Es un dispositivo funcional diseñado para ser montado en el remolque o semirremolque. Actúa como un apoyo en el extremo delantero del semirremolque cuando éste no se encuentra acoplado al tracto camión y debe ser capaz de soportar la carga del recipiente.



**Figura 20.** Soporte Telescópicos  
**Fuente:** (HAANCON, 2011)

### 2.3.2 RECIPIENTES A PRESIÓN

Son contenedores aptos para almacenar fluidos líquidos cuyas condiciones de temperatura y presión son diferentes a las del medio ambiente.

Están formados por una estructura generalmente metálica llamada envolvente, la cual está compuesta por un cuerpo cilíndrico que en su interior tiene instalado elementos que evitan el oleaje del fluido durante el transporte y por cabezas que pueden ser de diferentes configuraciones. Además cuentan con dispositivos de soporte e izaje, aberturas que permiten el acceso del operario al interior y aberturas por donde se succiona y descarga el fluido, también poseen accesorios externos utilizados para garantizar la seguridad al operar del equipo.

### 2.3.3 BOMBAS DE VACÍO

La importancia de las bombas radica en su capacidad de transferir fluidos produciendo vacío lo que permite trasladar el fluido a donde se requiera. La selección del tipo de bomba depende de la función a cumplir, se basa principalmente en el tipo de fluido, la temperatura de transporte y la presión a la cual estará sometida.

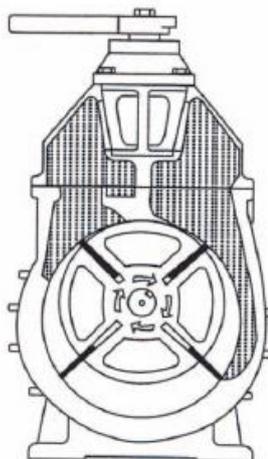
Los camiones de vacío utilizan diferentes tipos de bombas según sus aplicaciones específicas, presión de operación y de vacío. Estas pueden ser:

#### *Bombas de paletas deslizantes*

Las bombas de paletas deslizantes poseen un rotor cilíndrico hueco excéntrico a la carcasa, donde se encuentran un conjunto de paletas que durante la rotación se presionan contra la carcasa por la fuerza centrífuga. Durante el giro del rotor, el fluido de trabajo es capturado entre dos paletas aumentando el volumen a un lado del cilindro y disminuyéndolo al lado opuesto, de ésta forma es conducido hacia la descarga generando presión y vacío.

Para disminuir el desgaste producido cuando las paletas son empujadas contra la carcasa, es necesario lubricarlas utilizando un suministro de aceite constante, pero se debe considerar que el uso de este lubricante conlleva a aire saturado de aceite, el cual debe ser filtrado antes de la descarga.

Usualmente las bombas son enfriadas mediante líquido que circula a través de la carcasa para evitar la concentración del calor en su interior, pero también se puede las puede enfriar forzando al aire en sentido contrario a las aletas externas de la bomba.



**Figura 21.** Bomba de paletas deslizantes  
**Fuente:** (API , 2005)

### *Bombas de anillo líquido*

Se utilizan para transferir líquidos o materiales sólidos y mezclas de gases que contienen vapores condensables.

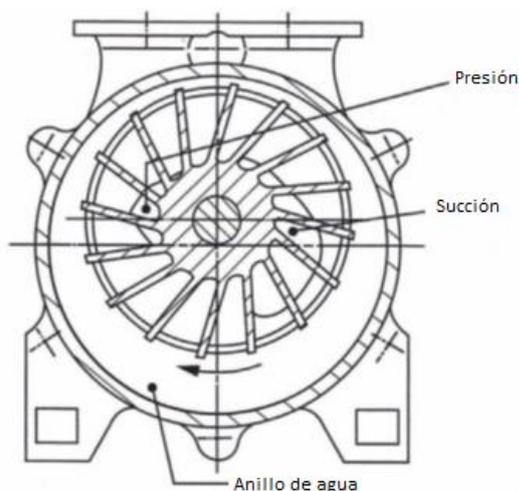
Este tipo de bombas posee un rotor excéntrico a la carcasa, el mismo que tiene una serie de paletas fijas, se encuentra parcialmente lleno de líquido que generalmente es agua.

El aire entra por el puerto de succión mientras gira el rotor y debido a la fuerza centrífuga el líquido forma un anillo concéntrico alrededor de la carcasa del rotor. Mientras más alejado se encuentre el anillo líquido del rotor cumple con la función de émbolo succionando aire hacia el interior de la bomba. Aire y líquido se mueven continuamente creando tanto succión como descarga. El aire es comprimido contra el líquido de servicio en el espacio en que los álabes se encuentran más separados de la carcasa y el aire comprimido se descarga a través de un orificio de descarga.

El líquido de servicio además de actuar como sello absorbe el exceso de vapor de hidrocarburo presente en la corriente de aire, por lo tanto se debe

introducir líquido frío continuamente por el orificio de servicio mientras que el líquido caliente es descargado.

Estas bombas proporcionan aire libre de aceite y su lubricación se la realiza únicamente en los cojinetes del eje del rotor con aceite o con grasa.



**Figura 22.** Bomba de anillo líquido  
Fuente: (API , 2005)

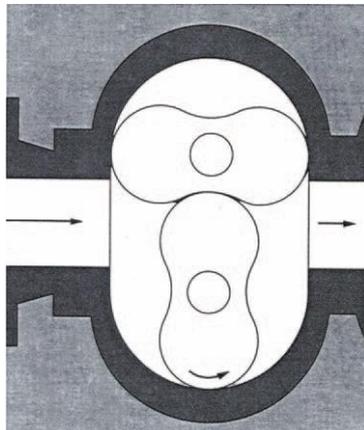
### *Bomba de Lóbulos rotativos*

Son utilizados principalmente en la transferencia de materiales sólidos, inclusive gracias a que alcanza altas relaciones de presión/ vacío maneja sólidos a granel, no obstante también se las puede utilizar para líquidos.

La bomba de lóbulos tiene dos o más rotores que giran sobre ejes paralelos, estos rotores están compuestos por lóbulos que giran en direcciones opuestas dentro de la carcasa.

El aire que ingresa queda atrapado entre los lóbulos y la carcasa produciendo vacío. Al girar los rotores impulsan al aire contenido en ellos hacia la salida comprimiéndolo en su interior. Trabajan sin líquido de servicio, por lo que, durante su operación, los vapores de hidrocarburos presentes en el aire de entrada pueden ser descargados directamente a la atmósfera.

La velocidad y el volumen son generalmente constantes pudiendo existir variación en la temperatura y presión.



**Figura 23.** Bomba de lóbulos rotativos (dos lóbulos)  
**Fuente:** (API , 2005)

## 2.3.4 VÁLVULAS Y ACCESORIOS

### 2.3.4.1 VÁLVULAS

#### *Válvula limitadora de presión*

La válvula funciona como protección de la instalación de presión cuando la presión alcanza el límite establecido permitiendo la descarga del gas acumulado en el interior del recipiente a la atmósfera.



**Figura 24.** Válvula limitadora de presión  
**Fuente:** (ITAMARKET, 2010)

### *Válvula limitadora de vacío*

La válvula está diseñada como protección en la instalación de vacío admitiendo el ingreso de aire en el recipiente de presión y de ésta forma evitar un vacío excesivo.



**Fuente:** (ITAMARKET, 2010)  
**Figura 25.** Válvula limitadora de vacío

### *Válvulas de succión y descarga*

Las válvulas están destinadas a controlar de alguna forma el flujo del fluido, para esta aplicación en particular las más recomendables son las de mariposa que regulan el flujo y las válvulas de bola las cuales se usan exclusivamente para permitir el paso rápido del crudo hacia el recipiente o viceversa mediante el giro de la palanca, la esfera de la válvula es la encargada de sellar definitivamente el paso del fluido.



**Figura 26.** Válvula de bola  
**Fuente:** (CEXCO, s.f)



**Figura 27.** Válvula de mariposa  
**Fuente:** (CEXCO, s.f)

#### **2.3.4.2 ABERTURA DE ACCESO (MANHOLE)**

Posee una tapa con elementos de sujeción que permite un fácil acceso al recipiente del camión de vacío para la inspección y la limpieza realizada en el mantenimiento, también son utilizadas como respiraderos para proporcionar ventilación de emergencia en caso de incendio.



**Figura 28.** Manhole  
**Fuente:** (MASPORT, 2014)

#### **2.3.4.3 TRAMPA DE CIERRE PRIMARIA (PRIMARY SHUT OFF)**

La trampa de cierre primario proporciona protección inicial de la bomba de vacío contra la contaminación y los daños causados por el material de arrastre, impidiendo el ingreso de líquidos en la bomba. Generalmente se encuentra situado en la parte frontal superior del recipiente. Se debe comprobar que la bola flotante y su alojamiento estén en contacto permitiendo el paso de luz y verificando que la bola se encuentre en buenas condiciones y que su asiento no se encuentre deteriorado.



**Figura 29.** Trampa de cierre primaria  
**Fuente:** (MASPORT, 2014)

#### 2.3.4.4 TRAMPA DE CIERRE SECUNDARIA

La trampa de cierre secundaria, también llamada depurador o trampa de humedad protege a la bomba de vacío atrapando el líquido que se encuentren en las corrientes de aire en caso de que la trampa primaria haya fallado, es decir, funciona como una segunda protección para la bomba.

El cierre secundario puede ser montado en la parte lateral del recipiente cerca de la bomba, debe ser vaciado diariamente y comprobar mensualmente el correcto funcionamiento. Al igual que la trampa primaria se debe comprobar las condiciones de la bola flotante y su alojamiento.



**Figura 30.** Trampa de cierre secundario  
**Fuente:** (MASPORT, 2014)

### 2.3.4.5 TRAMPA DE ACEITE

Está diseñada para capturar el aceite existente a la salida de la bomba de vacío eliminando la suciedad y limpiándola. Incluye un mecanismo de drenaje en la parte inferior, el cual es diseñado para el flujo de aire específico de la bomba.



**Figura 31.** Trampa de aceite  
**Fuente:** (MASPORT, 2014)

### 2.3.5 INSTRUMENTACIÓN

#### 2.3.5.1 MEDIDORES DE NIVEL

En los camiones de vacío generalmente se utilizan medidores a través de los cuales el operario pueda observar directamente el nivel del líquido contenido en el recipiente. Estos pueden ser:

##### *Mirilla de Inspección*

Son utilizadas en los camiones de vacío ubicándolas en diferentes puntos de control donde permita a los operarios visualizar de mejor manera el nivel de líquido.



**Figura 32.** Mirillas de inspección de plástico y vidrio  
**Fuente:** (ITAMARKET, 2010)

### *Tubo de medición*

Es un tubo de vidrio o plástico transparente el cual permite visualizar la altura del líquido y que está conectado en sus extremos a la parte superior e inferior del recipiente mediante llaves que sirven como retenedoras de líquido en caso de romperse el tubo.



**Figura 33.** Cristal de medición  
**Fuente:** (Direct Industry, 2014)

### **Flotador**

Este medidor se encuentra ubicado en el interior del recipiente indicando permanentemente el nivel del líquido ya que se encuentra conectado de forma mecánica al exterior del recipiente.



**Figura 34.** Flotador  
**Fuente:** (National Vacuum Equipment, 2014)

### 2.3.5.2 VACUÓMETRO

Un indicador de presión y vacío es esencial en el camión de vacío, se utiliza para realizar un seguimiento de la presión interna y externa del recipiente y alertar en caso de que la presión esté fuera de los rangos normales.



**Figura 35.** Vacuómetro  
**Fuente:** (BOVMEX, s.f)

## 2.4 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

El hábito de fabricar los productos y posteriormente inspeccionarlos, actualmente ha sido desplazado por el concepto de ingeniería concurrente en el que la calidad debe integrarse desde la fase de diseño del producto y a lo largo de todas las etapas consiguientes de fabricación y ensamble.

El aseguramiento de la calidad comprende la evaluación del producto y la satisfacción del cliente, y es el fabricante el que realiza un esfuerzo total para asegurar que sus productos se adapten a un conjunto detallado de especificaciones y normas. Se puede definir como el conjunto de acciones necesarias para asegurar que se satisfacen los requisitos de calidad. (Kalpakjian & Schmid, 2008)

Estas acciones deben ser demostrables para proporcionar la confianza adecuada de que se cumplen los requisitos del sistema, estas acciones pueden ser:

- Medir cuantitativamente el nivel de calidad identificando todas las variables del material y del proceso que se pueden controlar
- Analizar los defectos conforme ocurra en la línea de producción y eliminarlos rápidamente, o reducirlo a niveles aceptables.

La calidad siempre debe integrarse en el desarrollo de un producto, por lo que es responsabilidad de todos los que integran el equipo de diseño y fabricación e influye directamente en la capacidad de mercadeo del artículo y en la satisfacción del cliente.

El nivel de calidad integrado en el desarrollo de diseño está definido en el grado en que el producto sea adecuado para el propósito que se busca, responda a la demanda real del mercado, funcione de manera confiable durante su esperanza de vida, se le pueda dar un fácil mantenimiento y cumpla con los requerimientos del cliente. Mientras el nivel de calidad durante la fabricación se puede verificar inspeccionando de manera continua el producto para determinar si satisface las especificaciones para las tolerancias dimensionales, los defectos de soldadura, limpieza superficial, pintura y otras características.

## CAPÍTULO 3

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y DISEÑO CONCEPTUAL

#### 3.1 CONSIDERACIONES PARA ESTABLECER LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

El camión de vacío a ser diseñado tiene como objetivo ampliar los servicios que IAA brinda actualmente realizando un diseño seguro y confiable que satisfaga los requerimientos de los usuarios en el sector petrolero.

Para esto se realizó un estudio en campo del funcionamiento de este tipo de equipos en sus diferentes modos de operación y se analizaron las principales características que demandan los usuarios.

#### 3.2 LA CASA DE LA CALIDAD

La casa de la calidad es una herramienta que traduce las demandas de los usuarios en requerimientos técnicos del producto a través de la superposición de matrices permitiéndonos identificar de mejor forma las prioridades de los clientes y buscar cómo responder de forma innovadora a dichas necesidades. (Anexo 1)

Los pasos a seguir para la elaboración de la casa de la calidad son:

- Describir las *demandas* (*requerimientos* y *deseos*) de los usuarios
- Describir el grado de satisfacción que según el usuario proporcionan los productos o servicios de la empresa respecto a los de la competencia.
- Describir los requerimientos técnicos que deberán articularse para satisfacer las necesidades de los usuarios.

- Establecer las correlaciones entre la voz de los usuarios y la voz del ingeniero.
- Comparar el producto de la empresa con los de la competencia.
- Establecer los *compromisos técnicos* potenciales entre las diferentes características técnicas del producto.

### 3.2.1 VOZ DEL USUARIO

Según las demandas del usuario las características más importantes de un camión de vacío son las siguientes:

- Que sea fácil de operar.
- Que posea una mayor capacidad de almacenamiento.
- Que tenga una mayor potencia de succión.
- Que realice una rápida succión.
- Que realice una rápida descarga.
- Que el equipo sea estable.
- Que sea liviano.
- Que cumpla con los reglamentos nacionales de pesos y dimensiones máximas.
- Que durante su vida útil el número de mantenimientos sea menor.
- Que sea seguro.
- Que llegue a tener una mayor vida útil.

### 3.2.2 VOZ DEL INGENIERO

Una vez establecidos los deseos y demandas del usuario se procede a traducirlos en características técnicas.

- Volumen
- Potencia de la bomba
- Diámetros de succión y descarga

- Flujo de aire.
- Tiempo de accionamiento de la bomba.
- Ancho del chasis.
- Largo del chasis.
- Alto del chasis.
- Horas de operación.
- Máxima presión de operación.
- Temperatura máxima de operación.
- Peso.

### **3.2.3 RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

La casa de la calidad se elaboró mediante el desarrollo de la función de calidad en la que se definen las necesidades con el fin de establecer los criterios y parámetros adecuados para un correcto funcionamiento del equipo, además de un análisis de los equipos fabricados nacionalmente e internacionalmente.

Durante su elaboración se establecieron las siguientes consideraciones:

- Para establecer la voz del usuario se tomó como base la visita técnica a campo en la cual se pudo conversar con los operarios recopilando algunos de sus requerimientos con respecto al equipo y adecuándola con los atributos y cualidades que el departamento de ingeniería identificó basados en su experiencia en el diseño de equipos para la industria petrolera.
- Debido a que IAA no ha realizado el diseño de este tipo de equipos se calificó con uno en la columna A de la casa de la calidad y en la parte correspondiente al análisis de la competencia se procedió de la misma forma.

- Para realizar la evaluación de las competencias se tomó como referencia un camión de vacío fabricado nacionalmente y otro importado.

A través de la casa de la calidad, se obtuvo información con la cual se definió las principales características técnicas que satisfagan las demandas y requerimientos de la Industria Acero de los Andes y sus clientes. Éstas son:

- El peso del recipiente y dimensiones máximas del chasis establecidas por el MTOP.

El peso del recipiente y la variación de los parámetros de carga influyen directamente en la estabilidad del camión de vacío al presentar cambios significativos en la respuesta dinámica del vehículo. Además de que el peso y las dimensiones tanto del recipiente como el chasis deben cumplir con los requerimientos de la MTOP necesarios para operar dentro del país.

- El volumen del recipiente.

Es importante que el recipiente pueda contener la mayor cantidad de fluido succionado, para evitar que el trabajo sea realizado en varias etapas, por lo cual IAA decidió que la capacidad del recipiente sea de 120 BBL.

- Capacidad y potencia de la bomba.

Estas características permiten que el trabajo se realice de forma eficaz, reduciendo los tiempos de carga y descarga y succionando un mayor volumen de fluido.

### **3.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

Mediante la casa de la calidad se establece una lista de especificaciones que contiene las características o condiciones mínimas con que debe cumplir

el producto, para de esta forma crear un documento que resuma y detalle los requerimientos y deseos determinados.

Este documento reúne información como: empresa fabricante, denominación del producto, fechas de inicio y última revisión, además de:

- **Concepto:** Facilita la agrupación de las especificaciones (funciones, movimientos, fuerza) de manera que sean fácilmente localizables.
- **Fecha:** Determina la fecha en la que se acordó una especificación.
- **Propone:** Mantiene constancia, por medio de signos, de quién propuso cada una de las especificaciones (el cliente, departamento de la empresa fabricante).
- **Tipo:** Indica si una especificación es un requerimiento (R), es decir que sin él la máquina pierde su objetivo, o un deseo (D) el cual mejoraría determinados aspectos de la máquina sin ser estrictamente necesario; también se indica si se trata de una modificación de requerimiento o de deseo (MR, MD), o de un nuevo requerimiento o deseo (NR, ND).
- **Descripción:** Explicación breve y concisa de la especificación desde el punto de vista de los requerimientos y deseos del usuario del producto. Se debe evitar que las descripciones incluyan soluciones concretas. (Riba, 2002)

**Tabla 6.**

## Lista de especificaciones

Empresa:		Producto:		Fecha Inicial: 01/07/14	
Industria Acero de los Andes S.A.		Camión de Vacío de 120 BBL		Última revisión: 04/05/2015	
Página: 1 de 1					
Especificaciones					
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción	
Función	2014-07-01	C+D	R	Succión, transporte y descarga de hasta 120 BBL de crudo	
Dimensiones	2014-07-01	C+D	R	Volumen: 120 BBL	
	2014-07-01	D	D	Peso: 8000 kg	
	2014-07-01	C+D	R	Ancho del chasis: máx. 2,60m	
	2014-07-01	C+D	R	Largo del chasis: máx. 20,50 m	
	2014-07-01	C+D	R	Alto del chasis: máx. 4,30 m	
Energía	2014-07-01	D	R	Potencia de la bomba: Aprox. 36 a 85 HP	
	2014-07-01	D	R	Flujo de aire: 300 a 1200 CFM	
vida útil y mantenimiento	2014-07-01	C+D	D	En operación: 15 años	
Seguridad	2014-07-01	D	R	Presión de operación: Interna 10 psi Externa 12 psi	
	2014-07-01	D	R	Temperatura máxima de operación: -20 a 200 F	
	2014-07-01	D	R	Válvulas de alivio a la salida de la bomba	
Aspectos legales	2014-07-01	C+D	R	Cumplir con los reglamentos nacionales de pesos y dimens	
Dimensiones	2015-01-30	D	MD	Diámetros de las mangueras de succión y descarga: Ø 3"	
	2015-04-25	D	MD	Peso: 8421,31 kg	
Seguridad	2015-04-25	D	MR	Presión máxima de operación: Interna 5 psi Externa 12 psi	
	2015-04-25	D	NR	Válvula de alivio de presión y vacío	
Energía	2015-04-25	D	MR	Potencia de la bomba: Aprox. 46 HP	
	2015-04-25	D	MR	Flujo de aire: 350 CFM	

Propone: C= Cliente; M= Marketing; D= Diseño; F= Fabricación  
R/D: R=Requerimiento; MR= Modificación de requerimiento; NR= Nuevo requerimiento; D= Deseo; MD= Modificación de deseo; ND= Nuevo deseo.

Fuente: Autoras

**3.4 ANÁLISIS FUNCIONAL**

La etapa inicial de diseño se debe centrar en la función principal que realiza el producto, es decir, identificar y separar las acciones a ser ejecutadas por el producto para cumplir con los requisitos de diseño y reducir costos obteniendo diversidad de soluciones.

El análisis funcional es una técnica para analizar, desarrollar y describir una estructura funcional. (Capuz, 1999). Comprende el estudio y la evaluación de la función principal y el funcionamiento del producto.

Se denomina estructura funcional a la representación de las funciones que realizará el producto a ser desarrollado, estableciendo la contribución de cada componente físico al funcionamiento global del equipo.

Para el desarrollo de la estructura funcional se realizan diagramas de bloques que representan las diferentes funciones que cumple el equipo y se las interrelaciona mediante enlaces que simbolizan flujos de energía, materiales y señales entre las entradas, las salidas y las funciones. Para esto se debe:

- Establecer la función global del producto definida como el servicio específico que debe ejecutar el camión de vacío que en este caso es la succión, transporte y descarga de crudo, en donde el diseño del producto es una caja negra que vincula las entradas y las salidas.
- Para desplegar las funciones de una manera más clara y detallada reduciendo así la complejidad y aumentando las posibles soluciones, se subdividen en subfunciones que son decisivas para el diseño y si es necesario posteriormente se identifican funciones auxiliares.

La simbología utilizada para representar las funciones, subfunciones y sus flujos son:

**Tabla 7.** Simbología para la estructura funcional

<b>Función</b>	<b>Rectángulo de línea continua</b>	
<b>Flujo de material y dirección</b>	<b>Flecha de doble línea continua</b>	
	<b>Continúa</b>	

<b>Flujo de energía y dirección</b>	Flecha de línea continua	
<b>Flujo de señal y dirección</b>	Flecha de línea discontinua	
<b>Sistema, subsistema, módulo</b>	Polígono de línea de punto y raya	

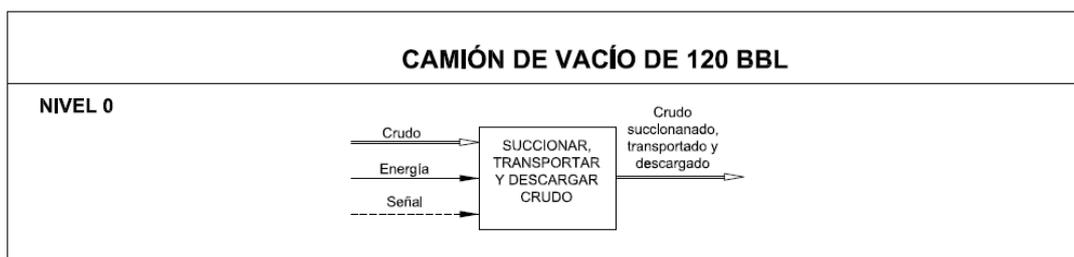
**Fuente:** (Riba, 2002)

### 3.4.1 DESARROLLO Y ANÁLISIS DE LOS DIAGRAMAS FUNCIONALES

Para el desarrollo y análisis de los diagramas funcionales, se establecieron tres niveles, los cuales permiten detallar completamente las funciones del camión de vacío, sin llegar a concretar soluciones específicas.

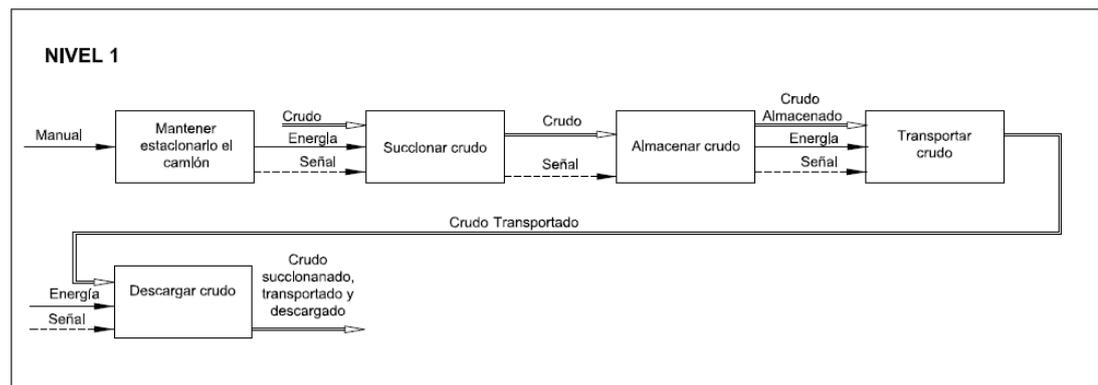
Al aumentar el nivel, los diagramas se desarrollaron desplegando funciones que expliquen más ampliamente la función del nivel anterior.

El nivel 0, representa la función global que cumple el camión con sus principales interfaces, siendo el nivel más alto y genérico del sistema.



**Figura 36.** Análisis funcional nivel 0  
**Fuente:** Autoras

En el nivel 1, se define en forma general el funcionamiento del camión de vacío para entender la secuencia e interrelación entre los bloques de las funciones subsiguientes.



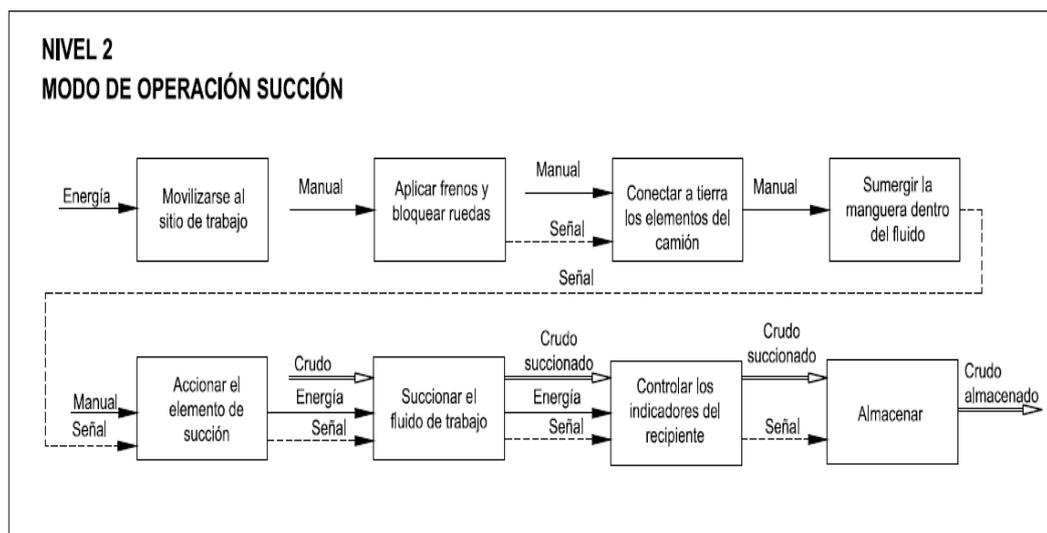
**Figura 37.** Análisis funcional nivel 1

**Fuente:** Autoras

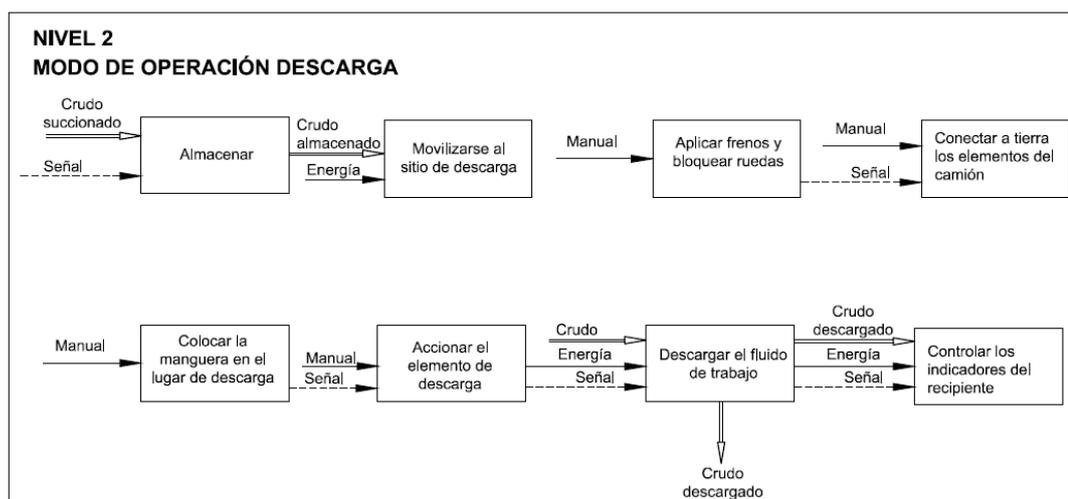
En el nivel 2, se realizó el diagrama para dos modos de operación, carga y descarga. En este nivel se despliegan varios procesos que no fueron definidos en el nivel anterior, estableciendo acciones que forman parte importante para el correcto funcionamiento del equipo. Se especifican funciones como movilizar el camión en la etapa inicial del primer modo de operación cuando el recipiente se encuentra vacío y en el segundo modo de operación, cuando el crudo ya ha sido succionado y almacenado.

Las funciones de accionar y activar la bomba se refieren al trabajo de succión y descarga que realiza la bomba y la forma en que la energía es transmitida para activarla. Para esto es importante el control de los indicadores de nivel y presión que posee el equipo, para que todo el proceso se lleve a cabo de forma segura.

El almacenamiento es una de las principales funciones del camión de vacío, puesto que el recipiente deberá ser el medio en el cual se transporta el crudo.



**Figura 38.** Análisis funcional nivel 2. Modo de operación succión  
**Fuente:** Autoras



**Figura 39.** Análisis funcional nivel 2. Modo de operación descarga  
**Fuente:** Autoras

### 3.5 MODULARIDAD

Los módulos son bloques organizados que facilitan la descomposición del diseño en partes más pequeñas, reduciendo tiempos en el diseño, permitiendo una restructuración al incorporar nuevas funciones o variantes en el producto y facilitando la detección y diagnóstico en el mantenimiento debido a que todo se encuentra de manera independiente entre sí.

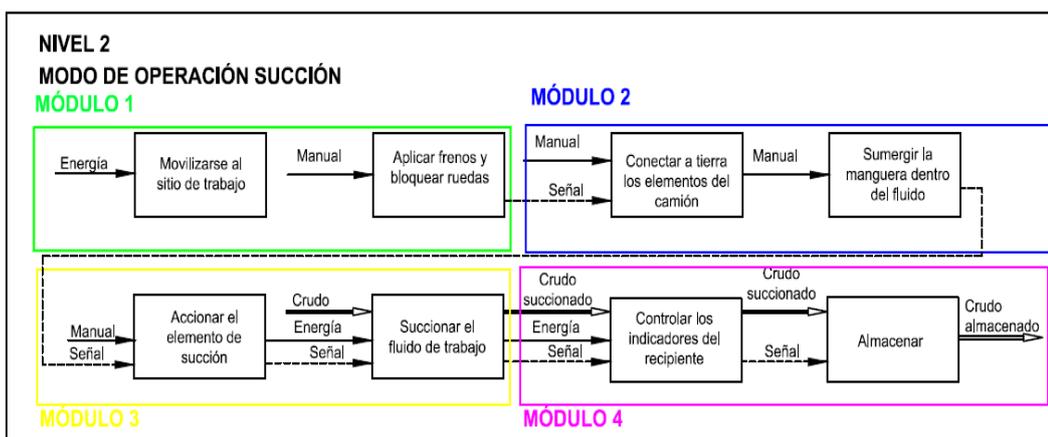
La estructura modular se establece agrupando funciones en módulos y estableciendo sus interrelaciones.

En el camión de vacío se pueden identificar varias funciones, que debido a su complejidad es necesario realizar una división modular adecuada mediante un análisis de los diagramas funcionales.

En este caso, al subdividirlo en dos modos de operación, se trata de detallar en forma clara el proceso de operación de un camión de vacío, pero en sí cada uno de éstos posee funciones y módulos similares, diferenciándose solamente por la función “accionar el elemento de succión o descarga”, función que utiliza un mismo elemento, la bomba de vacío, para cumplir su objetivo por lo que se considerará únicamente uno de los modos de operación para el análisis.

### 3.5.1 DIVISIÓN MODULAR

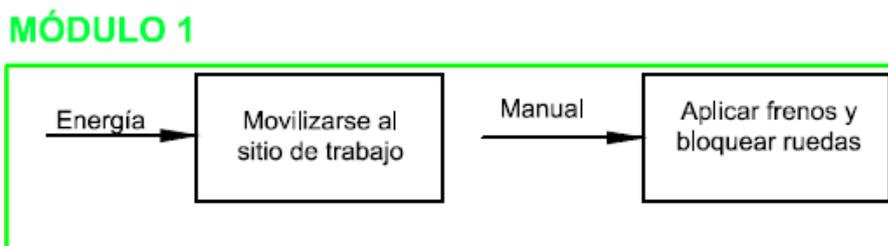
En el modo de operación carga se establecieron los siguientes módulos, considerando que todas las funciones englobadas en el módulo pueden recaer sobre un mismo elemento:



**Figura 40. División Modular**  
**Fuente: Autoras**

## MÓDULO 1

El primer módulo establecido tiene la función de trasladarse al lugar de trabajo y soportar los equipos del camión de vacío, ya sea vacío o con crudo succionado y almacenado.

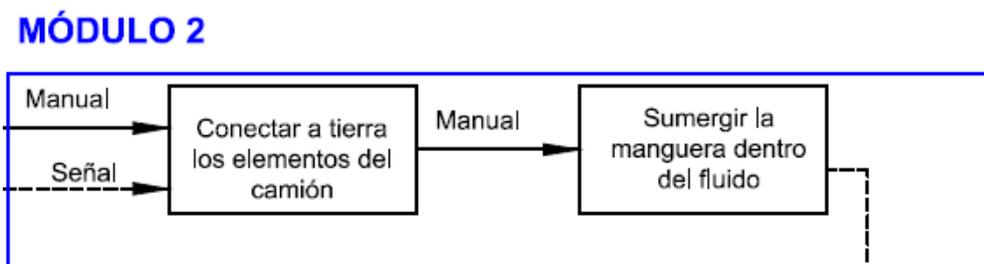


**Figura 41. Módulo 1**

**Fuente:** Autoras

## MÓDULO 2

Este módulo tiene la función de eliminar la carga estática para la transferencia segura del fluido.

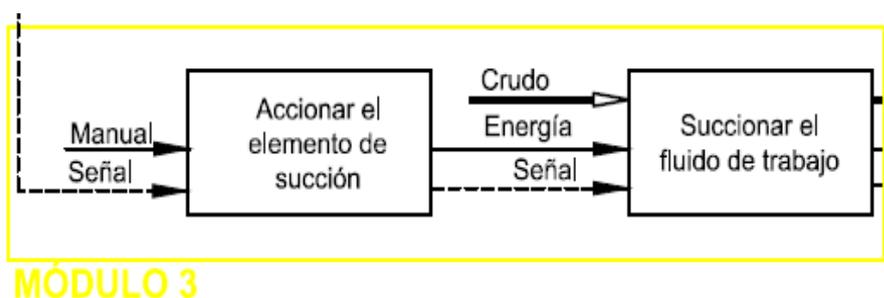


**Figura 42. Módulo 2.**

**Fuente:** Autoras

## MÓDULO 3

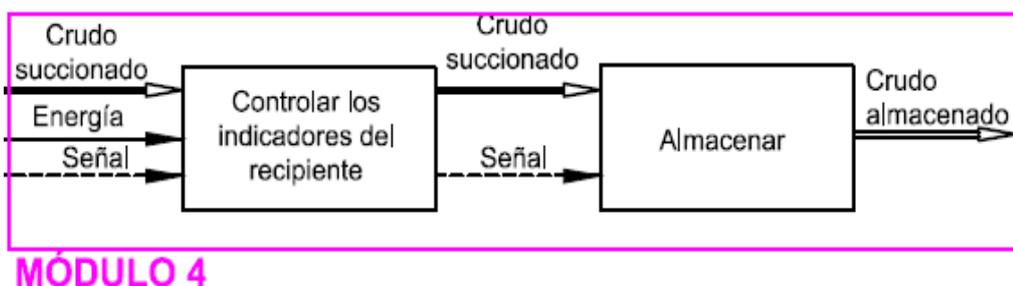
Este módulo tiene la función de transferir la energía requerida hacia el elemento de succión y descarga para accionarlo, ya sea en modo succión para el proceso de aspiración del crudo hacia el recipiente, o descarga para desalojar el crudo almacenado en el recipiente en el lugar previsto.



**Figura 43. Módulo 3**  
Fuente: Autoras

## MÓDULO 4

Este último modulo cumple la función de contener el crudo que ha sido succionado, controlando los parámetros de operación para un transporte seguro.



**Figura 44. Módulo 4**  
Fuente: Autoras

## 3.5.2 SOLUCIONES PARA CADA MÓDULO

### 3.5.2.1 MÓDULO 1

Este módulo comprende las siguientes funciones:

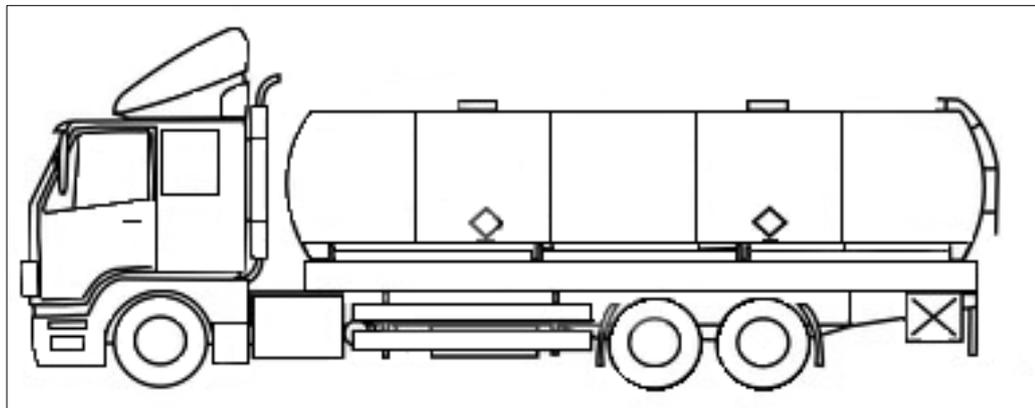
- Movilizarse al sitio de trabajo.
- Aplicar frenos y bloquear ruedas.

### **Función movilizarse al sitio de trabajo.**

Esta función contempla al vehículo que forma parte del camión de vacío sobre el cual estará acoplado el recipiente de presión, equipos y accesorios. Para esto plantean dos posibles soluciones:

#### ***Camión simple con recipiente sobre el chasis.***

Un camión simple puede poseer un eje simple o doble en la carrocería, esto dependerá de la carga a soportar lo que permitirá un mejor desempeño del vehículo. Un camión con eje simple posee una capacidad de hasta 6 toneladas, un peso bruto máximo de 16 toneladas y su longitud es de 14 metros, mientras que un camión con eje doble tiene una capacidad de 10 a 14 toneladas, un peso bruto máximo de 23 toneladas y su longitud es de 14 metros.



**Figura 45.** Camión simple con el recipiente sobre el chasis

**Fuente:** (Bruder, s.f)

#### Ventajas

- Requieren de una infraestructura relativamente sencilla.
- Menor inversión inicial que otros sistemas de transporte.

## Desventajas

- Elementos no desmontables.
- Las dimensiones permitidas para este tipo de camiones son menores por lo cual las dimensiones del recipiente y su capacidad están limitadas.
- Menor capacidad de carga que un tracto-camión o soporta un peso máximo bruto menor.
- La potencia del camión está directamente relacionada con el peso de la carga por lo cual requiere de un motor de menor potencia que un tracto camión.
- 

### ***Tracto camión con semirremolque.***

En un tracto camión, la fuerza motriz en las ruedas de tracción y el motor se encuentran juntas en el mismo lugar, e independientes de la carga.

La parte en donde se encuentra la cabina del conductor recibe el nombre de tracto camión, mientras que al módulo de carga se lo denomina semirremolque.



**Figura 46.** Tracto camión con el recipiente sobre el semirremolque  
**Fuente:** (COLUMBIA TANKS LLC, 2014)

## Ventajas

- Las dimensiones máximas permitidas por el MTOP son mayores, por lo tanto se puede transportar grandes volúmenes de fluido.
- El semirremolque se puede desmontar fácilmente, proporcionando independencia al tracto camión y permitiendo que sea utilizado en otras actividades.
- Mayor torque que se traduce como una mayor capacidad para mover cargas a bajas revoluciones, economizando combustible debido a que su esfuerzo es menor.

## Desventajas

- Su infraestructura es compleja debido a que requiere de elementos que permitan acoplar al semirremolque al cabezal, la estructura sobre la cual irá montada el recipiente y el apoyo necesario para soportar el peso del recipiente cuando no esté unido al cabezal.
- Mayor inversión inicial.

### **Función aplicar frenos y bloquear ruedas.**

De acuerdo al diagrama funcional en el nivel dos, esta función será realizada manualmente por los operarios, los cuales deben garantizar que el camión se mantenga estático antes de iniciar cualquier operación.

#### **3.5.2.2 MÓDULO 2**

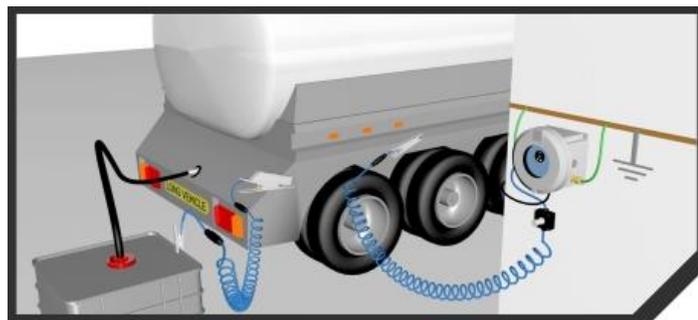
Este módulo cumple con las siguientes funciones:

- Conectar a tierra al camión.
- Sumergir la manguera dentro del fluido o colocarla en el lugar de descarga.

### **Función conectar a tierra el camión.**

Esta función proporciona métodos para eliminar la electricidad estática que es generada cuando el líquido fluye a través de las tuberías, válvulas y otros equipamientos. Para ello se debe dar continuidad eléctrica a los diferentes elementos para después conectarlos a tierra, proporcionando un camino que ayude a eliminar la carga estática almacenada, permitiendo la conducción eléctrica entre el recipiente dispensador, el contenedor receptor y la conexión a tierra.

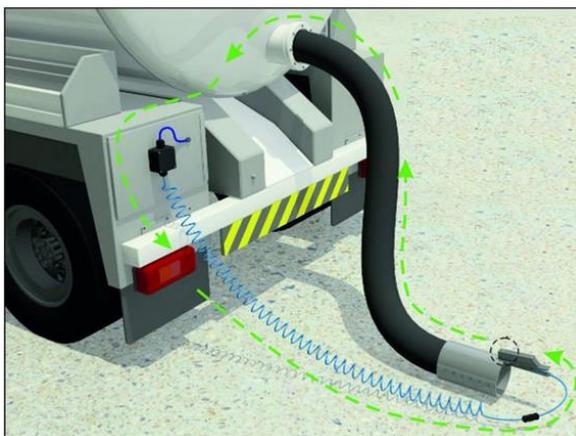
Estas conexiones deben ser realizadas de forma simultánea lo que permite disipar directamente hacia tierra las cargas estáticas.



**Figura 47.** Conexión a tierra: Bonding and Grounding  
**Fuente:** (Newson Gale, 2012)

### ***Continuidad eléctrica (Bonding)***

Esta conexión evita la formación de diferentes potenciales electrostáticos entre el camión de vacío, la bomba, la fuente de succión o recepción y el recipiente, para esto se conecta eléctricamente dos o más objetos conductores para igualar potenciales eléctricos de tal manera que no exista diferencia de tensión entre ellos pero sin eliminar la carga estática. También se lo puede realizar conectando partes del equipo, recipientes o contenedores que están separadas eléctricamente (por ejemplo por empaques).



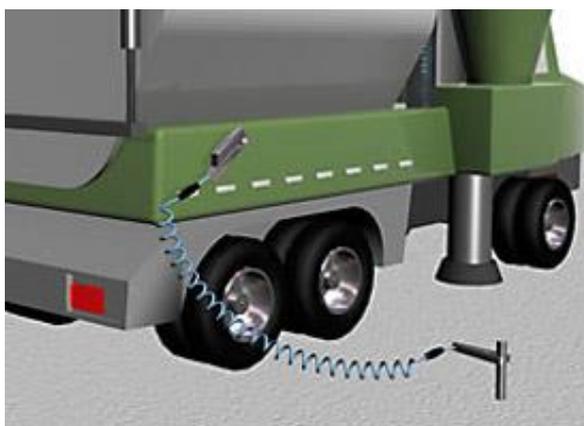
**Figura 48.** Conexión a tierra: Bonding  
**Fuente:** (Newson Gale, 2012)

### ***Conexión a tierra (Grounding)***

Para realizar la puesta a tierra se conectan uno o más objetos conductores de manera que haya un camino conductivo continuo desde el camión de vacío a través de la manguera y la boquilla para el recipiente o tanque de depósito para disipar las cargas estáticas directamente a tierra.

Mediante la puesta a tierra se reducen las diferencias de potencial eléctrico entre el camión de vacío y tierra impidiendo que se genere carga estática, debido a que son drenadas directamente a tierra llevando el potencial eléctrico a cero.

Bajo ninguna circunstancia el cable a tierra debe conectarse a una pieza de equipo eléctrico y ser usado como una conexión a tierra para el camión de vacío, ya que se podrían introducir peligrosas corrientes parásitas debidas a fallos eléctricos o al sistema de puesta a tierra.

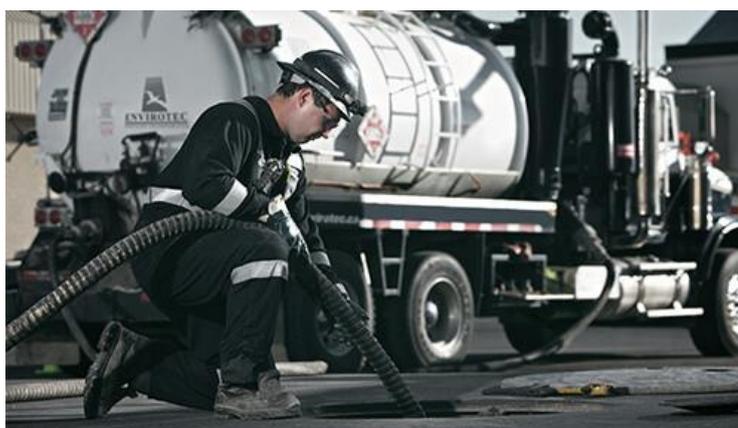


**Figura 49.** Conexión a tierra: Grounding  
**Fuente:** (Newson Gale, 2012)

**Función sumergir la manguera dentro del fluido o colocarla en el lugar de descarga.**

Esta función se la realiza después de que el camión se encuentre totalmente estático para que los operadores puedan manipular las mangueras hacia el lugar de succión o descarga de acuerdo al trabajo a ser efectuado.

Para ejecutar este trabajo se pueden utilizar dos tipos de mangueras: conductivas o no conductivas.



**Figura 50.** Mangueras de succión de un camión de vacío  
**Fuente:** (Envirotec Services Incorporated, s.f)

### ***Mangueras conductivas***

Estas mangueras son construidas de material conductor o poseen cables conductores incrustados que disminuyen el riesgo que se acumule carga electrostática o se produzcan chispas durante la transferencia del fluido.

Este tipo de mangueras deberá poseer una resistividad eléctrica menor o igual a 1 mega ohmio ( $1 \times 10^6 \Omega$ ) por cada 100 pies. (API , 2005)

#### Ventajas

- Son capaces de conducir corriente eléctrica.
- Su material evita que se acumule carga estática en forma de chispa, si está adecuadamente conectada a tierra.
- Son recomendables en el manejo de combustibles y líquidos a base de petróleo.

#### Desventajas

- A pesar de disipar la carga estática necesitan tener continuidad eléctrica entre el recipiente y los conectores o boquillas de manera que se iguale el potencial de energía.

### ***Mangueras no conductivas***

Este tipo de mangueras generalmente no se emplean en operaciones de transferencia de líquidos inflamables o combustibles, debido a que actúan como fuentes de ignición al momento en que un conductor (como tubos, bridas de manguera de metal, acoplamientos, accesorios y boquillas de succión) toca o está próximo a un elemento conectado a tierra, ya que las mangueras no disipan la electricidad estática.

## Ventajas

- Son más comúnmente utilizadas para aplicaciones en donde no exista una atmósfera inflamable.
- Ciertas aplicaciones tales como la proximidad a los cables de alta tensión requieren de mangueras no conductoras para evitar el flujo de corriente eléctrica.

## Desventajas

- La manguera no conductora no puede ser utilizado para la descarga de líquidos inflamables en áreas abiertas, tales como pozos o tanques abiertos, o en donde cualquier fuente de vapores inflamables puede estar presente cerca del extremo abierto de la manguera.
- Resisten el flujo de corriente por lo que su material acumula y retiene altos niveles de electricidad estática cuando el fluido pasa a través del revestimiento de la manguera generando chispas que producen agujeros en el revestimiento.
- Los conectores o boquillas que estén expuestos deberán ser de materiales conductores y estar conectados a tierra para el camión de vacío y la fuente o recipiente receptor de forma individual.
- No es recomendable para el manejo de combustibles y líquidos a base de petróleo.

### 3.5.2.3 MÓDULO 3

Este tercer módulo abarca las siguientes funciones:

- Accionar el elemento de succión y descarga.
- Succionar o descargar fluido, dependiendo de la actividad requerida.

## **Función accionar el elemento de succión y descarga**

### ***Accionamiento por correas***

Este accionamiento utiliza la toma de fuerza del camión P.T.O para conectarlo directamente mediante el uso de una polea y correas al elemento de succión y/o descarga.



**Figura 51.** Camión de vacío accionado por correas  
Fuente: (HUB, 2010)

### Ventajas

- Transmiten potencia a grandes distancias, sin requerir demasiado espacio para su instalación.
- Fácil montaje, se pueden variar las posiciones de los ejes y el sentido de giro con facilidad.
- Fácil mantenimiento ya que sus elementos son comerciales y no requieren lubricación.
- Funcionamiento silencioso.
- Bajo costo.

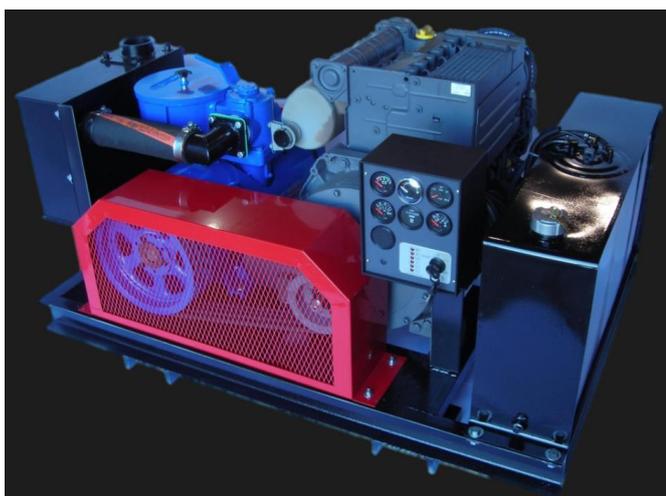
## Desventajas

- No soportan fácilmente cambios de temperatura, carga y alargamiento de la correa por largos períodos de trabajo.
- En ocasiones requieren de elementos tensores.
- Pueden producirse deslizamientos de la correa, ocasionando que la relación de transmisión no sea constante.
- Demandan de grandes fuerzas en los apoyos y ejes de transmisión.

## ***Accionamiento por motor auxiliar***

Este accionamiento es independiente de la toma de fuerza del camión, utiliza un motor de combustión interna diésel, el cual trasmite el movimiento ya sea a través de correas o un embrague centrífugo al elemento de succión y/o descarga activándolo.

El motor auxiliar debe estar equipado con un panel de control, batería con cierre de seguridad, depósito de combustible, filtro de aceite, bastidor, etc.



**Figura 52.** Accionamiento por motor auxiliar  
**Fuente:** (FRUITLAND Manufacturing, 2013)

## Ventajas

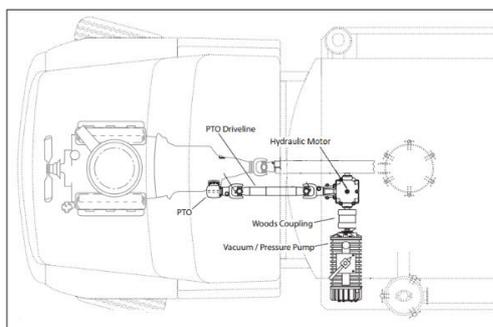
- Autonomía
- Gran disponibilidad en el mercado, se pueden encontrar motores auxiliares de combustión interna de diversas potencias.
- Fácil instalación y montaje.
- El acople entre la bomba y el motor es fácilmente intercambiable.

## Desventajas

- Al utilizar un motor de combustión interna, se pueden generar chispas peligrosas si el ambiente es inflamable.
- Necesitan a su vez de otro accionamiento ya sea manual o eléctrico para encender el motor.
- Necesita de combustible para su funcionamiento.
- Emisión de gases contaminantes.

## ***Accionamiento por motor hidráulico***

Como su nombre lo indica este accionamiento utiliza un motor hidráulico sujeto directamente al elemento de succión y/o descarga y que es activado por una bomba hidráulica que a su vez está accionada por la toma de fuerza del motor del camión PTO, este sistema de accionamiento cuenta también con un sistema de refrigeración para enfriar el aceite del circuito hidráulico.



**Figura 53.** Esquema de un accionamiento hidráulico  
**Fuente:** (Imperial, s.f)



**Figura 54.** Accionamiento hidráulico  
**Fuente:** Autoras

### Ventajas

- Transmite alta potencia en un tamaño compacto.
- El fluido hidráulico puede operar en condiciones extremas de calor.
- El fluido es auto lubricante.
- Seguridad debido a que no existen elementos giratorios expuestos.
- Mantiene la velocidad controlada, independientemente de la carga dentro de los límites de diseño.
- Proporciona una respuesta más rápida que las transmisiones mecánicas.

### Desventajas

- Necesita de una bomba hidráulica acoplada al camión.
- El fluido es susceptible a la contaminación, a objetos extraños y a altas temperaturas.
- Debido a que posee un mayor número de componentes (líneas hidráulicas, depósitos, filtros, válvulas), agrega mayor peso a la estructura.
- La bomba hidráulica puede sufrir cavitación, produciendo un desgaste prematuro de la misma.
- Si el sistema no está dispuesto adecuadamente, el fluido hidráulico se convierte en un riesgo de explosión.

## **Función Succionar o descargar fluido, dependiendo de la actividad requerida.**

### **Succión**

Para la función de succión se pueden emplear bombas de vacío de tres tipos. Las bombas de vacío pueden ser: de paletas deslizantes, de anillo líquido o de lóbulos rotativos.

#### ***Bombas de paletas deslizantes***

Las bombas de paletas deslizantes están compuestas por una carcasa, un rotor excéntrico y paletas deslizantes. Mediante el giro del rotor, se produce el desplazamiento de las paletas por la fuerza centrífuga dentro de la carcasa, de tal forma que ambas, paletas y carcasa se encuentran en contacto formando cámaras cerradas que amplían su volumen generando succión a la entrada, y lo reducen a la salida ocasionando la descarga.



**Figura 55.** Bomba de paletas deslizantes 607 Challenger  
**Fuente:** (National Vacuum Equipment, 2014)

#### Ventajas

- Su instalación y operación son simples y económicas.
- Posee una alta capacidad de flujo.

- Buenas características de desgaste de las paletas si el material bombeado no es abrasivo.
- Facilidad en el mantenimiento.
- Larga vida útil.
- Variabilidad del volumen de trabajo, modificando la excentricidad del rotor con respecto a la carcasa.
- Tolerancia aceptable a los contaminantes.
- Desarrollan grandes potencias y presiones extremadamente altas.
- Son compactas.
- Modelos con funcionamiento reversible.
- Inversión y costos de operación reducidos.
- Mayor seguridad de funcionamiento.

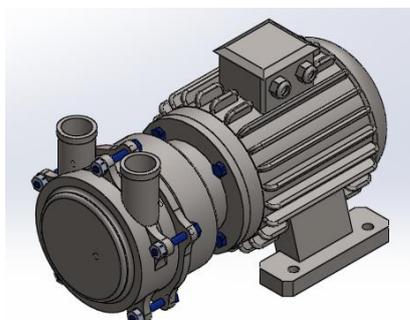
#### Desventajas

- Problemas de contaminación de aceite.
- El aire a la salida de la bomba está saturado de aceite ya que utilizan una pequeña cantidad de lubricante inyectado directamente a los puntos críticos durante la operación, incluyendo la cámara de vacío, por lo que se necesita de una trampa de aceite para limpiar el aire.
- Las paletas deben tener una limpieza adecuada para evitar que se adhieran dentro de sus ranuras de alojamiento residuos.

#### ***Bombas de anillo líquido***

Las bombas de anillo líquido necesitan de un líquido auxiliar que transmite la energía hacia las paletas, generando volumen libre entre el núcleo del rotor y el anillo líquido, actuando como pistón produciendo un vacío e impulsión conforme va girando el rotor.

El líquido auxiliar tiene tres funciones, formar el anillo líquido, evacuar el calor y evitar que exista un espacio entre las paletas y la carcasa durante su funcionamiento.



**Figura 56.** Bomba de vacío de anillo líquido

**Fuente:** Autoras

#### Ventajas

- Entregan aire libre de aceite debido a que ciertas partes como los cojinetes del eje del rotor, los cuales requieren lubricación están ubicados en la parte exterior de la bomba.
- Las paletas no necesitan lubricación debido a que el sello líquido mantiene las paletas separadas de la carcasa.
- Son un diseño de baja fricción debido a que comprende un solo conjunto giratorio que no está sujeto a mucho desgaste.
- Tolerancia al ingreso de líquidos, puede manejar cargas de gases condensables, además de manejar fluidos de varias clases sin afectar el rendimiento de la bomba.
- Muy pequeño incremento en la temperatura del gas de descarga ya que el líquido actúa como refrigerante.
- Fácil mantenimiento.

#### Desventajas

- Existe riesgo de cavitación.

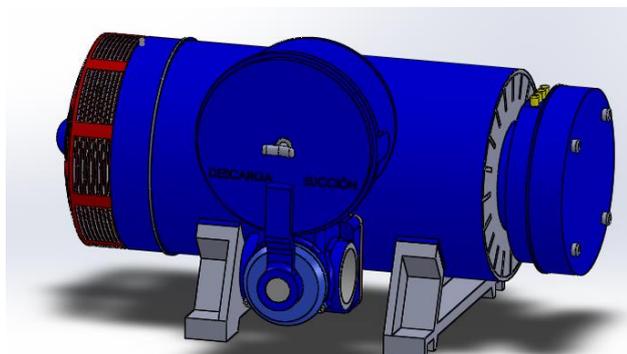
- Generan residuos líquidos condensados que pueden afectar al medio ambiente.
- Alto consumo de energía, en comparación con otros dispositivos de vacío.
- La presión del líquido de sello limita la presión del proceso.
- Costos de operación más altos.
- El agua debe ser de buena calidad para evitar fallas prematuras debido a la acumulación de cal.
- Requieren filtración y ajuste de líquido.

### **Descarga**

Para la función descargar fluido, se lo realiza generalmente de las formas que se describen a continuación:

#### ***Método de Presión***

La descarga mediante este método se la realiza a través de la inversión de la bomba de vacío que aumenta la presión del aire en el interior del recipiente, creando una especie de manta que empuja al fluido de trabajo hacia el exterior provocando la descarga.



**Figura 57.** Bomba con dos modos de operación  
**Fuente:** Autoras

## Ventajas

- La succión y descarga en el camión de vacío pueden ser realizadas por un mismo elemento.
- Menor costo.
- Facilidad en el mantenimiento.
- Disponibilidad en el mercado.
- Operación sencilla.
- Es óptimo para espacios reducidos.
- Accionamiento directo.

## Desventajas

- Cuando las bombas de vacío se invierten para la descarga de productos combustibles, esta acción inversa puede calentar los hidrocarburos líquidos inflamables a temperaturas superiores a su punto de inflamación.
- Precisa de un tiempo para invertir el sentido de giro de la bomba.

## ***Método de gravedad***

Este método de descarga se lo realiza mediante un sistema mecánico que eleva al recipiente abriendo una de sus cabezas, permitiendo que el fluido sea depositado en el lugar designado debido al efecto de la gravedad.



**Figura 58.** Método de descarga de un camión de vacío  
**Fuente:** (TRUCK WORKS, 2012)

## Ventajas

- Se prefiere este método de gravedad para la descarga de líquidos inflamables, materiales peligrosos y combustibles, ya que el fluido es directamente depositado en el lugar de descarga y no se produce cambios de presión y temperatura en el mismo.
- Es considerado un método seguro ya que minimiza el riesgo de daño al equipo y protege al personal.
- Su operación es amigable con el medio ambiente.
- El sistema es más eficiente porque la tasa de descarga es mayor.
- De fácil operación.

## Desventajas

- En la descarga el flujo no puede ser controlado adecuadamente.
- Mayor costo de inversión e instalación.
- Separa los procesos de succión y descarga, por lo que es necesario otro elemento para el proceso de succión.
- Necesita de un control automático para el sistema de elevación.
- La cabeza de descarga debe poseer un cierre completamente hermético para que no existan problemas durante el traslado del fluido.

### **3.5.2.4. MÓDULO 4**

Este módulo cumple con la función de almacenar el crudo para lo cual se plantean soluciones para determinar la forma del cuerpo y cabezas para un volumen ya establecido de 120 BBL y también sirve para controlar los indicadores del recipiente.

### **Función Controlar los indicadores del recipiente.**

Esta función busca soluciones para mantener bajo control los parámetros de nivel y presión de vacío y descarga durante el funcionamiento del camión.

Para verificar el nivel se puede utilizar diferentes medidores de nivel, entre los más comúnmente usados en un camión de vacío están:

#### ***Mirilla de Inspección***

Son utilizadas en los camiones de vacío ubicándolas en diferentes puntos de control donde permita a los operarios visualizar de mejor manera el nivel de líquido.



**Figura 59.** Camión de vacío con mirillas de inspección  
**Fuente:** (AMTHOR International, s.f)

#### Ventajas

- Permiten una inspección ocular sencilla y rápida por todo su sistema.
- Detectan obstrucciones de flujo.
- Pueden resistir altas temperaturas y presiones dependiendo del tamaño del vidrio y del espesor.
- Pueden existir en diferentes modelos, dimensiones y resistencias.

## Desventajas

- Su parte más delicada de la mirilla es el vidrio que permite la visualización del fluido, por ser el elemento más sensible a la agresión química, presión y temperatura del fluido.
- El montaje de los vidrios debe efectuarse cuidadosamente evitando crear tensiones en el vidrio que pueden provocar su rotura.

## ***Tubo de medición***

Es un tubo de vidrio o plástico transparente el cual permite visualizar la altura del líquido y que está conectado en sus extremos a la parte superior e inferior del recipiente mediante llaves que sirven como retenedoras de líquido en caso de romperse el tubo.



**Figura 60.** Camión de vacío con tubo de medición

**Fuente:** (Pik Rite. Inc, 2014)

## Ventajas

- Puede realizar una medición rápida y cómoda.
- Son de fácil mantenimiento debido a que poseen válvulas que permiten un desmontaje rápido e impiden la fuga de líquido.
- Se los puede utilizar en procesos de bajas y altas presiones, que dependerá del material con que esté fabricado el tubo.
- Económico

## Desventajas

- El elemento transparente puede estar sometido a impactos durante el transporte ocasionando la ruptura del tubo y vertido del producto.
- Es susceptible a ensuciarse por las características del líquido.
- Puede existir obstrucción en las tuberías de ingreso al indicador si el fluido contiene alta concentración de sólidos.

## Flotador

Este medidor se encuentra ubicado en el interior del recipiente indicando permanentemente el nivel del líquido ya que se encuentra conectado de forma mecánica al exterior del recipiente.



**Figura 61.** Camión de vacío con flotador  
**Fuente:** Autoras

## Ventajas

- El material de fabricación del flotador puede ser adecuado dependiendo del tipo de fluido.
- Puede emplearse en recipientes cerrados.
- Mediciones continuas y puntuales.

## Desventajas

- Las partes móviles están expuestas al fluido y por ende están sujetas a desgaste requiriendo mantenimiento frecuente.
- El diseño del flotador depende de la densidad del fluido.
- Requiere una instalación y calibración complicada y posee partes móviles en el interior del tanque.
- Los tubos guías muy largos pueden dañarse ante olas bruscas en la superficie del recipiente.
- La medición es afectada por los cambios en la gravedad específica del fluido.

## ***Vacuómetro***

Para controlar que las presiones se encuentren dentro del rango permitido es necesario utilizar un manómetro de presión y vacío que realice una medición continua de la presión dentro del recipiente durante la operación del camión ya sea que este opere en modo succión o descarga y prevenga al operador de cualquier problema que pueda presentarse.



**Figura 62.** Vacuómetro instalado en las líneas de un camión de vacío  
**Fuente:** Autoras

## **Función Almacenar**

A pesar de que un recipiente esférico soporta mayor presión que un recipiente cilíndrico del mismo espesor se ha decidido que el cuerpo tendrá

forma cilíndrica como única solución por su facilidad de análisis, fabricación, y acoplamiento de las tapas, además que su forma proporciona una mayor capacidad de almacenamiento, lo que también se verá reflejado en costos menores.

Las cabezas comúnmente utilizadas para los recipientes a presión de los camiones de vacío son:

### ***Cabezas Toriesféricas***

Su característica principal es que su cabeza es bombeada y rebordeada. Según estándares ASME, se la denomina F&D.



**Figura 63.** Cabeza toriesférica.

**Fuente:** (FITSA, 2015)

#### Ventajas

- Disponibilidad de máquina rebordecadora en IAA para la fabricación.
- Se pueden fabricar en diámetros desde 0.3 hasta 6m.
- Poseen sólo dos radios principales que gobiernan la fabricación, por lo que son más fáciles de construir.
- Menores costos.
- Experiencia de los operarios en la fabricación de este tipo de cabezas.
- Son las de mayor aceptación en la industria, ya que soportan grandes presiones manométricas.

### Desventajas

- Soportan menores presiones en comparación a las cabezas semielípticas.

### ***Cabezas Semi-elípticas***

Se las fabrica bajo el proceso de troquelado, se caracteriza porque su eje menor es la mitad del eje mayor y su contorno representa una media circunferencia.



**Figura 64.** Cabeza semi-elíptica  
**Fuente:** (Talleres Estructurales S.A de C.V, s.f)

### Ventajas

- Mayor resistencia a los esfuerzos.
- Son empleadas cuando el espesor calculado de la cabeza toriesférica es relativamente alto, ya que las tapas semielípticas soportan mayores presiones que las toriesféricas.

### Desventajas

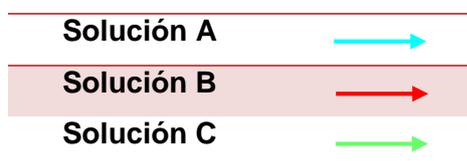
- Su curvatura es continuamente variable por lo que el proceso constructivo se dificulta.
- Mayores costos de fabricación.

### 3.5.3 ALTERNATIVAS DE CADA MÓDULO

Se plantean varias alternativas para cada módulo, combinando las soluciones de cada una de las funciones de tal manera que se interrelacionen entre ellos. Para ello cada solución se identifica con un color característico, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 8.**

Representación de las soluciones.

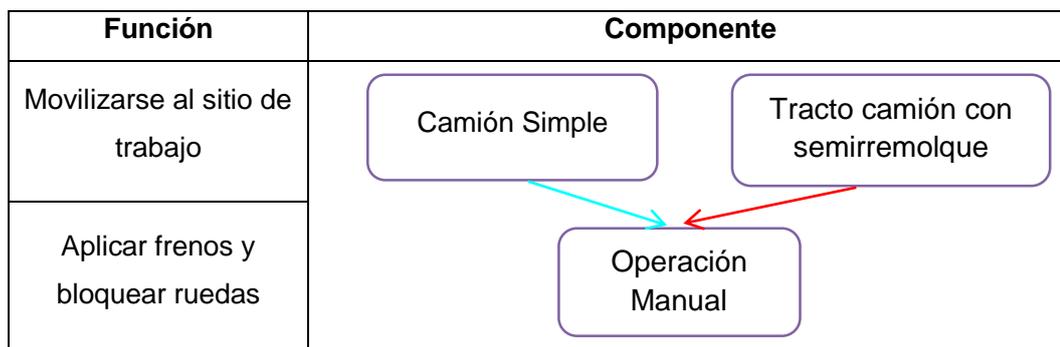


**Fuente:**Autoras

#### 3.5.3.1 ALTERNATIVAS PARA EL MÓDULO 1

**Tabla 9.**

Alternativas para el módulo 1.



**Fuente:** Autoras

### 3.5.3.2 ALTERNATIVAS PARA EL MÓDULO 2

**Tabla 10.**

Alternativas para el módulo 2.

Función	Componente
Eliminar carga estática	<pre> graph TD     A[Conexión a tierra y Continuidad eléctrica (Ambas)] -- cyan --&gt; B[Manguera No Conductiva]     A -- red --&gt; C[Manguera Conductiva]           </pre>
Sumergir la manguera dentro del fluido de trabajo	

**Fuente:** Autoras

### 3.5.3.3 ALTERNATIVAS PARA EL MÓDULO 3

#### Succión

**Tabla 11.**

Alternativas para el módulo 3 en modo succión.

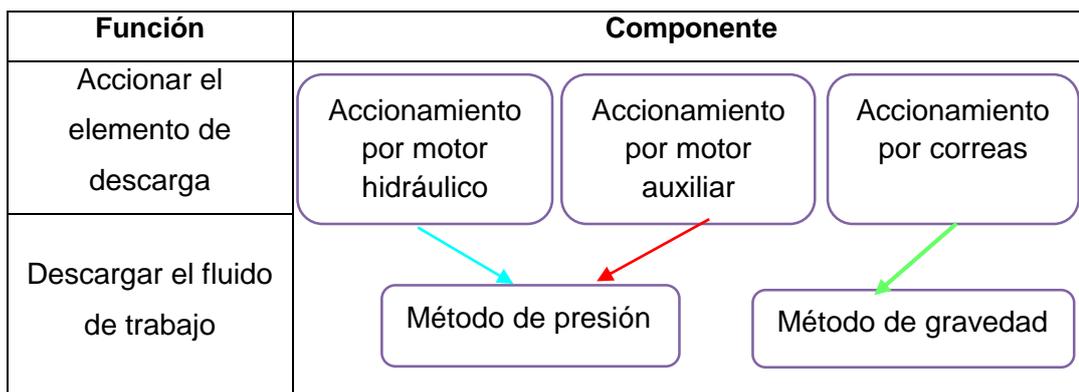
Función	Componente
Accionar el elemento de succión	<pre> graph TD     A1[Accionamiento por motor hidráulico] -- cyan --&gt; B[Bomba de Paletas Deslizantes]     A2[Accionamiento por motor auxiliar] -- red --&gt; B     A3[Accionamiento por correas] -- green --&gt; C[Bomba de Anillo Líquido]           </pre>
Succionar el fluido de trabajo	

**Fuente:** Autoras

## Descarga

**Tabla 12.**

Alternativas para el módulo 3 en modo descarga.

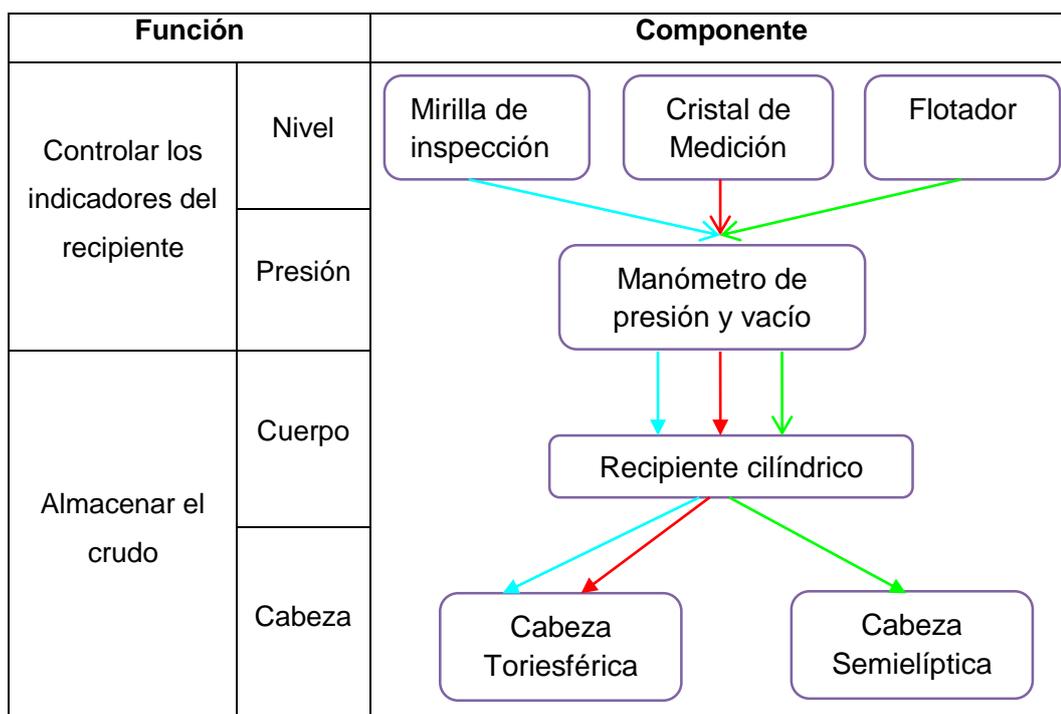


Fuente: Autoras

### 3.5.3.4 ALTERNATIVAS PARA EL MÓDULO 4

**Tabla 13.**

Alternativas para el módulo 4.



Fuente: Autoras

### 3.5.4 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN PARA CADA MÓDULO

A fin de establecer la opción más conveniente para IAA, se utiliza el método ordinal corregido de criterios ponderados como herramienta de evaluación de los módulos basado en el libro de Riba (2002).

#### 3.5.4.1 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN PARA EL MÓDULO 1

Los criterios de valoración son los siguientes:

- Costo de adquisición.
- Pesos y dimensiones con el fin de cumplir con el reglamento del MTOP.
- Un torque que permita mover mayores cargas a bajas revoluciones economizando el uso de combustible.
- Mantenimiento sencillo y de bajo costo.
- Fiabilidad del camión para evitar paros imprevistos.

**Tabla 14.**

Ponderación de los criterios de selección para el módulo 1.

Torque > Pesos y dimensiones > Costo > Mantenimiento = Fiabilidad							
Criterio	Torque	Pesos y dimensiones	Costo	Mantenimiento	Fiabilidad	$\Sigma +1$	Pond.
Torque		1	1	1	1	5	0,333
Pesos y dimensiones	0		1	1	1	4	0,267
Costo	0	0		1	1	3	0,200
Mantenimiento	0	0	0		0,5	1,5	0,100
Fiabilidad	0	0	0	0,5		1,5	0,100
					<b>Suma</b>	15	1

**Fuente:** Autoras

Tabla 15.

Evaluación de las alternativas para el módulo 1.

Solución B > Solución A				
<b>Torque</b>	Sol. A	Sol. B	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		0	1	0,333
Solución B	1		2	0,667
		<b>Suma</b>	3	1

Solución A > Solución B				
<b>Pesos y dimensiones</b>	Sol. A	Sol. B	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		1	2	0,667
Solución B	0		1	0,333
		<b>Suma</b>	3	1

Solución A > Solución B				
<b>Costo</b>	Sol. A	Sol. B	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		1	2	0,667
Solución B	0		1	0,333
		<b>Suma</b>	3	1

Solución B > Solución A				
<b>Mantenimiento</b>	Sol. A	Sol. B	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		0	1	0,333
Solución B	1		2	0,667
		<b>Suma</b>	3	1

Solución B > Solución A				
<b>Fiabilidad</b>	Sol. A	Sol. B	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		0	1	0,333
Solución B	1		2	0,667
		<b>Suma</b>	3	1

Fuente: Autoras

**Tabla 16.**

Conclusiones para el módulo 1.

Conclusión	Torque	Pesos y dimensiones	Costo	Mantenimiento	Fiabilidad	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0,109	0,181	0,134	0,033	0,033	0,490	2
Solución B	0,221	0,089	0,066	0,067	0,067	0,510	1
B > A							

Fuente: Autoras

### 3.5.4.2 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN PARA EL MÓDULO 2

Los criterios de valoración son los siguientes:

- Facilidad para eliminar la carga estática.
- Disponibilidad en el mercado.
- Confiabilidad

**Tabla 17.**

Ponderación de los criterios de selección para el módulo 2.

Confiabilidad > Facilidad para eliminar carga estática > Disponibilidad					
Criterio	Confiabilidad	Facilidad para eliminar carga estática	Disponibilidad	$\Sigma +1$	Pond.
Confiabilidad		1	1	3	0,500
Facilidad para eliminar carga estática	0		1	2	0,333
Disponibilidad	0	0		1	0,167
<b>Suma</b>				6	1

Fuente: Autoras

**Tabla 18.**

Evaluación de las alternativas para el módulo 2

Solución B > Solución A				
<b>Confiabilidad</b>	Sol. A	Sol. B	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		0	1	0,333
Solución B	1		2	0,667
<b>Suma</b>			3	1

Solución B > Solución A				
<b>Facilidad para eliminar carga estática</b>	Sol. A	Sol. B	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		0	1	0,333
Solución B	1		2	0,667
<b>Suma</b>			3	1

Solución A > Solución B				
<b>Disponibilidad</b>	Sol. A	Sol. B	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		1	2	0,667
Solución B	0		1	0,333
<b>Suma</b>			3	1

**Fuente:** Autoras**Tabla 19.**

Conclusiones para el módulo 2.

<b>Conclusión</b>	Confiabilidad	Facilidad para eliminar carga estática	Disponibilidad	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0,165	0,109	0,114	0,388	2
Solución B	0,335	0,221	0,056	0,612	1
<b>B &gt; A</b>					

**Fuente:** Autoras

### 3.5.4.3 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN PARA EL MÓDULO 3

- Autonomía para que no sea totalmente dependiente del camión.
- Potencia para poder transmitir a la bomba la energía necesaria y que ésta a su vez sea capaz de generar mayor flujo de aire en el proceso de succión y descarga.
- Costo del equipo.
- Facilidad de instalación y operación.
- Mantenimiento sencillo para reducir tiempos de espera.
- Fiabilidad para evitar contratiempos durante el funcionamiento y no afectar la disponibilidad del equipo.

**Tabla 20.**

Ponderación de los criterios de selección para el módulo 3.

Potencia > Facilidad de instalación y operación > Costo > Autonomía > Fiabilidad > Mantenimiento								
Criterio	Potencia	Facilidad de instalación y operación	Costo	Autonomía	Fiabilidad	Mantenimiento	$\Sigma +1$	Pond.
Potencia	1	1	1	1	1	1	6	0,286
Facilidad de instalación y operación	0	1	1	1	1	1	5	0,238
Costo	0	0	1	1	1	1	4	0,190
Autonomía	0	0	0	1	1	1	3	0,143
Fiabilidad	0	0	0	0	1	1	2	0,095
Mantenimiento	0	0	0	0	0	1	1	0,048
<b>Suma</b>							21	1

**Fuente:** Autoras

Tabla 21.

Evaluación de las alternativas para el módulo 3.

Solución B &gt; Solución C &gt; Solución A

Potencia	Sol. A	Sol. B	Sol. C	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		0	1	2	0,333
Solución B	1		1	3	0,500
Solución C	0	0		1	0,167
			<b>Suma</b>	6	1

Solución C &gt; Solución B &gt; Solución A

Facilidad de instalación	Sol. A	Sol. B	Sol. C	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		0	0	1	0,167
Solución B	1		0	2	0,333
Solución C	1	1		3	0,500
			<b>Suma</b>	6	1,000

Solución C &gt; Solución B &gt; Solución A

Costo	Sol. A	Sol. B	Sol. C	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		0	0	1	0,167
Solución B	1		0	2	0,333
Solución C	1	1		3	0,500
			<b>Suma</b>	6	1

Solución B &gt; Solución A = Solución C

Autonomía	Sol. A	Sol. B	Sol. C	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		0	0,5	1,5	0,250
Solución B	1		1	3	0,500
Solución C	0,5	0		1,5	0,250
			<b>Suma</b>	6	1

Solución A &gt; Solución B &gt; Solución C

Fiabilidad	Sol. A	Sol. B	Sol. C	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		1	1	3	0,500
Solución B	0		1	2	0,333
Solución C	0	0		1	0,167
			<b>Suma</b>	6	1

Continúa 

Solución B > Solución C > Solución A					
Mantenimiento	Sol. A	Sol. B	Sol. C	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		0	0	1	0,167
Solución B	1		1	3	0,500
Solución C	1	0		2	0,333
<b>Suma</b>				6	1

Fuente: Autoras

Tabla 22.

Conclusiones para el módulo 3.

Conclusión	Potencia	Facilidad de instalación y montaje	Costo	Autonomía	Fiabilidad	Mantenimiento	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0,096	0,041	0,032	0,035	0,050	0,009	0,262	3
Solución B	0,145	0,079	0,063	0,070	0,033	0,025	0,415	1
Solución C	0,049	0,120	0,095	0,035	0,017	0,017	0,333	2
B > C > A								

Fuente: Autoras

#### 3.5.4.4 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN PARA EL MÓDULO 4

- Facilidad de fabricación o adquisición.
- Menor peso debido a que el recipiente será transportable.
- Costo de adquisición o fabricación del recipiente e instrumentación.
- Seguridad para resistir los esfuerzos, temperaturas y presiones a las que será sometido y controlar el proceso al trabajar con líquidos inflamables.

Tabla 23.

Evaluación de las alternativas para el módulo 4.

Seguridad > Facilidad de fabricación o adquisición > Costo = Menor peso						
Criterio	Seguridad	Facilidad de fabricación o adquisición	Costo	Peso	$\Sigma +1$	Pond.
Seguridad		1	1	1	4	0,400
Facilidad de fabricación o adquisición	0		1	1	3	0,300
Costo	0	0		0,5	1,5	0,150
Peso	0	0	0,5		1,5	0,150
<b>Suma</b>					10	1

Fuente: Autoras

Tabla 24. Evaluación de las alternativas para el módulo 4.

Solución C > Solución B > Solución A					
Seguridad	Sol. A	Sol. B	Sol. B	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		0	0	1	0,167
Solución B	1		0	2	0,333
Solución C	1	1		3	0,500
<b>Suma</b>				6	1,000

Solución A = Solución B > Solución C					
Facilidad de fabricación o adquisición	Sol. A	Sol. B	Sol. C	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		0,5	1	1,5	0,375
Solución B	0,5		1	1,5	0,375
Solución C	0	0		1	0,250
<b>Suma</b>				4	1,000

Solución A = Solución B > Solución C					
Costo	Sol. A	Sol. B	Sol. C	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		0,5	1	1,5	0,375
Solución B	0,5		1	1,5	0,375
Solución C	0	0		1	0,250
<b>Suma</b>				4	1,000

Continúa 

Solución A = Solución B > Solución C					
Peso	Sol. A	Sol. B	Sol. C	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		0,5	1	1,5	0,375
Solución B	0,5		1	1,5	0,375
Solución C	0	0		1	0,250
<b>Suma</b>				4	1,000

Fuente: Autoras

**Tabla 25.** Conclusiones para el módulo 4.

Conclusión	Seguridad	Facilidad de fabricación o adquisición	Costo	Peso	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0,068	0,114	0,057	0,057	0,296	3
Solución B	0,132	0,114	0,057	0,057	0,360	1
Solución C	0,200	0,075	0,038	0,038	0,350	2
B > C > A						

Fuente: Autoras

## CAPÍTULO 4

### DISEÑO MECÁNICO, SELECCIÓN DE LA BOMBA Y ACCESORIOS

#### 4.1 DIMENSIONAMIENTO DEL RECIPIENTE

Para dimensionar el recipiente se consideró una longitud entre soldaduras de tal manera que se puedan distribuir adecuadamente todos los accesorios que conforman el equipo, además de la utilización óptima de las planchas, es decir que el desperdicio de material sea mínimo durante la construcción, por lo que tomando en cuenta que las dimensiones de las planchas de acero son de 95x20 pulgadas, el número de planchas necesario es de 4.5.

La longitud considerada es:  $L_{ss} = 35.67 \text{ ft}$

El volumen nominal del recipiente es:  $V_{nom} = 120 \text{ Bbl}$

El diámetro del recipiente considerando que el recipiente estará lleno al 100% se calcula mediante la siguiente relación con la cual se puede ingresar en la tabla Volume of Shells and Heads (Megyesy, 2001) (Anexo 2.1) obteniendo el diámetro interior del recipiente.

$$rel = \frac{V_{nom}}{L_{ss}} = \frac{5040 \text{ Gal}}{35.67 \text{ ft}} = 141.31 \frac{\text{Gal}}{\text{ft}}$$

Interpolando se obtiene que:

$$\frac{119 - 141.31}{119 - 146.9} = \frac{54 - x}{54 - 60}$$

$$x = 58.8 \text{ in} = ID$$

Considerando que los recipientes destinados al almacenamiento y transporte de fluidos no pueden contener el fluido al 100% de su capacidad, se establece un grado de llenado dependiendo del fluido que transportan. Para el recipiente del camión de vacío el grado de llenado máximo sería del 96% como lo indica la siguiente tabla:

**Tabla 26.**

Grado máximo de llenado de un recipiente transportable

PRODUCTO	% DEL VOLUMEN TOTAL DEL DEPÓSITO
Gasolina de aviación	95
Disolventes ligeros	
Petróleo	96
Gasolina	
Naftas ligeras	
Disolventes medios	
Gasóleos	97
Fuelóleos	
Naftas pesadas	
Disolventes pesados	

Fuente: (Méndez, s.f)

Al considerar el uso óptimo de la plancha y la facilidad de fabricación se estableció un diámetro interior de 60" por recomendación del Ingeniero Líder de diseño de IAA, con lo que se obtiene un porcentaje de llenado del 93% el cual está dentro de los límites recomendables.

$$V_{cuerpo} = \frac{\pi \cdot ID^2}{4} \cdot (L_{SS} + 2sf)$$

$$V_{cuerpo} = \frac{\pi \cdot 60^2}{4} \cdot (428 + 2 \cdot 1.5)$$

$$V_{cuerpo} = 1218623.79 \text{ in}^3 = 705.22 \text{ ft}^3$$

En base a la tabla Volume of Shells and Heads (Megyesy, 2001) (Anexo 2.2), se obtiene el volumen de las cabezas, con un diámetro interior de 60" se obtiene un volumen de  $V_{cab} = 10.08 \text{ ft}^3$

$$V_{total} = V_{cuerpo} + 2 \cdot V_{cab}$$

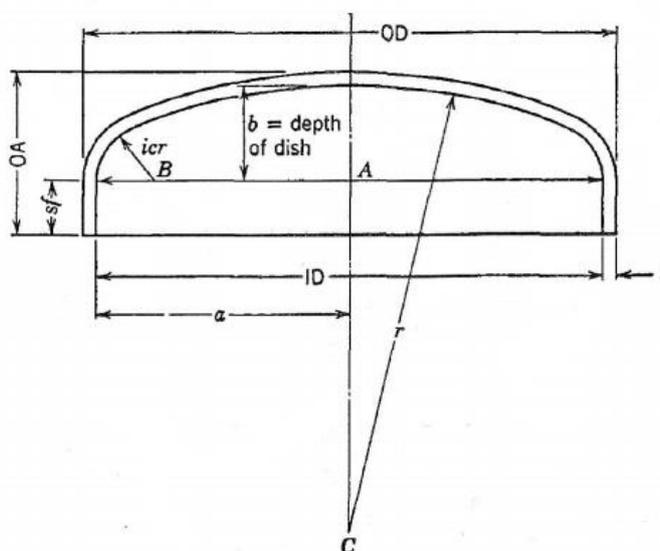
$$V_{total} = 705.22 + 2 \cdot 10.08$$

$$V_{total} = 725.38 \text{ ft}^3 = 5426.22 \text{ gal}$$

Entonces el porcentaje de llenado es

$$\% \text{ de llenado} = \frac{V_{nom}}{V_{total}} = \frac{5040}{5426.22} = 0.93\%$$

El dimensionamiento de las cabezas se realizó mediante las relaciones dadas en Process Equipment Design (Brownell, Young, 1959), a continuación se muestra un esquema de las principales dimensiones.



**Figura 65.** Relaciones dimensionales de una cabeza toriesférica  
**Fuente:** (Brownell & Young, 1959)

Donde:

$t_t =$  espesor de la cabeza (pulgadas)

$icr =$  radio de rebordeo (pulgadas)

$sf =$  borde recto (pulgadas)

$r =$  radio del plato de la cabeza (pulgadas)

$OD =$  diámetro exterior de la cabeza (pulgadas)

$ID =$  diámetro interior del recipiente (pulgadas)

$b =$  profundidad del plato (pulgadas)

$OA =$  longitud de la cabeza incluyendo el borde recto (pulgadas)

Con base en el código ASME Sección VIII División 1, UG-32(j), el radio del plato  $r$  debe ser igual o menor a el diámetro externo de las cabezas y el radio de rebordeo no puede ser menor al 6% del diámetro exterior, pero en ningún caso menos que 3 veces el espesor de la cabeza, tomando en cuenta estas consideraciones y las recomendaciones del Ing. Líder en Recipientes a presión se estableció:

$$r = 54 \text{ in}$$

$$icr = 8 \text{ in}$$

$$sf = 1.5 \text{ in}$$

Las dimensiones para el diseño de la cabeza están proporcionadas por las siguientes relaciones:

$$a = \frac{ID}{2} = 30 \text{ in}$$

$$B = \frac{ID}{2} - icr = 22 \text{ in}$$

$$BC = r - icr = 46 \text{ in}$$

$$b = r - \sqrt{BC^2 - AB^2} = 13.60 \text{ in}$$

$$AC = \sqrt{BC^2 - AB^2} = 40.4 \text{ in}$$

$$OA = t_t + b + sf = 15.35 \text{ in}$$

## 4.2 REQUERIMIENTOS Y PARÁMETROS DE DISEÑO

Los parámetros de diseño se determinaron en base a los resultados de la casa de la calidad y a las restricciones de espacio.

La presión de operación del camión de vacío es de 5 psig, es decir la presión requerida por el proceso, ya que en este tipo de sistemas se considera presiones bajas de operación, las presiones en este tipo de sistema generalmente van desde los 10in Hg a 10psig.

Para la presión de diseño se considera que los tanques de carga de vacío utilizados para llevar líquidos inflamables y combustibles deben cumplir con los siguientes requisitos mínimos: presión de diseño de 25 psi y presión de prueba de 40 psi en cumplimiento con las DOT CFR 178.347-1 (a) y CFR 178.347-5 (b) (1). Para determinar la presión de diseño se considera lo siguiente:

$$\begin{array}{ll} \text{Si } P_o > 300 \text{ lb/in}^2 & \text{Si } P_o \leq 300 \text{ lb/in}^2 \\ P_d = 1.1 P_o & P_d = P_o + 30 \text{ lb/in}^2 \end{array}$$

Además se debe considerar la presión del fluido del recipiente.

Datos:

$$\rho = \text{Densidad del crudo} = 950 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0.0343 \frac{\text{lb}}{\text{in}^3}$$

$$g = \text{gravedad} = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 386.089 \frac{\text{in}}{\text{s}^2}$$

$$D_i = \text{Diámetro interior} = 60 \text{ in}$$

$$h = \text{altura del líquido} = 0.93 \text{ ID}$$

$$P_{col} = \rho \cdot g \cdot h$$

$$P_{col} = \rho \cdot g \cdot (0.93 \text{ ID}) = 1.92 \text{ psi}$$

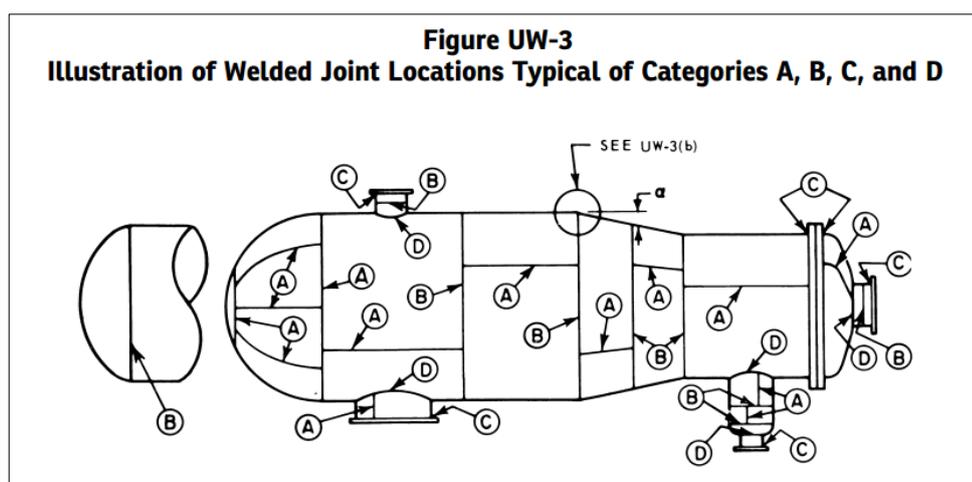
Presión de diseño

$$P_d = P_o + 30 \text{ psi} + P_{col} = 36.92 \text{ psi}$$

En cuanto a la eficiencia de la soldadura, se determina mediante un análisis de las especificaciones del código ASME. El valor de la eficiencia de la soldadura depende del tipo de junta (UW-12) (Tabla 27), la categoría de la misma, que se refiere a la ubicación de la soldadura dentro del recipiente (UW-3) (Figura 64) y el grado de examinación que necesita la unión (UW-11).

Las categorías presentes en un recipiente a presión son:

- Categoría A: Todas las soldaduras longitudinales en el cuerpo y boquillas, todas las soldaduras en la cabeza, y todas las juntas que conectan las cabezas hemisféricas con el cuerpo.
- Categoría B: Todas las soldaduras circunferenciales en el cuerpo y boquillas, las juntas de unión de las cabezas (que no sean hemisféricas) con el cuerpo.
- Categoría C y D: Son soldaduras de las bridas y las soldaduras de unión de las boquillas, respectivamente.

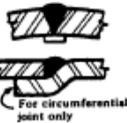


**Figura 66.** Categoría de la junta  
**Fuente:** (ASME, 2013)

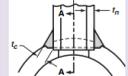
Los tipos de juntas soldadas, se presentan a continuación en la siguiente tabla:

**Tabla 27.**

Tipo de juntas soldadas

<b>TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS</b>				
<b>TIPOS</b>	<b>UW-12</b>	<b>EFICIENCIA DE LA JUNTA (E)</b>		
		<b>Cuando la junta es:</b>		
		<b>a.</b>	<b>b.</b>	<b>c.</b>
		<b>Radiografiada totalmente</b>	<b>Radiografiada por zonas</b>	<b>No examinada</b>
<b>Tipo 1</b>	 <p>Juntas a tope realizadas por doble cordón de soldadura o por otro medio con el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositada sobre las superficies interior y exterior de la pieza. Si se emplea placa de respaldo, ésta debe retirarse después de terminar la soldadura.</p>	1.00	0.85	0.70
<b>Tipo 2</b>	 <p>Junta a tope de un solo cordón de soldadura con placa de respaldo que no es retirada al terminar de soldar.</p>	0.90	0.80	0.65
<b>Tipo 3</b>	 <p>Junta a tope de un solo cordón sin placa de respaldo</p>	...	...	0.60
<b>Tipo 4</b>	Junta a traslape de doble filete completo	...	...	0.55

Continúa 

	<b>Tipo 5</b>	Junta a traslape de un solo filete completo con soldadura de tapón	...	...	0.50
	<b>Tipo 6</b>	Junta a traslape de un solo filete completo sin soldadura de tapón	...	...	0.45
	<b>Tipo 7</b>	Junta de esquina, penetración completa, penetración parcial, y/o soldadura de filete	...	...	...

**Fuente:** (Megyesy, 2001)

Las juntas soldadas deben ser completamente radiografiadas cuando cumplen alguna de las especificaciones de la UW-11 (a), si las juntas no requieren radiografiado total y el tipo de junta es 1 ó 2, pueden ser radiografiadas por puntos de acuerdo con la UW-52. Si el recipiente es diseñado únicamente bajo presión externa, las juntas no necesitan examen radiográfico.

Según el ASME Sección VIII División 1, UG-116, existen varios niveles de la radiografía que deben ser considerados, estos son:

1. RT1.- Indica que el 100% de todas las uniones categoría A y B serán radiografiadas, y las categorías C y D de más de 10in de diámetro. Este nivel produce una eficiencia conjunta 1.0 en todas las soldaduras. RT1 es obligatorio para recipientes que de un espesor superior a 1.25".

2. RT2.- Esta designación indica que el 100% de costuras de soldadura longitudinales serán radiografiadas de acuerdo a la UW-11 (a) (5) y que las soldaduras circunferenciales serán examinadas por puntos en base a la UW-11 (a) (5) (b).

3. RT3.- Este nivel indica que las juntas longitudinales y circunferenciales serán radiografiadas por puntos según la UW-11 (b) y la UW-52.

4. RT4.- Cuando solo una parte del recipiente completo cumple con UW-11 (a) y RT1, RT2 o RT3 no son aplicables.

De acuerdo al análisis de las variables descritas en la UW-3, UW-11 y UW-12 se estableció que el tipo de radiografiado es RT 2 por lo que todas las categorías A y D a tope soldaduras del recipiente serán radiografiadas al 100% seleccionada de la tabla UW-12 (columna (a)); y las categorías B y C que se intersecan con juntas de categoría A deberán cumplir el requisito de la radiografía por puntos (UW-11 (a) (5) (b)), para cabezas sin costura la eficiencia de la junta será de 1 ( $E = 1$ ).

Eficiencia de las juntas longitudinales del cuerpo: Soldadura a tope, junta categoría A y radiografiado por puntos  $\rightarrow E = 1$

Eficiencia de las juntas circunferenciales del cuerpo: Soldadura a tope, junta categoría B y radiografiado por puntos  $\rightarrow E = 0.85$

Eficiencia de las juntas circunferenciales de la cabeza: Soldadura a tope, junta categoría B y radiografiado por puntos  $\rightarrow E = 1$

Eficiencia de las juntas del cuerpo, boquillas y refuerzos de las aberturas: Soldadura a tope, junta categoría D y radiografiado al 100%  $\rightarrow E = 1$

Las normas no señalan la corrosión admisible aplicable para un recipiente que contiene crudo, IAA recomienda considerar un sobre espesor de 1/16" a 1/8". Para la elección se tomó en cuenta el valor de la corrosión de los elementos prefabricados ya que no es recomendable que el recipiente tenga diferentes niveles de desgaste por lo cual se realizará el diseño con una corrosión admisible de 1/16" igual a la del manhole y trampa primaria en base

a la Form U-2A Manufacturer's Partial Data Report de estos elementos. (Anexo 8)

**Tabla 28.**

Parámetros de diseño del cuerpo y cabezas

DATOS DEL RECIPIENTE	
Presión de operación	5 psi
Presión de diseño	36.92 psi
Temperatura de diseño	200 °F
Diámetro interno	60 in (1524 mm)
Longitud entre costuras	35.67 ft (10872 mm)
Eficiencia de las juntas longitudinales del cuerpo	1
Eficiencia de las juntas circunferenciales del cuerpo	0.85
Tipo de cabezas	Toriesféricas
Radio de rebordeo	8 in (203.2 mm)
Radio de cabeza	54 in (1372 mm)
Eficiencia de la junta de la cabeza	1
Corrosión admisible	1/16 in

**Fuente:** Autoras

#### 4.2.1 SELECCIÓN DE MATERIALES

Para la selección del material del cuerpo y cabezas del recipiente se debe tener en cuenta que el material debe tener un alto grado de resistencia por ser los elementos que contienen el fluido, además de resistir la presión externa e interna, mientras que el esfuerzo admisible de los demás elementos puede ser menor para que actúen como elementos de sacrificio y se reduzcan costos.

La selección del material de las partes del recipiente sometidas a presión que son esenciales para la integridad del mismo, se lo realizó basándose en

los requerimientos de la Sección XII Parte TM aplicables a las partes de retención de carga del camión de vacío. Las especificaciones de los materiales aprobados para el diseño y construcción de recipientes para el transporte de carga se detallan en la Tabla TM-130.2-1.

**Tabla 29.**

Especificaciones de los materiales para cuerpo y cabezas

<b>Table TM-130.2-1 Carbon and Low Alloy Steels</b>			
<b>Specification Number</b>	<b>Type / Grade</b>	<b>ASME P-No.</b>	<b>Group No.</b>
<b>Plates, Sheet, and Strip</b>			
<b>SA-36</b>	...	1	1
<b>SA-203</b>	A,B	9A	1
	D,E,F	9B	1
<b>SA-204</b>	A	3	1
	B,C	3	2
<b>SA-225</b>	C	10A	1
<b>SA-283</b>	A,B,C,D	1	1
<b>SA-285</b>	A,B,C	1	1
<b>SA-299</b>	A	1	2
	B	1	3
<b>SA-302</b>	A	3	2
	B,C,D	3	3
<b>SA-387</b>	2, CL1	3	1
	2, CL2	3	2
<b>SA-414</b>	A,B,C,D,E	1	1
	F,G	1	2
<b>SA-455</b>	...	1	2
<b>SA-515</b>	60, 65	1	1
	70	1	2
<b>SA-516</b>	55, 60, 65	1	1
	70	1	2
<b>SA-537</b>	CL1	1	2
	CL2 and 3	1	3
<b>SA-612</b>	...	10C	1
<b>SA-662</b>	A, B	1	1
	C	1	2
<b>SA-737</b>	B	1	2
	C	1	3
<b>SA-738</b>	A	1	2
	B, C	1	3

Continúa 

<b>SA-1008</b>	CS-A and CS-B	1	1
<b>SA/CSA-G40.21</b>	38W	1	1
<b>SA/EN 10028-2</b>	P295GH	1	1
<b>SA/EN 10028-3</b>	P275NH	1	1

**Fuente:** (ASME, 2013)

En función de la tabla anterior y las recomendaciones de la Industria Acero de los Andes a través de los años con los proyectos que ha desarrollado, se establecen los materiales aplicables para este proyecto.

**Tabla 30.**

Descripción de materiales

<b>ELEMENTO</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>RESISTENCIA A LA TENSIÓN (ksi)</b>
<b>Cuerpo</b>	SA 516 70	70
<b>Cabezas</b>	SA 516 70	70
<b>Boquillas</b>	SA 105	75-86
<b>Bridas</b>	SA 105	75-86
<b>Orejas de Izaje</b>	SA 36	58-80
<b>Rompe olas</b>	SA 36	58-80
<b>Pernos</b>	SA-193-B7 / SA-307-B	124.73
<b>Tuercas</b>	SA-194-2H	...
<b>Perfiles</b>	SA-36	58-80

**Fuente:** Industria Acero de los Andes

#### 4.3 DISEÑO MECÁNICO

El diseño mecánico tiene como objetivo proporcionar una solución que defina el producto de modo que satisfaga los requisitos y restricciones establecidas.

## Alcance

Consiste en el cálculo de espesores, la máxima presión de trabajo, la presión de prueba hidrostática y las características físicas de cada una de las partes y elementos del recipiente, a través de fórmulas proporcionadas por el código ASME Sección VIII División 1 y tomando como datos de partida los siguientes parámetros: la forma del equipo, sus dimensiones, el material utilizado, las condiciones de presión-temperatura, peso específico del fluido y todos los requisitos obligatorios, prohibiciones específicas y recomendaciones de materiales, diseño, fabricación, inspección y pruebas, marcado e informes, la protección de la sobrepresión y la certificación de los equipos o recipientes sometidos a presión que abarca el código ASME.

El recipiente que irá sobre el camión será un recipiente horizontal el cual tiene los siguientes elementos

- Cuerpo cilíndrico
- Cabezas o tapas toriesféricas
- Boquillas
- Refuerzos de boquillas
- Rompeolas (Baffles)
- Anillos de refuerzo

### 4.3.1 DISEÑO POR PRESIÓN INTERNA

#### 4.3.1.1 CÁLCULO DE LOS ESPESORES DEL CUERPO

Datos:

$$Pd = \text{Presión de diseño} = 36.92 \text{ psi}$$

$$Ri = \text{Radio interior} = \frac{Di}{2} = \frac{60}{2} = 30 \text{ in}$$

$$C = \text{Corrosión admisible} = \frac{1}{16} \text{ in}$$

$$E_L = \text{Eficiencia de la soldadura para juntas longitudinales} = 1$$

$$E_C = \text{Eficiencia de la soldadura para juntas circunferenciales} = 0.85$$

Material utilizado para el cuerpo: SA 516-70

$$S = \text{Esfuerzo máximo permisible a la temperatura de diseño} = 20000 \text{ psi}$$

Esfuerzo circunferencial

$$t_c = \frac{Pd \cdot (Ri + C)}{S \cdot E_L - 0.6Pd} + C = 0.118 \text{ in} = 2.998 \text{ mm}$$

$$t_c = \frac{1}{8} \text{ in} = 3.175 \text{ mm}$$

Esfuerzo longitudinal

$$t_c = \frac{Pd \cdot (Ri + C)}{2 \cdot S \cdot E_C - 0.4Pd} + C = 0.095 \text{ in} = 2.417 \text{ mm}$$

$$t_c = \frac{1}{8} \text{ in} = 3.175 \text{ mm}$$

#### 4.3.1.2 CÁLCULO DE LOS ESPESORES DE LAS CABEZAS

Datos:

$t_t =$  Espesor de la cabeza toriesférica

$P_d =$  Presión de diseño = 36.92 psi

$L =$  Radio del plato de la cabeza = 54 in

$r =$  Radio de rebordeo = 8 in

$M =$  Factor para cabezas toriesféricas que dependen de la proporción  $L/r$

$$C = \text{Corrosión admisible} = \frac{1}{16} \text{ in}$$

$E = \text{Eficiencia de soldadura para la junta de la cabeza} = 1$

Material utilizado para el cuerpo: SA 516-70

$S = \text{Esfuerzo máximo permisible a la temperatura de diseño} = 20000 \text{ psi}$

Considerando que la relación  $L/r$  es menor a  $16 \frac{2}{3}$ , se utiliza la siguiente fórmula para el cálculo del espesor de cabezas toriesféricas:

$$t_t = \frac{P_d \cdot (L + C) \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0.2 \cdot P_d} + C = 0.132 \text{ in} = 3.359 \text{ mm}$$

En donde el valor del factor  $M$  se determina mediante la siguiente ecuación proporcionada por el código:

$$M = \frac{1}{4} \cdot \left( 3 + \sqrt{\frac{L + C}{r + C}} \right) = 1.397$$

Para la construcción de las tapas es necesario que las planchas sean de un espesor comercial  $tc_t$ , por lo que en los cálculos subsiguientes se utilizará el siguiente espesor:

$$tc_t = \frac{3}{16} \text{ in} = 4.762 \text{ mm}$$

### Tabla 31.

Resumen de espesores del recipiente por presión interna

	Espesor calculado	Espesor calculado + C	Espesor comercial
<b>Cuerpo cilíndrico</b>	0.0555 in (1.411 mm)	0.192 in (2.998 mm)	1/8 in (3.175 mm)
<b>Cabezas toriesféricas</b>	0.0697 in (1.771 mm)	0.132 in (3.359 mm)	3/16 in (4.762 mm)

Fuente: Autoras

### 4.3.2 DISEÑO POR PRESIÓN EXTERNA

El diseño por presión externa de recipientes es un procedimiento iterativo, el cual se realiza bajo las especificaciones del ASME Sección XVIII División 1 UG-28 y que está limitado a cuerpos cilíndricos con o sin refuerzos y cuerpos esféricos. La presión de diseño recomendada por el Código ASME Sección XII para tanques de carga es de 15 psi para condiciones de presión externa.

Cuando un recipiente es diseñado por presión interna y externa, es una práctica común primero determinar el espesor requerido bajo las condiciones de presión interna, entonces comprobar que el espesor sea el requerido para la máxima presión externa de operación.

#### 4.3.2.1 ANILLOS DE REFUERZO

Los anillos de refuerzo son instalados en recipientes que operan bajo presión externa para prevenir el colapso del recipiente.

Para el diseño de los anillos de refuerzo se debe:

- I. Seleccionar el tipo de anillo de refuerzo y determinar el área de su sección transversal  $A$ .
- II. Suponer el número de anillos requeridos y distribuirlos uniformemente entre la sección encamisada o la línea de la cabeza situada a  $1/3$  de su profundidad y determine la dimensión,  $L_s$ .
- III. Calcular el momento de inercia del anillo seleccionado o el momento de inercia del anillo combinado con la sección del recipiente.
- IV. El momento de inercia de un anillo de refuerzo circunferencial no deberá ser menor que el que se obtiene por las fórmulas siguientes:

$$I_s = \frac{D_o^2 L_s \left( t + \frac{A_s}{L_s} \right) A}{10.9}$$

$$I_s = \frac{D_o^2 L_s \left( t + \frac{A_s}{L_s} \right) A}{14}$$

El valor de A se determina por medio del procedimiento siguiente:

1. Calcule el factor B mediante la fórmula:

$$B = \frac{3}{4} \left( \frac{P D_o^2}{t + \frac{A_s}{L_s}} \right)$$

2. En la gráfica aplicable del material, con el valor de B seguir horizontalmente hasta la curva de temperatura de diseño. Cuando B sea menor de 2500, A puede calcularse mediante la fórmula:

$$A = \frac{2B}{E}$$

3. Desde el punto de intersección, seguir verticalmente hasta la línea inferior de la gráfica y lea el valor de A.
4. Calcule el momento de inercia requerido utilizando las fórmulas antes indicadas.

Si el momento de inercia del anillo o de la combinación del anillo con la sección del cuerpo es mayor que el momento de inercia requerido, la rigidez del cuerpo es satisfactoria. De lo contrario debe seleccionarse un anillo de refuerzo con un momento de inercia mayor o debe aumentarse el número de anillos.

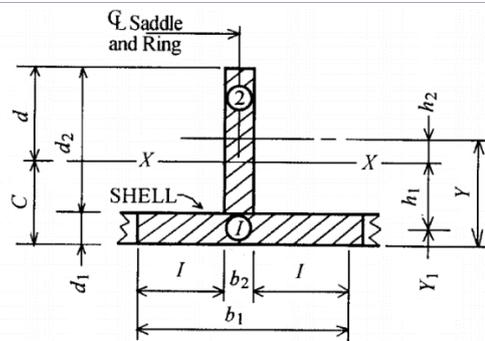
### Cálculo de los anillos de refuerzo

Por requerimiento de la empresa basado en su experiencia se seleccionó el siguiente anillo de refuerzo:

**Tabla 32.**

Propiedades del anillo de refuerzo

Propiedades del anillo	
Tipo	Flat bar
Descripción	1/4" x 2 1/2"
Distancia del anillo al centroide	1.25 in
Área	0.625 in <sup>2</sup>
Inercia	0.3255 in <sup>4</sup>



**Fuente:** Autoras

Datos:

$$b_2 = \text{Espesores del anillo} = \frac{1}{4} \text{ in}$$

$$d_1 = \text{Espesores del cuerpo} - C = \frac{3}{16} \text{ in}$$

$$d_2 = \text{Longitud del anillo} = 2 \frac{1}{2} \text{ in}$$

$$b_1 = b_2 + 1.56 \cdot \sqrt{R * t} = 3.965 \text{ in}$$

$$A_1 = \text{Área de la sección del cuerpo}$$

$$A_2 = A_s = \text{Área transversal del anillo}$$

$$A_T = \text{Área de la sección transversal del anillo adherido al cuerpo}$$

### Cálculo de la Inercia del elemento de refuerzo

La inercia del elemento de refuerzo considerando el cuerpo del recipiente se determina mediante la siguiente fórmula:

$$I = \sum A_i \cdot h_i^2 + \sum I_x = 1.778 \text{ in}^4$$

Para el cálculo de momento de inercia es necesario primero determinar el área de la sección transversal, centros de masa e inercias con respecto al eje x.

### Cálculo de áreas

Área 1

$$A_1 = b_1 \cdot d_1 = 0.743 \text{ in}^2$$

Área 2

$$A_2 = d_2 \cdot b_2 = 0.625 \text{ in}^2$$

Área total del perfil

$$A_T = A_1 + A_2 = 1.368 \text{ in}^2$$

### Centros de gravedad

$$y_1 = \frac{d_1}{2} = 0.094 \text{ in}^2$$

$$y_2 = \frac{d_2}{2} + d_1 = 1.438 \text{ in}^2$$

$$C = \frac{\sum A_i \cdot y_i}{A_T} = \frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2}{A_T} = 0.707 \text{ in}$$

Distancia del eje neutro al centro de gravedad de cada área

$$h_1 = C - y_1 = 0.614 \text{ in}$$

$$h_2 = y_2 - C = 0.73 \text{ in}$$

Inercia con respecto al eje x

$$I_{x1} = \frac{b_1 \cdot d_1^3}{2} = 0.002 \text{ in}^4$$

$$I_{x2} = \frac{b_2 \cdot d_2^3}{2} = 0.326 \text{ in}^4$$

$$\sum I_{xi} = I_{x1} + I_{x2} = 0.328 \text{ in}^4$$

A continuación se muestra una tabla de resumen del cálculo de la inercia:

**Tabla 33.**

Cálculo de la inercia del elemento de refuerzo

Sección <i>i</i>	Área $A_i \text{ (in}^2\text{)}$	$y_i$ $\text{(in)}$	$A_i \cdot y_i$ $\text{(in}^3\text{)}$	$h_i$ $\text{(in)}$	$A_i \cdot h_i^2$ $\text{(in}^4\text{)}$	$I_{xi} = \frac{b \cdot d^3}{2}$
1	0.743	0.094	0.070	0.614	0.280	0.002 $plg^4$
2	0.625	1.438	0.898	0.730	0.333	0.326 $plg^4$
<b>TOTAL</b>	1.368	-	0.968	-	0.613	0.328 $plg^4$

$$I = \sum A_i \cdot h_i^2 + \sum I_{xi} = 0.9408 \text{ plg}^4$$

**Fuente:** Autoras

La longitud de distribución de anillos considerando el tercio de la profundidad de las cabezas es:

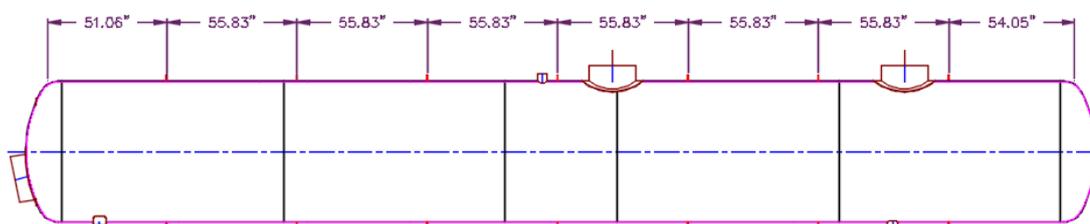
$$L_d = L_{ss} + 2 \cdot \frac{h}{3} = 438.23 \text{ in}$$

Asumiendo que el recipiente será reforzado con 7 anillos es decir, el recipiente será dividido en 8 partes iguales, y tomando en cuenta que la

longitud  $L_s$  que no debe ser mayor a 60 pulgadas como se especifica en la sección XII del código ASME Apéndice 1-Cargo Tanques 1-1.4 (d) (60).

$$L_s = \frac{L_d}{n} = 54.78 \text{ in}$$

Debido a que los anillos no pueden coincidir con las juntas circunferenciales del cuerpo y las bocas del recipiente, el Compress 2015 establece una distribución óptima de los mismos por lo que sus dimensiones varían entre cada anillo, como se muestran en el siguiente esquema.



**Figura 67.** Distribución de los anillos de refuerzo

**Fuente:** Autoras

Para los cálculos por presión externa se utilizó la mayor distancia entre anillos.

Cálculo del momento de inercia requerido

Datos:

$I_s$  = Momento de inercia requerido del anillo de refuerzo con respecto a su eje neutral paralelo al eje del cuerpo del recipiente

$I_s'$  = Momento de inercia requerido del anillo de refuerzo combinado con el cuerpo del recipiente

$D_o$  = Diámetro exterior del cuerpo del recipiente = 60 in

$A$  = Factor para el material usado en el anillo de refuerzo

$A_s$  = Área transversal del anillo de refuerzo = 0.625 in<sup>2</sup>

$L_s$  = Distancia entre anillos de refuerzo = 55.833 in

$t$  = mínimo espesor requerido de la pared del cuerpo =  $\frac{3}{16}$  in

$P$  = Presión de diseño en vacío = 15psi

$E = \text{Módulo de elasticidad del material} = 29700000 \text{ psi}$

Factores para el cálculo de la inercia requerida

$$B = \frac{3}{4} \left( \frac{P D_o^2}{t + \frac{A_s}{L_s}} \right) = 3425.493 \text{ psi}$$

De la tabla CS-2 (Anexo 2.4), se obtiene el valor de A

$$A = 0.00024$$

Entonces:

$$I_{S'} = \frac{D_o^2 L_s \left( t + \frac{A_s}{L_s} \right) A}{10.9} = 0.894 \text{ in}^4$$

$$I_S = \frac{D_o^2 L_s \left( t + \frac{A_s}{L_s} \right) A}{14} = 0.696 \text{ in}^4$$

$$I_{S'} < I$$

Por lo tanto se concluye que los anillos de refuerzo son los adecuados para una presión externa de 15 psi.

#### 4.3.2.2 CÁLCULO DEL ESPESOR DEL CUERPO

Para el cálculo del espesor se establece la siguiente relación: Cuando la relación  $\frac{D_o}{t} \geq 10$ , la presión máxima permitida es  $P_a = \frac{4B}{3\left(\frac{D_o}{t}\right)}$

El valor de B será determinado por el siguiente procedimiento

1. Se asume un valor de  $t$  y se determina  $\frac{L}{D_o}$  y  $\frac{D_o}{t}$

Primera iteración

$$t_1 = \frac{1}{8} in$$

$$D_{o1} = D_i + 2t_1 + 2C = 60.375 in$$

$$\frac{D_{o1}}{t_1} = 483$$

$$\frac{L_s}{D_{o1}} = 0.925$$

2. Con los valores obtenidos se ingresa en la Figura G (Anexo 2.3), para obtener el valor de A.

$$A_1 = 0.00013$$

3. Utilizando A, se ingresa en la Figura CS-2 (Anexo 2.4), intersecándola con la línea de temperatura aplicable, como el valor de A no interseca con la curva de la gráfica se realiza el cálculo de la presión admisible con la siguiente fórmula:

$$P_{a1} = \frac{2 \cdot A_1 \cdot E}{3 \left( \frac{D_o}{t_1} \right)} = 5.318 psi$$

$$P_d > P_{a1}$$

$$15 psi > 5.318 psi$$

Se determina que la presión obtenida no es superior a la presión mínima requerida por el diseño, por lo que se realiza una segunda iteración.

Segunda iteración

$$t_2 = \frac{3}{16} in$$

$$D_{o2} = D_i + 2t_2 + 2C = 60.5 \text{ in}$$

$$\frac{D_{o2}}{t_2} = 322.667$$

$$\frac{L_s}{D_{o2}} = 0.923$$

De la figura G se obtiene el valor de A

$$A_1 = 0.00026$$

De la figura CS-2, se obtiene el valor de B

$$B_2 = 3700 \text{ psi}$$

Por lo tanto, se realiza el cálculo de la presión admisible con la siguiente fórmula:

$$P_{a1} = \frac{4 \cdot B_2}{3 \left( \frac{D_{o2}}{t_2} \right)} = 15.289 \text{ psi}$$

$$P_{a2} > P_d$$

$$15.29 \text{ psi} > 15 \text{ psi}$$

Se determina que la presión obtenida es superior a la presión mínima requerida por el diseño, por lo que se concluye que el espesor mínimo requerido por presión externa es  $\frac{3}{16} \text{ in}$ .

El espesor del cuerpo considerando la corrosión admisible, con el cual se deberá construir el equipo será:

$$t_{c_c} = \frac{3}{16} \text{ in} + C = \frac{1}{4} \text{ in}$$

### 4.3.2.3 CÁLCULO DE LOS ESPESORES DE LAS CABEZAS

Para determinar el espesor de la cabeza, se realiza el siguiente procedimiento iterativo:

1. Se asume un valor de  $t$  y se determina el valor de A

#### Primera iteración

$$t_1 = \frac{1}{8} \text{ in}$$

$$R_{o1} = R_o + C + t_1 = 54.1875 \text{ in}$$

$$A_1 = \frac{0.125}{\frac{R_{o1}}{t_1}} = 0.00029$$

2. Con el valor de A, se ingresa en la figura CS-2 para obtener el valor de B.

$$B_1 = 4200 \text{ psi}$$

3. Con los valores obtenidos se realiza el cálculo de la presión externa admisible:

$$Pa_1 = \frac{B_1}{\frac{R_{o1}}{t_1}} = 9.689 \text{ psi}$$

$$Pa_1 < P_d$$

$$9.689 \text{ psi} < 15 \text{ psi}$$

#### Segunda iteración

$$t_2 = \frac{3}{16} \text{ in}$$

$$R_{o2} = R_o + C + t_2 = 54.25 \text{ in}$$

$$A_2 = \frac{0.125}{\frac{R_{o2}}{t_2}} = 0.00043$$

Con el valor de A, se ingresa en la figura CS-2 para obtener el valor de B.

$$B_2 = 6100 \text{ psi}$$

Con los valores obtenidos se realiza el cálculo de la presión externa admisible:

$$Pa_2 = \frac{B_2}{\frac{R_{o2}}{t_2}} = 21.083 \text{ psi}$$

$$Pa_2 > P_d$$

$$21.083 \text{ psi} > 15 \text{ psi}$$

Se determina que la presión obtenida es superior a la presión mínima requerida por el diseño, por lo que se concluye que el espesor mínimo requerido en las cabezas por presión externa es  $\frac{3}{16}$  in.

El espesor de la cabeza considerando la corrosión admisible, con el cual se deberá construir el equipo será:

$$tc_t = \frac{3}{16} \text{ in} + C = \frac{1}{4} \text{ in}$$

### Tabla 34.

Resumen de espesores del recipiente por presión externa

	Espesor calculado	Espesor calculado + C	Espesor comercial
<b>Cuerpo cilíndrico</b>	0.187 in (4.749 mm)	0.249 in (6.337 mm)	1/4 in (6.350 mm)
<b>Cabezas toriesféricas</b>	0.187 in (4.749 mm)	0.249 in (6.337 mm)	1/4 in (6.350 mm)

**Fuente:** Autoras

### 4.3.3 CÁLCULO DE LA MÁXIMA PRESIÓN DE DISEÑO PERMITIDA (MAWP)

Es la presión interna o externa máxima a la que se puede someter un recipiente, en condiciones de operación, suponiendo que él está:

- a) En condiciones después de haber sido corroído.
- b) Bajo los efectos de la temperatura de diseño.
- c) En la posición normal de operación.
- d) Bajo los efectos de cualquier combinación de cargas que figuran en la UG-22.

Es el menor de los valores encontrados para la máxima presión de trabajo permisible para cualquiera de las partes esenciales del recipiente.

#### Cuerpo

Datos:

$$t_c = \text{Espesor comercial del cuerpo} = \frac{1}{4} \text{ in}$$

$$E_C = \text{Eficiencia de las juntas circunferenciales} = 0.85$$

$$E_L = \text{Eficiencia de las juntas longitudinales} = 1$$

$$C = \text{Corrosión admisible} = \frac{1}{16} \text{ in}$$

$$R_i = \text{Radio interior} = \frac{D_i}{2} = \frac{60}{2} = 30 \text{ in}$$

Material utilizado para el cuerpo: SA 516-70

$$S = \text{Esfuerzo máximo permisible a la temperatura de diseño} = 20000 \text{ psi}$$

### Esfuerzos circunferenciales

En condición frío y nuevo

$$MAWP_{cfn} = \frac{S \cdot E_L \cdot tc_c}{Ri + 0.6tc_c} = 165.84 \text{ psi}$$

En condición caliente y corroído

$$MAWP_{ccc} = \frac{S \cdot E_L \cdot (tc_c - C)}{(Ri + C) + 0.6(tc_c - C)} = 124.28 \text{ psi}$$

### Esfuerzos longitudinales

En condición frío y nuevo

$$MAWP_{cfn} = \frac{2 \cdot S \cdot E_c \cdot tc_c}{Ri + 0.4tc_c} = 282.39 \text{ psi}$$

En condición caliente y corroído

$$MAWP_{ccc} = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot (tc_c - C)}{(Ri + C) + 0.4 \cdot (tc_c - C)} = 211.53 \text{ psi}$$

### Cabezas

Datos:

$$tc_t = \text{Espesor comercial de la cabeza toriesférica} = \frac{1}{4} \text{ in}$$

$$L = \text{Radio del plato de la cabeza} = 60 \text{ in}$$

$$M = \text{Factor para cabezas toriesféricas que dependen de la proporción } \frac{L}{r} \\ = 1.397$$

$$E = \text{Eficiencia de soldadura para la junta de la cabeza} = 1$$

$$C = \text{Corrosión admisible} = \frac{1}{16} \text{ in}$$

Material utilizado para el cuerpo: SA 516-70

$$S = \text{Esfuerzo máximo permisible a la temperatura de diseño} = 20000 \text{ psi}$$

En condición frío y nuevo

$$MAWP_{f/n} = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot tc_t}{L \cdot M + 0.2 \cdot tc_t} = 132.44 \text{ psi}$$

En condición caliente y corroído

$$MAWP_{c/c} = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot (tc_t - C)}{L \cdot M + 0.2 \cdot (tc_t - C)} = 99.23 \text{ psi}$$

**Tabla 35.**

Resumen de presiones máximas permitidas en el recipiente

	MAWP Frío y Nuevo (psi)	MAWP Caliente y Corroído (psi)
<b>Cuerpo cilíndrico</b>	165.84	124.8
<b>Cabezas toriesféricas</b>	94.21	47.03

**Fuente:** Autoras

#### 4.3.4 CÁLCULO DE LA PRESIÓN DE PRUEBA

La presión de prueba hidrostática se determina mediante la fórmula proporcionada en el ASME Sección VIII Div.1 UG-99(b), para el cálculo se determinará el MAWP de cada una de las partes del recipiente a presión, tomando el menor valor que representa la presión interna a la cual el elemento más débil del recipiente está cargado en su punto máximo permisible.

Para realizar el cálculo se utilizó una MAWP de 40 psi correspondiente al manhole según la Form U-2A Manufacturer's Partial Data Report de este accesorio (Anexo 8).

Datos:

$p_h =$  Presión de prueba hidrostática

$MAWP =$  Máxima presión de trabajo permitida = 40 psi

$S_p =$  Esfuerzo máximo permisible a la temperatura de prueba = 20000 psi

$S =$  Esfuerzo máximo permisible a la temperatura de diseño = 20000 psi

Entonces:

$$p_h = 1.3 \cdot MAWP \cdot \frac{S_p}{S}$$

$$p_h = 1.3 \cdot 40psi \cdot \frac{20000 \text{ psi}}{20000 \text{ psi}}$$

$$p_h = 52 \text{ psi}$$

#### 4.3.5 ALARGAMIENTO DE LA FIBRA EN CONFORMADO EN FRÍO

Todas las secciones del cuerpo del recipiente, cabezas y otras partes a presión fabricadas mediante formación en frío serán tratadas térmicamente posteriormente cuando el alargamiento de la fibra extrema resultante supera el 5% de la condición que se suministra y si existe cualquiera de las siguientes condiciones:

- El recipiente será para servicio letal
- La prueba de impacto es requerida
- El espesor antes del conformado excede 5/8
- El espesor es reducido en más del 10%
- La temperatura de conformado estuvo entre 250°F y 900°F

##### Alargamiento de la fibra externa en el conformado del cuerpo

Para calcular el alargamiento de la fibra externa del cuerpo en una curvatura sencilla se utiliza la siguiente ecuación:

Datos:

$$t = \text{espesor del cuerpo} = \frac{1}{4} \text{ in}$$

$$R_f = \text{Radio final de conformado} = 30.125 \text{ in}$$

$$R_o = \text{Radio inicial de conformado} = \infty$$

$$\% \text{alargamiento fibra externa} = \frac{50 \cdot t}{R_f} \cdot \left(1 - \frac{R_f}{R_o}\right)$$

$$\% \text{alargamiento fibra externa} = 0.415$$

El porcentaje de alargamiento de la fibra no supera el 5%.

#### Alargamiento de la fibra externa en las cabezas

Para calcular el alargamiento de la fibra externa de las cabezas se aplica la fórmula correspondiente a doble curvatura.

Donde:

$$t = \text{espesor de la cabeza} = \frac{1}{4} \text{ in}$$

$$R_f = \text{Radio final de conformado} = 54.125 \text{ in}$$

$$R_o = \text{Radio inicial de conformado} = \infty$$

$$\% \text{alargamiento fibra externa} = \frac{75 \cdot t}{R_f} \cdot \left(1 - \frac{R_f}{R_o}\right)$$

$$\% \text{alargamiento fibra externa} = 0.346$$

## Segunda curvatura

Datos:

$$t = \text{espesor de la cabeza} = \frac{1}{4} \text{ in}$$

$$R_f = \text{Radio final de conformado} = 8.125 \text{ in}$$

$$R_o = \text{Radio inicial de conformado} = 54.125 \text{ in}$$

$$\% \text{alargamiento fibra externa} = \frac{75 \cdot t}{R_f} \cdot \left(1 - \frac{R_f}{R_o}\right)$$

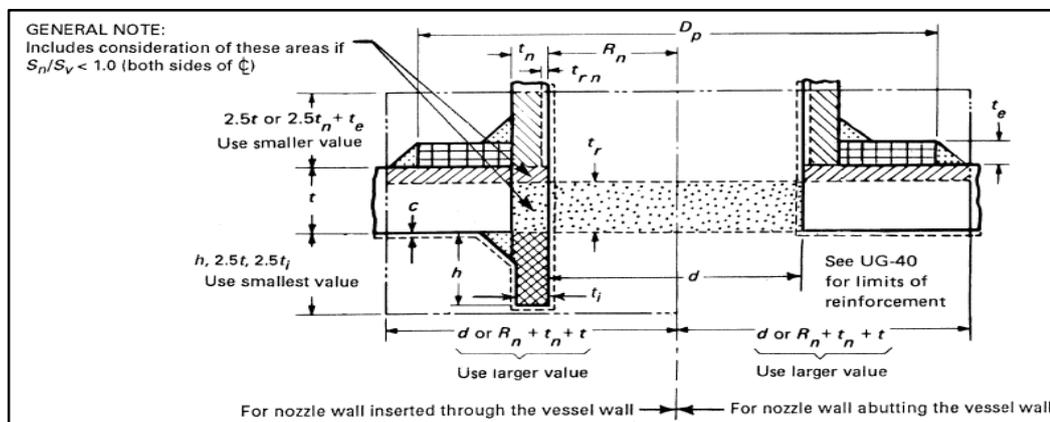
$$\% \text{alargamiento fibra externa} = 1.961$$

$$\% \text{alargamiento total de la fibra externa} = 2.307$$

El porcentaje de alargamiento de la fibra no supera el 5%.

### 4.3.6 CÁLCULO DE LAS ABERTURAS

Para incluir en el recipiente los accesorios del camión de vacío como la trampa primaria, la abertura de inspección y acoples roscados o bridados, se deben diseñar las aberturas y sus refuerzos de acuerdo al código ASME para compensar la parte que será retirada del recipiente.



**Figura 68.** Esquema general de una boca  
Fuente: (ASME, 2013)

Tabla 36.

Nomenclatura y fórmulas para el cálculo de bocas

CÁLCULO SIN ELEMENTO DE REFUERZO			
Área requerida	$A$		$A = d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1})$
Área disponible en el cuerpo	$A_1$		$A_1 = d(E_1 t - Ft_r) - 2t_n(E_1 t - Ft_r)(1 - f_{r1})$ $A_1 = 2(t + t_n)(E_1 t - Ft_r) - 2t_n(E_1 t - Ft_r)(1 - f_{r1})$
Área disponible en la parte externa de la boca	$A_2$		$A_2 = 5(t_n - t_m) \cdot f_{r2} \cdot t$ $A_2 = 5(t_n - t_m) \cdot f_{r2} \cdot t_n$
Área disponible en la parte interna de la boca	$A_3$		$A_3 = 2(t_n - C) \cdot f_{r2} \cdot h$
Área disponible en la soldadura externa	$A_{41}$		$A_{41} = (leg)^2 \cdot f_{r2}$
Área disponible en la soldadura interna	$A_{43}$		$A_{43} = (leg)^2 \cdot f_{r2}$
CÁLCULO CON ELEMENTO DE REFUERZO			
Área disponible en la soldadura externa de la boca	$A_{41}$		$A_{41} = (leg)^2 \cdot f_{r3}$
Área disponible en la soldadura externa del elemento	$A_{42}$		$A_{42} = (leg)^2 \cdot f_{r4}$
Área disponible en la soldadura interna	$A_{43}$		$A_{43} = (leg)^2 \cdot f_{r2}$
Área disponible en el elemento	$A_5$		$A_5 = (D_p - d - 2t_n)t_e \cdot f_{r4}$

Fuente: (ASME, 2013)

Donde:

$d$  = Diámetro interior de la boca, in.

$E$  = Eficiencia de la soldadura.

$F$  = Factor de corrección por variación del esfuerzo generado por la presión en diferentes planos con respecto al eje del recipiente.

$h$  = Distancia de la proyección interna de la boca desde la superficie interior del recipiente, in

$f_{r1} = S_n/S_v$  para bocas insertadas en el recipiente, psi.

$f_{r1} = 1$ , para bocas a tope, apoyadas en el recipiente, psi.

$f_{r2} = S_n/S_v$

$f_{r3} = \left( \text{el menor valor entre } S_n \text{ y } S_p/S_v \right)$

$f_{r4} = S_p/S_v$

$S$  = Esfuerzo permisible de tensión, psi.

$S_n$  = Esfuerzo permisible de la boca, psi.

$S_p$  = Esfuerzo permisible del refuerzo, psi.

$S_v$  = Esfuerzo permisible del recipiente, psi.

$t$  = Espesor actual del cuerpo, in.

$t_e$  = Espesor del refuerzo, in.

$t_r$  = Espesor calculado del cuerpo y cabeza, in.

$t_n$  = Espesor nominal de la boca en condición corroída, in.

$t_{rn}$  = Espesor calculado de la pared de la boca, in.

$e$  = Espesor actual de la pared de de la boca, in

Los siguientes datos aplican para el cálculo de todas las aberturas:

### Recipiente

$P_d$  = Presión de diseño = 36.92 psi

$ID$  = Diámetro interior = 60 in

$R_i$  = Radio interior = 30 in

$$C = \text{Corrosión admisible} = \frac{1}{16} \text{ in}$$

$$E = \text{Eficiencia de la soldadura} = 1$$

Material utilizado para el recipiente: SA 516-70

$$S_v = \text{Esfuerzo permisible del recipiente} = 20000 \text{ psi.}$$

## **ABERTURA PARA LA ENTRADA Y SALIDA DE CRUDO**

Entrada del Crudo: N1 4NPS

Salida del Crudo: N2 4NPS

Antes del cálculo es necesario definir las siguientes variables:

### Para la boquilla

$$D_n = \text{Diámetro interior de la boquilla} = 4.5 \text{ in}$$

$$R_n = \text{Radio interior de la boquilla} = 2.25 \text{ in}$$

Material utilizado para las boquillas: SA 105

$$S_n = \text{Esfuerzo permisible de la boca} = 20000 \text{ psi.}$$

$$f_{r1} = \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r2} = \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$\text{leg} = \frac{5}{16} \text{ in}$$

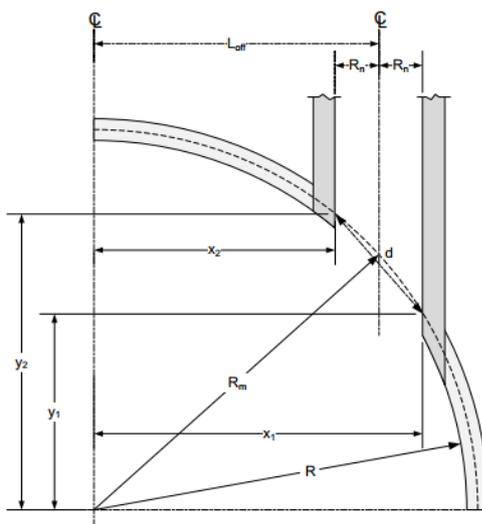
Con base en los diámetros externos de la boquilla y del niple que será colocado en el coupling se determina el espesor actual de la pared de la boca

$$e = 0.5 \text{ in}$$

Espesor nominal de la boquilla en condición corroída

$$t_n = e - C = 0.4375 \text{ in}$$

Cálculo del diámetro interior de la boquilla



**Figura 69.** Esquema de una boca no radial  
Fuente: (ASME, 2013)

$D_{eb}$  = Diámetro exterior de la boquilla = 5.5 in

$t_n$  = Espesor nominal de la boquilla en condición corroída = 0.4375 in

$R$  = Radio interior del recipiente en condición corroída

$R_i$  = Radio interior del recipiente = 30 in

$C$  = Corrosión admisible =  $\frac{1}{16}$  in

$L_{off}$  = Distancia del centro de la boca al eje medio del recipiente = 10 in.

$R_m$  = Radio neutro =  $R + t$

$t$  = Espesor actual del cuerpo, in.

$t_e$  = Espesor del refuerzo, in.

$t_r$  = Espesor calculado del cuerpo y cabeza, in.

$$R_n = \frac{D_{eb} - 2 \cdot t_n}{2} = 2.3125 \text{ in}$$

$$R = R_i + C = 30.0625 \text{ in}$$

$$R_m = R + \frac{t_r}{2} = 30.0903 \text{ in}$$

$$x_1 = L_{off} + R_n = 12.3125 \text{ in}$$

$$x_2 = L_{off} - R_n = 7.6875 \text{ in}$$

$$y_1 = \sqrt{R_m^2 - x_1^2} = 27.4559 \text{ in}$$

$$y_2 = \sqrt{R_m^2 - x_2^2} = 29.0917 \text{ in}$$

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_2 - y_1)^2} = 4.9058 \text{ in}$$

### POR PRESIÓN INTERNA

#### Datos

$$F = 0.5$$

Cálculo del espesor de la boquilla

El cálculo del espesor requerido de la boquilla o acople del elemento se lo realiza mediante las ecuaciones establecidas el código ASME Sección VIII Div.1 UG-27(c)(1) para el cuerpo del recipiente sometido a presión interna.

$$t_{rn} = \frac{Pd \cdot (R_n + C)}{S_n \cdot E - 0.6Pd} = 0.0043 \text{ in}$$

Cálculo del espesor del cuerpo sin considerar la corrosión admisible y con E=1

$$t_r = \frac{Pd \cdot (R_n + C)}{S \cdot E - 0.6Pd} = 0.0556 \text{ in}$$

Cálculo sin elemento de refuerzo

Área requerida

$$A = d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) = 0.1363 \text{ in}^2$$

Área disponible en el cuerpo, usar el mayor valor

$$A_1 = d(E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n(E_1 \cdot t - F \cdot t_r)(1 - f_{r1}) = 0.7836 \text{ in}^2$$

$$A_1 = 2(t + t_n)(E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n(E_1 \cdot t - F \cdot t_r)(1 - f_{r1}) = 0.1997 \text{ in}^2$$

Área disponible en la parte externa de la boca, usar el menor valor

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t = 0.4061 \text{ in}^2$$

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n = 0.9477 \text{ in}^2$$

Área disponible en la soldadura externa

$$A_{41} = (leg)^2 \cdot f_{r2} = 0.0977 \text{ in}^2$$

Área disponible total

$$A_T = A_1 + A_2 + A_{41} = 1.2874 \text{ in}^2$$

$$A_T > A$$

$$1.2874 \text{ in}^2 > 0.1363 \text{ in}^2$$

Se concluye que las aberturas para la entrada y salida de crudo no requieren refuerzo ya que el área disponible es mayor al área requerida.

POR PRESIÓN EXTERNADatos

$$F = 1$$

Cálculo del espesor de la boquilla

El cálculo del espesor requerido de la boquilla o acople del elemento se lo realiza mediante el procedimiento establecido el código ASME Sección VIII Div.1 UG-28(c) (1) para el cuerpo del recipiente sometido a presión externa.

$$t_{rn} = 0.0153 \text{ in}$$

Cálculo del espesor mínimo requerido del cuerpo por presión externa

$$t_r = 0.187 \text{ in}$$

Cálculo sin elemento de refuerzo

Área requerida

$$A = 0.5[d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1})] = 0.4404 \text{ in}^2$$

Área disponible en el cuerpo, usar el mayor valor

$$A_1 = d(E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n(E_1 \cdot t - F \cdot t_r)(1 - f_{r1}) = 0.0387 \text{ in}^2$$

$$A_1 = 2(t + t_n)(E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n(E_1 \cdot t - F \cdot t_r)(1 - f_{r1}) = 0.0099 \text{ in}^2$$

Área disponible en la parte externa de la boca, usar el menor valor

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t = 0.3958 \text{ in}^2$$

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n = 0.9236 \text{ in}^2$$

Área disponible en la soldadura externa

$$A_{41} = (leg)^2 \cdot f_{r2} = 0.0977 \text{ in}^2$$

Área total

$$A_T = A_1 + A_2 + A_{41} = 0.5322 \text{ in}^2$$

$$A_T > A$$

$$0.5322 \text{ in}^2 > 0.4404 \text{ in}^2$$

Se concluye que las aberturas para la entrada y salida de crudo no requieren refuerzo ya que el área disponible es mayor al área requerida.

### **ABERTURAS DEL INDICADOR DE NIVEL N3 A/B 2NPS**

Según la ASME Sección VIII Div.1 UG-36(c)(3), las aberturas en recipientes que no están sujetos a rápidas fluctuaciones en la presión no requieren refuerzo si las conexiones soldadas con aberturas menores a 3 ½ in ó 2 3/8 in de diámetro en cuerpos y cabezas poseen un espesor mínimo requerido menor o igual a 3/8 in, ya que las aberturas necesarias para la instalación del indicador de nivel no superan los valores indicados en las excepciones de refuerzos, siendo de 2 in de diámetro y su espesor de 5/16 in por lo que no se realiza el cálculo de áreas.

### **ABERTURA DE LA VÁLVULA DE ALIVIO N4 3NPS**

Antes del cálculo es necesario definir las siguientes variables:

Para la boquilla

$$D_n = \text{Diámetro interior de la boquilla} = 3.5 \text{ in}$$

$$R_n = \text{Radio interior de la boquilla} = 1.75 \text{ in}$$

Material utilizado para las boquillas: SA 105

$S_n = \text{Esfuerzo permisible de la boca} = 20000 \text{ psi.}$

$$f_{r1} = S_n / S_v = 1$$

$$f_{r2} = S_n / S_v = 1$$

$$leg = \frac{1}{4} \text{ in}$$

$$F = 1$$

Con base en los diámetros externos de la boquilla y del niple que será colocado en el coupling se determina el espesor actual de la pared de la boca

$$e = 0.375 \text{ in}$$

Espesor nominal de la boquilla en condición corroída

$$t_n = e - C = 0.312 \text{ in}$$

Cálculo del diámetro interior de la boquilla

$$d = D_n + 2 \cdot C = 3.625 \text{ in}$$

### POR PRESIÓN INTERNA

El cálculo del espesor requerido de la boquilla o acople del elemento se lo realiza mediante las ecuaciones establecidas el código ASME Sección VIII Div.1 UG-27(c)(1) para el cuerpo del recipiente sometido a presión interna.

$$t_{rn} = \frac{Pd \cdot (R_n + C)}{S \cdot E - 0.6Pd} = 0.0032 \text{ in}$$

Cálculo del espesor del cuerpo sin considerar la corrosión admisible y con  $E=1$

$$t_r = \frac{Pd \cdot (R + C)}{S \cdot E - 0.6 Pd} = 0.0527 \text{ in}$$

Cálculo sin elemento de refuerzo

Área requerida

$$A = d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) = 0.1909 \text{ in}^2$$

Área disponible en el cuerpo, usar el mayor valor

$$A_1 = d(E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n(E_1 \cdot t - F \cdot t_r)(1 - f_{r1}) = 0.4888 \text{ in}^2$$

$$A_1 = 2(t + t_n)(E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n(E_1 \cdot t - F \cdot t_r)(1 - f_{r1}) = 0.1348 \text{ in}^2$$

Área disponible en la parte externa de la boca, usar el menor valor

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t = 0.29 \text{ in}^2$$

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n = 0.483 \text{ in}^2$$

Área disponible en la soldadura externa

$$A_{41} = (leg)^2 \cdot f_{r2} = 0.063 \text{ in}^2$$

Área disponible total

$$A_T = A_1 + A_2 + A_{41} = 0.8413 \text{ in}^2$$

$$A_T \geq A$$

$$0.8413 \text{ in}^2 > 0.1909 \text{ in}^2$$

Se concluye que la abertura para la válvula de alivio no requiere refuerzo ya que el área disponible es mayor al área requerida.

## POR PRESIÓN EXTERNA

El cálculo del espesor requerido de la boquilla o acople del elemento se lo realiza mediante el procedimiento establecido el código ASME Sección VIII Div.1 UG-28(c) (1) para el cuerpo del recipiente sometido a presión externa.

$$t_{rn} = 0.0118 \text{ in}$$

Cálculo del espesor mínimo requerido del cuerpo por presión externa

$$t_r = 0.187 \text{ in}$$

### Cálculo sin elemento de refuerzo

Área requerida

$$A = 0.5 \cdot [d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1})] = 0.3389 \text{ in}^2$$

Área disponible en el cuerpo, usar el mayor valor

$$A_1 = d(E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n(E_1 \cdot t - F \cdot t_r)(1 - f_{r1}) = 0.0018 \text{ in}^2$$

$$A_1 = 2(t + t_n)(E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n(E_1 \cdot t - F \cdot t_r)(1 - f_{r1}) = 0.0005 \text{ in}^2$$

Área disponible en la parte externa de la boca, usar el menor valor

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t = 0.2819 \text{ in}^2$$

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n = 0.4699 \text{ in}^2$$

Área disponible en la soldadura externa

$$A_{41} = (leg)^2 \cdot f_{r2} = 0.0625 \text{ in}^2$$

Área disponible total

$$A_T = A_1 + A_2 + A_{41} = 0.3463 \text{ in}^2$$

$$A_T \geq A$$

$$0.3463 \text{ in}^2 > 0.3389 \text{ in}^2$$

Se concluye que la abertura para la válvula de alivio no requiere refuerzo ya que el área disponible es mayor al área requerida.

### **ABERTURA DE LA TRAMPA PRIMARIA N5 Y MANHOLE MH1**

Antes del cálculo es necesario definir las siguientes variables:

Para la boquilla

$$D_n = \text{Diámetro interior de la boquilla} = 19.5 \text{ in}$$

$$R_n = \text{Radio interior de la boquilla} = 9.75 \text{ in}$$

Material utilizado para el manhole y la trampa primaria: SA 285 Gr. C

$$S_n = \text{Esfuerzo permisible de la boca} = 15700 \text{ psi.}$$

$$f_{r1} = S_n / S_v = 0.785$$

$$f_{r2} = S_n / S_v = 0.785$$

$$f_{r3} = S_n / S_v = 0.785$$

$$f_{r4} = S_n / S_v = 1$$

$$F = 1$$

$$leg = \frac{1}{4} \text{ in}$$

Espesor de la pared de la boca de la trampa primaria y del manhole proporcionado por el fabricante.

$$e = 0.25 \text{ in}$$

Espesor nominal de la boquilla en condición corroída

$$t_n = e - C = 0.1875 \text{ in}$$

Cálculo del diámetro interior de la boquilla

$$d = D_n + 2 \cdot C = 19.625 \text{ in}$$

### CÁLCULO SIN ELEMENTO DE REFUERZO

El cálculo del espesor requerido de la boquilla o acople del elemento se lo realiza mediante las ecuaciones establecidas el código ASME Sección VIII Div.1 UG-27(c) (1) para el cuerpo del recipiente sometido a presión interna.

$$t_{rn} = \frac{Pd \cdot (R_n + C)}{S \cdot E - 0.6Pd} = 0.0219 \text{ in}$$

Cálculo del espesor del cuerpo sin considerar la corrosión admisible y con E=1

$$t_r = \frac{Pd \cdot (R + C)}{S \cdot E - 0.6Pd} = 0.0527 \text{ in}$$

### Cálculo por Presión Interna

Área requerida

$$A = d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) = 1.0378 \text{ in}^2$$

Área disponible en el cuerpo, usar el mayor valor

$$A_1 = d(E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n(E_1 \cdot t - F \cdot t_r)(1 - f_{r1}) = 2.6353 \text{ in}^2$$

$$A_1 = 2(t + t_n)(E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n(E_1 \cdot t - F \cdot t_r)(1 - f_{r1}) = 0.0903 \text{ in}^2$$

Área disponible en la parte externa de la boca, usar el menor valor

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t = 0.1219 \text{ in}^2$$

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n = 0.1219 \text{ in}^2$$

Área disponible en la soldadura externa

$$A_{41} = (leg)^2 \cdot f_{r2} = 0.0491 \text{ in}^2$$

Área disponible total

$$A_T = A_1 + A_2 + A_{41} = 2.8062 \text{ in}^2$$

$$A_T \geq A$$

$$2.8062 \text{ in}^2 > 1.0378 \text{ in}^2$$

Realizando el cálculo del refuerzo por presión interna obtenemos que las aberturas para la trampa primaria y el manhole no requieren refuerzo ya que el área disponible es mayor al área requerida, pero debido a que trabajan también a presión externa el resultado no es concluyente.

#### Cálculo por presión externa

El cálculo del espesor requerido de la boquilla o acople del elemento se lo realiza mediante el procedimiento establecido el código ASME Sección VIII Div.1 UG-28(c) (1) para el cuerpo del recipiente sometido a presión externa.

$$t_{rn} = 0.0447 \text{ in}$$

Cálculo del espesor mínimo requerido del cuerpo por presión externa

$$t_r = 0.187 \text{ in}$$

Área requerida

$$A = 0.5 \cdot [d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1})] = 1.8425 \text{ in}^2$$

Área disponible en el cuerpo, usar el mayor valor

$$A_1 = d(E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n(E_1 \cdot t - F \cdot t_r)(1 - f_{r1}) = 0.0098 \text{ in}^2$$

$$A_1 = 2(t + t_n)(E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n(E_1 \cdot t - F \cdot t_r)(1 - f_{r1}) = 0.0003 \text{ in}^2$$

Área disponible en la parte externa de la boca, usar el menor valor

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t = 0.1051 \text{ in}^2$$

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n = 0.1051 \text{ in}^2$$

Área disponible en la soldadura externa

$$A_{41} = (leg)^2 \cdot f_{r2} = 0.0625 \text{ in}^2$$

Área total

$$A_T = A_1 + A_2 + A_{41} = 0.1639 \text{ in}^2$$

$$A_T < A$$

$$0.1639 \text{ in}^2 < 1.8425 \text{ in}^2$$

Se concluye que las aberturas para la trampa primaria y el manhole requieren refuerzo ya que el área disponible es menor al área requerida.

## CÁLCULO CON ELEMENTO DE REFUERZO

### Datos

$$t_e = \text{Espesor del refuerzo} = \frac{1}{4} \text{ in}$$

$$D_p = \text{Diámetro del refuerzo} = 26.5 \text{ in}$$

### Cálculo por presión interna

Área requerida

$$A = d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) = 1.0378 \text{ in}^2$$

Área disponible en el cuerpo, usar el mayor valor

$$A_1 = d(E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n(E_1 \cdot t - F \cdot t_r)(1 - f_{r1}) = 2.6353 \text{ in}^2$$

$$A_1 = 2(t + t_n)(E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n(E_1 \cdot t - F \cdot t_r)(1 - f_{r1}) = 0.0903 \text{ in}^2$$

Área disponible en la parte externa de la boca, usar el menor valor

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t = 0.1219 \text{ in}^2$$

$$A_2 = 2(t_n - t_{rn}) \cdot (2.5t_n - t_e) \cdot f_{r2} = 0.1869 \text{ in}^2$$

Área disponible en la soldadura externa

$$A_{41} = (leg)^2 \cdot f_{r3} = 0.0491 \text{ in}^2$$

Área disponible en la soldadura del refuerzo

$$A_{42} = (leg)^2 \cdot f_{r4} = 0.0625 \text{ in}^2$$

Área disponible en el refuerzo

$$A_5 = (D_p - d - 2t_n) \cdot t_e \cdot f_{r4}$$

$$A_5 = 1.625 \text{ in}^2$$

Área disponible total

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{42} + A_5 = 4.4937 \text{ in}^2$$

$$A_T \geq A$$

$$4.4937 \text{ in}^2 > 1.0378 \text{ in}^2$$

Se concluye que las aberturas para la trampa primaria y el manhole están adecuadamente reforzadas ya que el área disponible es mayor al área requerida.

Cálculo por presión externa

Área requerida

$$A = 0.5 \cdot [d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1})] = 1.8425 \text{ in}^2$$

Área disponible en el cuerpo, usar el mayor valor

$$A_1 = d(E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n(E_1 \cdot t - F \cdot t_r)(1 - f_{r1}) = 0.0098 \text{ in}^2$$

$$A_1 = 2(t + t_n)(E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n(E_1 \cdot t - F \cdot t_r)(1 - f_{r1}) = 0.0003 \text{ in}^2$$

Área disponible en la parte externa de la boca, usar el menor valor

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t = 0.2819 \text{ in}^2$$

$$A_2 = 2(t_n - t_{rn}) \cdot (2.5t_n - t_e) \cdot f_{r2} = 0.1611 \text{ in}^2$$

Área disponible en la soldadura externa

$$A_{41} = (leg)^2 \cdot f_{r2} = 0.0491 \text{ in}^2$$

Área disponible en la soldadura del refuerzo

$$A_{42} = (leg)^2 \cdot f_{r4} = 0.0625 \text{ in}^2$$

Área disponible en el refuerzo

$$A_5 = (D_p - d - 2t_n) \cdot t_n \cdot f_{r4}$$

$$A_5 = 1.625 \text{ in}^2$$

Área disponible total

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{42} + A_5 = 1.8514 \text{ in}^2$$

$$A_T \geq A$$

$$1.8514 \text{ in}^2 > 1.8425 \text{ in}^2$$

Se concluye que las aberturas para trampa primaria y el manhole están adecuadamente reforzadas ya que el área disponible es mayor al área requerida.

## **ABERTURA DEL MANHOLE DE LA CABEZA MH2 20NPS**

Para el cálculo es necesario definir las siguientes variables:

Para la boquilla

$$D_n = \text{Diámetro interior de la boquilla} = 19.5 \text{ in}$$

$$R_n = \text{Radio interior de la boquilla} = 9.75 \text{ in}$$

Material utilizado para el manhole: SA 285 Gr. C

$S_n = \text{Esfuerzo permisible de la boca} = 15700 \text{ psi.}$

$$f_{r1} = S_n / S_v = 0.785$$

$$f_{r2} = S_n / S_v = 0.785$$

$$f_{r3} = S_n / S_v = 0.785$$

$$f_{r4} = S_n / S_v = 1$$

$$F = 1$$

$$\text{leg} = \frac{1}{4} \text{ in}$$

Espesor de la pared de la boca del manhole proporcionado por el fabricante.

$$e = 0.25 \text{ in}$$

Espesor nominal de la boquilla en condición corroída

$$t_n = e - C = 0.1875 \text{ in}$$

Cálculo del diámetro interior de la boquilla

$$d = D_n + 2 \cdot C = 19.625 \text{ in}$$

## CÁLCULO SIN ELEMENTO DE REFUERZO

### Cálculo por Presión Interna

Cálculo del espesor de la boquilla

El cálculo del espesor requerido de la boquilla o acople del elemento se lo realiza mediante las ecuaciones establecidas el código ASME Sección VIII Div.1 UG-27(c)(1) para el cuerpo del recipiente sometido a presión interna.

$$t_{rn} = \frac{Pd \cdot (R_n + C)}{S \cdot E - 0.6Pd} = 0.023 \text{ in}$$

Cálculo del espesor del cuerpo sin considerar la corrosión admisible y con  $E=1$

$$t_r = \frac{Pd \cdot (L + C) \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0.2 \cdot Pd} = 0.049 \text{ in}$$

Área requerida

$$A = d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) = 0.9835 \text{ in}^2$$

Área disponible en el cuerpo

$$L_R = 14 \text{ in}$$

$$A_1 = (2 \cdot L_R - d) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) (1 - f_{r1}) = 1.1412 \text{ in}^2$$

Área disponible en la parte externa de la boca, usar el menor valor

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t = 0.1613 \text{ in}^2$$

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n = 0.1209 \text{ in}^2$$

Área disponible en la soldadura externa

$$A_{41} = (leg)^2 \cdot f_{r2} = 0.0491 \text{ in}^2$$

Área total

$$A_T = A_1 + A_2 + A_{41} = 1.3113 \text{ in}^2$$

$$A_T \geq A$$

$$1.3113 \text{ in}^2 > 0.9835 \text{ in}^2$$

Realizando el cálculo del refuerzo por presión interna obtenemos que la abertura para el manhole no requiere refuerzo ya que el área disponible es mayor al área requerida, pero debido a que trabaja también a presión externa el resultado no es concluyente.

### Cálculo por Presión Externa

El cálculo del espesor requerido de la boquilla o acople del elemento se lo realiza mediante el procedimiento establecido el código ASME Sección VIII Div.1 UG-28(c)(1) para el cuerpo del recipiente sometido a presión externa.

$$t_{rn} = 0.0417 \text{ in}$$

Cálculo del espesor mínimo requerido del cuerpo por presión externa

$$t_r = 0.187 \text{ in}$$

Área requerida

$$A = 0.5 \cdot [d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1})] = 1.8425 \text{ in}^2$$

Área disponible en el cuerpo, usar el mayor valor

$$L_R = 14 \text{ in}$$

$$A_1 = (2 * L_R - d) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) (1 - f_{r1}) = 0.0041 \text{ in}^2$$

Área disponible en la parte externa de la boca, usar el menor valor

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t = 0.1073 \text{ in}^2$$

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n = 0.1073 \text{ in}^2$$

Área disponible en la soldadura externa

$$A_{41} = (leg)^2 \cdot f_{r2} = 0.0491 \text{ in}^2$$

Área disponible total

$$A_T = A_1 + A_2 + A_{41} = 0.1605 \text{ in}^2$$

$$A_T < A$$

$$0.1605 \text{ in}^2 < 1.8425 \text{ in}^2$$

Se concluye que la abertura para el manhole requiere refuerzo ya que el área disponible es menor al área requerida.

### CÁLCULO CON ELEMENTO DE REFUERZO

Datos

$$t_e = \text{Espesor del refuerzo} = \frac{1}{4} \text{ in}$$

$$D_p = \text{Diámetro del refuerzo} = 25.5 \text{ in}$$

### Cálculo por Presión Interna

Área requerida

$$A = d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) = 0.9835 \text{ in}^2$$

Área disponible en el cuerpo

$$L_R = 14 \text{ in}$$

$$A_1 = (2 * L_R - d) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) (1 - f_{r1}) = 1.1412 \text{ in}^2$$

Área disponible en la parte externa de la boca, usar el menor valor

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t = 0.1209 \text{ in}^2$$

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot (2.5t_n - t_e) \cdot f_{r2} = 0.1855 \text{ in}^2$$

Área disponible en la soldadura externa

$$A_{41} = (leg)^2 \cdot f_{r3} = 0.0491 \text{ in}^2$$

Área disponible en la soldadura del refuerzo

$$A_{42} = (leg)^2 \cdot f_{r4} = 0.0625 \text{ in}^2$$

Área disponible en el refuerzo

$$A_5 = (D_p - d - 2t_n) \cdot t_e \cdot f_{r4}$$

$$A_5 = 1.375 \text{ in}^2$$

Área total

$$A_T = A_1 + A_2 + A_{41} + A_{42} + A_5 = 2.749 \text{ in}^2$$

$$A_T \geq A$$

$$2.749 \text{ in}^2 > 0.9835 \text{ in}^2$$

Se concluye que la abertura para el manhole está adecuadamente reforzada ya que el área disponible considerando el refuerzo es mayor al área requerida.

### Cálculo por Presión Externa

Área requerida

$$A = 0.5 \cdot [d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1})] = 1.8425 \text{ in}^2$$

Área disponible en el cuerpo

$$L_R = 14 \text{ in}$$

$$A_1 = (2 * L_R - d) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n(E_1 \cdot t - F \cdot t_r)(1 - f_{r1}) = 0.0041 \text{ in}^2$$

Área disponible en la parte externa de la boca, usar el menor valor

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t = 0.1073 \text{ in}^2$$

$$A_2 = 2(t_n - t_{rn}) \cdot (2.5t_n - t_e) \cdot f_{r2} = 0.1645 \text{ in}^2$$

Área disponible en la soldadura externa

$$A_{41} = (leg)^2 \cdot f_{r3} = 0.0491 \text{ in}^2$$

Área disponible en la soldadura del refuerzo

$$A_{42} = (leg)^2 \cdot f_{r4} = 0.0625 \text{ in}^2$$

Área disponible en el refuerzo

$$A_5 = (D_p - d - 2t_n) \cdot t_e \cdot f_{r4}$$

$$A_5 = 1.625 \text{ in}^2$$

Área disponible total

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{42} + A_5 = 1.8480 \text{ in}^2$$

$$A_T \geq A$$

$$1.8480 \text{ in}^2 > 1.8425 \text{ in}^2$$

Se concluye que la abertura para el manhole está adecuadamente reforzada ya que el área disponible es mayor al área requerida.

## ABERTURA PARA EL DRENAJE N6 3NPS

Antes del cálculo es necesario definir las siguientes variables:

### Para la boquilla

$D_n = \text{Diámetro interior de la boquilla} = 3.5 \text{ in}$

$R_n = \text{Radio interior de la boquilla} = 1.75 \text{ in}$

Material utilizado para las boquillas: SA 105

$S_n = \text{Esfuerzo permisible de la boca} = 20000 \text{ psi.}$

$$f_{r1} = S_n / S_v = 1$$

$$f_{r2} = S_n / S_v = 1$$

$$F = 1$$

$$leg = \frac{1}{4} \text{ in}$$

Con base en los diámetros externos de la boquilla y del niple que será colocado en el coupling se determina el espesor actual de la pared de la boca

$$e = 0.375 \text{ in}$$

Espesor nominal de la boquilla en condición corroída

$$t_n = e - C = 0.312 \text{ in}$$

Cálculo del diámetro interior de la boquilla

$$d = D_n + 2 \cdot C = 3.625 \text{ in}$$

## POR PRESIÓN INTERNA

El cálculo del espesor requerido de la boquilla o acople del elemento se lo realiza mediante las ecuaciones establecidas el código ASME Sección VIII Div.1 UG-27(c)(1) para el cuerpo del recipiente sometido a presión interna.

$$t_{rn} = \frac{Pd \cdot (R_n + C)}{S \cdot E - 0.6Pd} = 0.0033 \text{ in}$$

Cálculo del espesor del cuerpo sin considerar la corrosión admisible y con E=1

$$t_r = \frac{Pd \cdot (R + C)}{S \cdot E - 0.6Pd} = 0.0556 \text{ in}$$

### Cálculo sin elemento de refuerzo

Área requerida

$$A = d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) = 0.2014 \text{ in}^2$$

Área disponible en el cuerpo, usar el mayor valor

$$A_1 = d(E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n(E_1 \cdot t - F \cdot t_r)(1 - f_{r1}) = 0.4783 \text{ in}^2$$

$$A_1 = 2(t + t_n)(E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n(E_1 \cdot t - F \cdot t_r)(1 - f_{r1}) = 0.1319 \text{ in}^2$$

Área disponible en la parte externa de la boca, usar el menor valor

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t = 0.2898 \text{ in}^2$$

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n = 0.483 \text{ in}^2$$

Área disponible en la soldadura externa

$$A_{41} = (leg)^2 \cdot f_{r2} = 0.0625 \text{ in}^2$$

Área total

$$A_T = A_1 + A_2 + A_{41} = 0.831 \text{ in}^2$$

$$A_T \geq A$$

$$0.831 \text{ in}^2 > 0.2014 \text{ in}^2$$

Se concluye que la abertura para la válvula de alivio no requiere refuerzo ya que el área disponible es mayor al área requerida.

### POR PRESIÓN EXTERNA

El cálculo del espesor requerido de la boquilla o acople del elemento se lo realiza mediante el procedimiento establecido el código ASME Sección VIII Div.1 UG-28(c)(1) para el cuerpo del recipiente sometido a presión externa.

$$t_{rn} = 0.0118 \text{ in}$$

Cálculo del espesor mínimo requerido del cuerpo por presión externa

$$t_r = 0.187 \text{ in}$$

### Cálculo sin elemento de refuerzo

Área requerida

$$A = 0.5[d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1})] = 0.3389 \text{ in}^2$$

Área disponible en el cuerpo, usar el mayor valor

$$A_1 = d(E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n(E_1 \cdot t - F \cdot t_r)(1 - f_{r1}) = 0.0018 \text{ in}^2$$

$$A_1 = 2(t + t_n)(E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n(E_1 \cdot t - F \cdot t_r)(1 - f_{r1}) = 0.0005 \text{ in}^2$$

Área disponible en la parte externa de la boca, usar el menor valor

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t = 0.282 \text{ in}^2$$

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n = 0.4698 \text{ in}^2$$

Área disponible en la soldadura externa

$$A_{41} = (leg)^2 \cdot f_{r2} = 0.063 \text{ in}^2$$

Área total

$$A_T = A_1 + A_2 + A_{41} = 0.3462 \text{ in}^2$$

$$A_T > A$$

$$0.3462 \text{ in}^2 > 0.3389 \text{ in}^2$$

Se concluye que la abertura para el drenaje no requiere refuerzo ya que el área disponible es mayor al área requerida.

**Tabla 37.**

Resumen de las aberturas del recipiente

No. de boca	Descripción	NPS	Diámetro externo (in)	Espesor de la boquilla (in)	Por Presión Interna		Por Presión Externa		Refuerzo
					Á. req (in <sup>2</sup> )	Á. disp (in <sup>2</sup> )	Á. req (in <sup>2</sup> )	Á. disp (in <sup>2</sup> )	
N1	Entrada de crudo	4"	5.5	0.5	0.1363	1.2874	0.4404	0.5322	No
N2	Salida de crudo	4"	5.5	0.5	0.1363	1.2874	0.4404	0.5322	No
N3 A/B	Indicador de nivel	2"	3	0.3125	N/A	N/A	N/A	N/A	No
N4	Válvula de alivio	3"	4.25	0.375	0.1909	0.8413	0.3389	0.3463	No

Continúa



<b>N5</b>	Trampa primaria	20"	20	0.25	1.0378	4.4937	1.8425	1.8514	Si
<b>N6</b>	Drenaje	3"	4.25	0.375	0.2014	0.831	0.3389	0.3462	No
<b>MH1</b>	Manhole del cuerpo	20"	20	0.25	1.0378	4.4937	1.8425	1.8514	Si
<b>MH2</b>	Manhole de la cabeza	20"	20	0.25	0.9845	2.749	1.8425	1.8480	Si

Fuente: Autoras

### CARGAS EN LAS SOLDADURAS DE LOS REFUERZOS

Los cálculos de las cargas generadas en las soldaduras de los refuerzos de las bocas se basan en las trayectorias que se presentan a continuación:

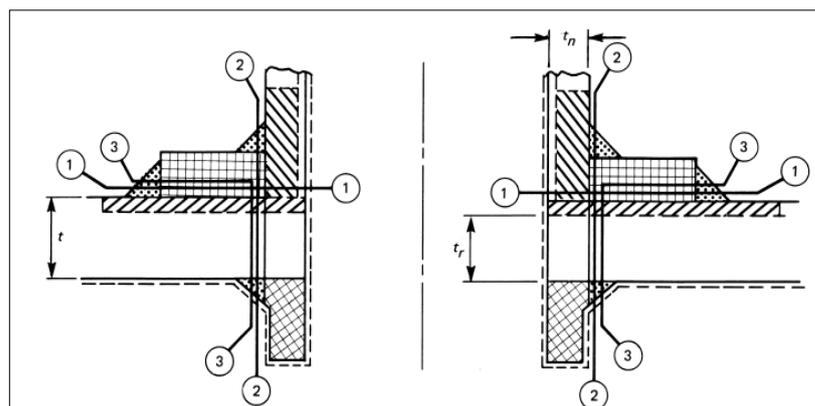


Figura 70. Cargas en las juntas soldadas de las bocas  
Fuente: (ASME, 2013)

Tabla 38.

Cargas en las juntas soldadas de las bocas

CARGAS EN LAS JUNTAS SOLDADAS DE LAS BOCAS		
<b>Carga total de soldadura</b>	$W$	$W = [A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f r_1 (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)] \cdot S_v$

Continúa

<b>Carga de soldadura en la trayectoria 1-1</b>	$W_{1-1}$	$W_{1-1} = (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v$
<b>Carga de soldadura en la trayectoria 2-2</b>	$W_{2-2}$	$W_{2-2} = (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v$
<b>Carga de soldadura en la trayectoria 3-3</b>	$W_{3-3}$	$W_{3-3} = (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v$

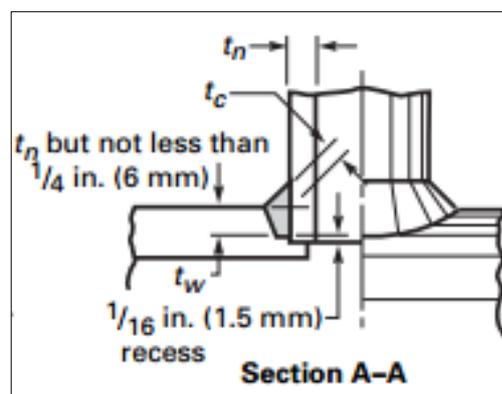
**Fuente:** (ASME, 2013)

### **Esfuerzos permitidos en las juntas**

Los valores de esfuerzos permitidos para las soldaduras en bisel y filetes se presentan en la UW-15 (c) en porcentaje del esfuerzo del material del recipiente o boquillas y se los utiliza para los cálculos de las cargas permitidas en las soldaduras, éstos son:

- Soldadura de bisel en tensión, 74%
- Soldadura de bisel en corte, 60%
- Filete de soldadura en corte, 49%
- Pared de la boca en corte, 70%

### **Carga permitida en juntas soldadas**



**Figura 71.** Ejemplo de soldadura en una boca  
**Fuente:** (ASME, 2013)

**Tabla 39.**

Cargas permitidas en las juntas soldadas

CARGAS PERMITIDAS EN LAS JUNTAS SOLDADAS		
<b>Filete de soldadura interno en corte</b>	$F_i$	$F_i = \frac{\pi}{2} \cdot D_{on} \cdot Leg \cdot S_i$
<b>Filete de soldadura externo en corte</b>	$F_o$	$F_o = \frac{\pi}{2} \cdot D_p \cdot Leg \cdot S_o$
<b>Pared de la boca en corte</b>	$F_n$	$F_n = \frac{\pi}{2} \cdot D_m \cdot t_n \cdot S_n$
<b>Soldadura de bisel en tensión</b>	$F_g$	$F_g = \frac{\pi}{2} \cdot D_{on} \cdot t_w \cdot S_g$
<b>Soldadura superior del bisel en tensión</b>	$F_{ug}$	$F_{ug} = \frac{\pi}{2} \cdot D_{on} \cdot t_w \cdot S_g$

**Fuente:** (ASME, 2013)*Donde:* $D_{on}$  = Diámetro exterior de la boquilla, in $D_m$  = Diámetro neutro de la boquilla, in $Leg$  = Pierna de soldadura, in $t_w$  = Dimensión de la junta soldada, in

## CÁLCULOS DE LAS CARGAS EN SOLDADURAS

### Esfuerzos permitidos en las juntas

Soldadura de bisel en tensión, 74%

 $S_g$  = Esfuerzo permitido en soldaduras de bisel a tensión

$$S_g = 0.74 \cdot 20000 \text{ psi} = 14800 \text{ psi}$$

Pared de la boca en corte, 70%

 $S_n$  = Esfuerzo permitido en la soldadura de la pared de la boca en corte

$$S_n = 0.70 \cdot 15700 \text{ psi} = 14800 \text{ psi}$$

Filete de soldadura interno en corte, 49%

$S_i = \text{Esfuerzo permitido en el filete interno de soldadura en corte}$

$$S_i = 0.49 \cdot 15700 \text{ psi} = 7693 \text{ psi}$$

Filete de soldadura externo en corte, 49%

$S_o = \text{Esfuerzo permitido en el filete externo de soldadura en corte}$

$$S_o = 0.49 \cdot 20000 \text{ psi} = 9800 \text{ psi}$$

Soldadura superior del bisel en tensión, 74%

$S_g = \text{Esfuerzo permitido en la soldadura superior del bisel a tensión}$

$$S_g = 0.74 \cdot 20000 \text{ psi} = 14800 \text{ psi}$$

### **Carga permitida en juntas soldadas**

#### **Fuerza permitida en juntas soldadas de N5 y MH1**

(1) Filete de soldadura interno en corte

$$F_i = \frac{\pi}{2} \cdot D_{on} \cdot Leg \cdot S_i$$

$$F_i = \frac{\pi}{2} \cdot 20 \text{ in} \cdot 0.49 \cdot 15700 \text{ psi}$$

$$F_i = 60420.68 \text{ lb}_f$$

(2) Filete de soldadura externo en corte

$$F_o = \frac{\pi}{2} \cdot D_p \cdot Leg \cdot S_o$$

$$F_o = \frac{\pi}{2} \cdot 26.5 \text{ in} \cdot 0.49 \cdot 15700 \text{ psi}$$

$$F_o = 101983.95 \text{ lb}_f$$

(3) Pared de la boca en corte

$$F_n = \frac{\pi}{2} \cdot D_m \cdot t_n \cdot S_n$$

$$F_n = \frac{\pi}{2} \cdot 19.8125 \text{ in} \cdot 0.7 \cdot 0.1875 \cdot 15700 \text{ psi}$$

$$F_n = 64129.54 \text{ lb}_f$$

(4) Soldadura de bisel en tensión

$$F_g = \frac{\pi}{2} \cdot D_{on} \cdot t_w \cdot S_g$$

$$F_g = \frac{\pi}{2} \cdot 20 \text{ in} \cdot 0.1875 \cdot 0.74 \cdot 20000 \text{ psi}$$

$$F_g = 87179.2 \text{ lb}_f$$

(5) Soldadura superior del bisel en tensión

$$F_{ug} = \frac{\pi}{2} \cdot D_{on} \cdot t_w \cdot S_g$$

$$F_{ug} = \frac{\pi}{2} \cdot 20 \text{ in} \cdot 0.25 \cdot 0.74 \cdot 20000 \text{ psi}$$

$$F_{ug} = 116238.93 \text{ lb}_f$$

### **Carga total de la soldadura**

$$W = [A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot fr_1(E_1 \cdot t - F \cdot t_r)] \cdot S_v = -31155.795 \text{ lb}_f$$

Trayectoria 1-1

Carga a través de la trayectoria 1-1:

$$W_{1-1} = (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v = 37168.612 \text{ lb}_f$$

$$L_{1-1} = F_n + F_o = 64129.54 \text{ lb}_f + 101983.95 \text{ lb}_f$$

$$L_{1-1} = 166113.49 \text{ lb}_f$$

$$L_{1-1} > \text{menor valor } (W, W_{1-1})$$

$$166113.49 \text{ lb}_f > \text{menor valor } (-31155.795 \text{ lb}_f ; 37168.612 \text{ lb}_f)$$

Se puede concluir que la carga en la soldadura en la trayectoria 1-1 es aceptable.

Trayectoria 2-2

Carga a través de la trayectoria 2-2:

$$W_{2-2} = (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v = 4522.518 \text{ lb}_f$$

$$L_{2-2} = F_i + F_g + F_{ug} = 60420.68 \text{ lb}_f + 87179.2 \text{ lb}_f + 116238.93 \text{ lb}_f$$

$$L_{2-2} = 263838.8 \text{ lb}_f$$

$$L_{2-2} > \text{menor valor } (W, W_{2-2})$$

$$263838.8 \text{ lb}_f > \text{menor valor } (-31155.795 \text{ lb}_f ; 4522.518 \text{ lb}_f)$$

Se puede concluir que la carga en la soldadura en la trayectoria 2-2 es aceptable.

Trayectoria 3-3

Carga a través de la trayectoria 3-3:

$$W_{3-3} = (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v = 38272.518 \text{ lb}_f$$

$$L_{3-3} = F_o + F_g = 101983.95 \text{ lb}_f + 87179.2 \text{ lb}_f$$

$$L_{3-3} = 189163.15 \text{ lb}_f$$

$$L_{3-3} > \text{menor valor } (W, W_{3-3})$$

$$189163.15 \text{ lb}_f > \text{menor valor } (-31155.795 \text{ lb}_f ; 38272.518 \text{ lb}_f)$$

Se puede concluir que la carga en la soldadura en la trayectoria 3-3 es aceptable.

Fuerza permitida en juntas soldadas de MH2

(1) Filete de soldadura interno en corte

$$F_i = \frac{\pi}{2} \cdot D_{on} \cdot Leg \cdot S_i$$

$$F_i = \frac{\pi}{2} \cdot 20 \text{ in} \cdot 0.49 \cdot 15700 \text{ psi}$$

$$F_i = 60420.68 \text{ lb}_f$$

(2) Filete de soldadura externo en corte

$$F_o = \frac{\pi}{2} \cdot D_p \cdot Leg \cdot S_o$$

$$F_o = \frac{\pi}{2} \cdot 25.5 \text{ in} \cdot 0.49 \cdot 15700 \text{ psi}$$

$$F_o = 98135.5 \text{ lb}_f$$

(3) Pared de la boca en corte

$$F_n = \frac{\pi}{2} \cdot D_m \cdot t_n \cdot S_n$$

$$F_n = \frac{\pi}{2} \cdot 19.8125 \text{ in} \cdot 0.7 \cdot 0.1875 \cdot 15700 \text{ psi}$$

$$F_n = 64129.54 \text{ lb}_f$$

(4) Soldadura de bisel en tensión

$$F_g = \frac{\pi}{2} \cdot D_{on} \cdot t_w \cdot S_g$$

$$F_g = \frac{\pi}{2} \cdot 20 \text{ in} \cdot 0.1875 \text{ in} \cdot 0.74 \cdot 20000 \text{ psi}$$

$$F_g = 87179.2 \text{ lb}_f$$

(5) Soldadura superior del bisel en tensión

$$F_{ug} = \frac{\pi}{2} \cdot D_{on} \cdot t_w \cdot S_g$$

$$F_{ug} = \frac{\pi}{2} \cdot 20 \text{ in} \cdot 0.25 \text{ in} \cdot 0.74 \cdot 20000 \text{ psi}$$

$$F_{ug} = 116238.93 \text{ lb}_f$$

Carga total de soldadura

$$W = [A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1}(E_1 \cdot t - F \cdot t_r)] \cdot S_v = -2344.854 \text{ } lb_f$$

Trayectoria 1-1

Carga a través de la trayectoria 1-1:

$$W_{1-1} = (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v = 32150.901 \text{ } lb_f$$

$$L_{1-1} = F_n + F_o = 64129.54 \text{ } lb_f + 98135.5 \text{ } lb_f$$

$$L_{1-1} = 162265.04 \text{ } lb_f$$

$$L_{1-1} > \text{menor valor } (W, W_{1-1})$$

$$162265.04 \text{ } lb_f > \text{menor valor } (-2344.854 \text{ } lb_f ; 32150.901 \text{ } lb_f)$$

Se puede concluir que la carga en la soldadura en la trayectoria 1-1 es aceptable.

Trayectoria 2-2

Carga a través de la trayectoria 2-2:

$$W_{2-2} = (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v = 4504.807 \text{ } lb_f$$

$$L_{2-2} = F_i + F_g + F_{ug} = 60420.68 \text{ } lb_f + 87179.2 \text{ } lb_f + 116238.93 \text{ } lb_f$$

$$L_{2-2} = 263838.8 \text{ } lb_f$$

$$L_{2-2} > \text{menor valor } (W, W_{2-2})$$

$$263838.8 \text{ } lb_f > \text{menor valor } (-2344.854 \text{ } lb_f ; 4504.807 \text{ } lb_f)$$

Se puede concluir que la carga en la soldadura en la trayectoria 2-2 es aceptable.

### Trayectoria 3-3

Carga a través de la trayectoria 3-3:

$$W_{3-3} = (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v = 33254.807 \text{ lb}_f$$

$$L_{3-3} = F_o + F_g = 60420.68 \text{ lb}_f + 87179.2 \text{ lb}_f$$

$$L_{3-3} = 173690.8 \text{ lb}_f$$

$$L_{3-3} > \text{menor valor } (W, W_{3-3})$$

$$173690.8 \text{ lb}_f > \text{menor valor } (-2344.854 \text{ lb}_f ; 33254.807 \text{ lb}_f)$$

Se puede concluir que la carga en la soldadura en la trayectoria 3-3 es aceptable.

#### 4.3.7 CÁLCULO DE LAS OREJAS DE IZAJE

Las orejas de izaje son elementos de sujeción del recipiente a presión que tienen el objetivo de proporcionar puntos de apoyo para elevar, transportar y localizar al recipiente en el sitio donde va operar.

Para el dimensionamiento de las orejas de izaje mediante el Pressure Vessel Handbook, es necesario calcular el peso del equipo vacío con el fin de conocer la carga que deberá ser capaz de soportar realizando las siguientes consideraciones:

- El ángulo de elevación debe ser máximo de 45°.
- La resistencia mínima a la tensión de las orejas es de 70000 psi.
- La dirección de la fuerza está en el plano de las orejas.

#### Cálculo del peso del recipiente en vacío y sus accesorios

Peso del cuerpo

Utilizando la tabla Weight of shells and heads del Pressure Vessel Handbook (Megyesy, 2001) se obtuvo que el peso del cuerpo del recipiente es:  $W_C = 161 \frac{lb}{ft}$

$$W_{Cuerpo} = W_C * (L_{ss} + 2 \cdot sf)$$

$$W_{Cuerpo} = 161 \frac{lb}{ft} * (35.67 + 2 \cdot 0.125) ft$$

$$W_{Cuerpo} = 5783.12 lb$$

#### Peso de las cabezas

Utilizando la tabla Weight of shells and heads del Pressure Vessel Handbook (Megyesy, 2001) se obtuvo que el peso de las cabezas del recipiente, sin considerar el lado recto es:  $W_{cab} = 257 lb$

#### Peso del recipiente vacío

$$W_{rec} = W_{Cuerpo} + 2 W_{cab} = 6297.12 lb$$

Por lo tanto, el peso total del recipiente y sus accesorios lo muestra la siguiente tabla:

**Tabla 40.**

#### Pesos de los diferentes componentes del recipiente

Componentes	Cantidad	Peso (lb)
Cuerpo del recipiente	1	5783.12
Cabezas del recipiente	2	514.00
Blaffles	3	505.67
Anillos de rigidez	7	245.55
Manhole	2	146.00
Trampa primaria	1	81.00

Continúa 

<b>Soporte para el Eliminator D</b>	1	357.15
<b>Portallantas</b>	1	201.06
<b>Escalera</b>	1	62.83
<b>Soporte del King-pin</b>	1	1126.12
<b>Soporte de la pata telescópica</b>	1	432.99
<b>Chasis</b>	1	2450.22
<b>TOTAL</b>		<b>11905.72</b>

**Fuente:** Autoras

Utilizando las tablas del Pressure Vessel Handbook se obtuvo que las dimensiones de las orejas para soportar un peso de 11905.72 lb son:

**Tabla 41.**

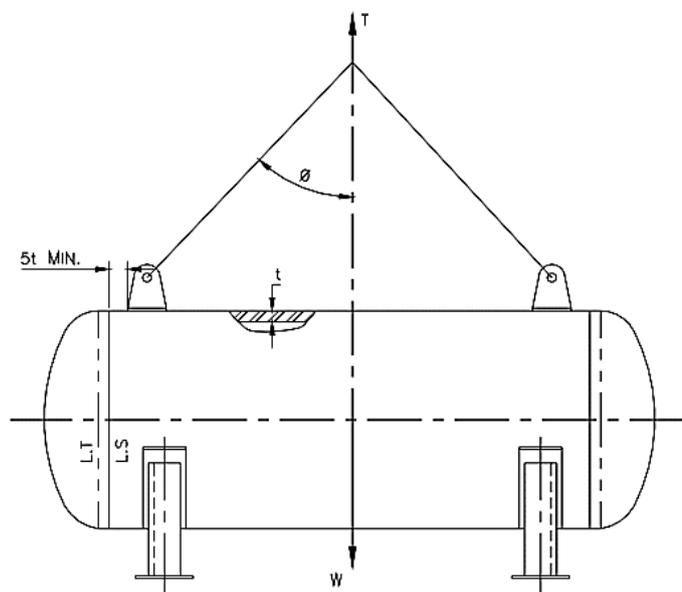
Dimensionamiento de las orejas de izaje

Peso del recipiente vacío (Lbs)	D (in)	T(in)	R(in)	H(in)	L(in)	Soldadura mínima
12000	1	1/2	1 1/2	5	10	T/4

**Fuente:** (Megyesy, 2001)

Las orejas de izaje deben estar localizadas al menos a cinco espesores de las costuras del cuerpo como se muestra en la siguiente figura. En este

caso, se consideró aproximadamente una longitud media entre la costura y el anillo de refuerzo, esta es 22" (559mm).



**Figura 72.** Localización de las orejas de izaje  
**Fuente:** (Megyesy, 2001)

A fin de asegurar que el espesor sea el requerido para soportar todo el peso del recipiente vacío se realiza la siguiente comprobación:

Material utilizado para las orejas de izaje: SA 36

Datos:

$\tau_{max}$  = Esfuerzo cortante máximo

$S_y$  = Esfuerzo a la fluencia del material = 36000 psi

$W$  = Peso total del recipiente

$W_o$  = Peso en cada una de las orejas de izaje

$V$  = Cortante máxima

$FS$  = Factor de seguridad = 1.44

$T_o$  = Espesor de las orejas de izaje en la zona crítica

$A$  = Área requerida

$R$  = Radio de las orejas de izaje en la zona crítica

$T$  = Espesor de la oreja de izaje

$$\frac{W}{2 \cdot R \cdot T_o} \leq 0.4Sy$$

$$\tau_{max} = 0.4Sy = 14400 \text{ psi}$$

$$W_o = \frac{W}{2 \text{ sen } (45)} = 8418.62 \text{ lb}$$

$$V = FS * W_o = 12122.81 \text{ lb}$$

$$A_1 = \frac{V}{\tau_{max}} = 0.84 \text{ in}^2$$

Espeor requerido

$$T_o = \frac{A_1}{2R} = 0.28 \text{ in}$$

$T > T_o$  Entonces el espeor es el aprobado.

$$0.5 > 0.28$$

Dimensionamiento de la soldadura requerida

Datos:

$Q =$  Carga sobre el filete por pulgada lineal de soldadura

$W_o =$  Peso en cada una de las orejas de la soldadura = 8418.62 lb

$L =$  Longitud del cordón de soldadura = 10 in

$$Q = \frac{W_o}{L} = 841.862 \frac{\text{lb}}{\text{in}}$$

Filete requerido de soldadura

Datos:

$$Q = \text{Carga sobre el filete por pulgada lineal de soldadura} = 841.862 \frac{\text{lb}}{\text{in}}$$

$$q = \text{Filete requerido de soldadura}$$

$$f = \text{Esfuerzo permisible del material de soldadura} = 11200 \text{ psi}$$

$$q = \frac{Q}{f} = 0.075 \text{ in}$$

Grado ASTM del metal base	Electrodo	Esfuerzo cortante admisible	Fuerza admisible por pulgada de lado
<b>Estructuras de edificios:</b>			
A36, A441	E60	13 600 psi	9600 lb/pulg
A36, A441	E70	15 800 psi	11 200 lb/pulg
<b>Estructuras de puentes</b>			
A36	E60	12 400 psi	8800 lb/pulg
A441, A242	E70	14 700 psi	10 400 lb/pulg

**Figura 73.** Esfuerzos cortantes y fuerzas sobre soldaduras  
**Fuente:** (Mott, 2006)

Por lo tanto se realizarán filetes de  $\frac{1}{4} \text{ in}$  que es el mínimo espesor requerido según el WPS aplicado.

#### 4.4 SELECCIÓN DE LA BOMBA

La bomba de vacío está diseñado para extraer moléculas de gas de un volumen sellado, en este caso el recipiente del camión de vacío, formando un vacío parcial y a su vez son capaces de producir una presión positiva dentro de un tanque de carga de vacío cuando se opera en el modo de presión (inversa).

Las bombas de vacío se caracterizan por tres aspectos fundamentales, los cuales son los principales criterios de selección:

- Máximo nivel de vacío
- Capacidad de flujo de aire
- Potencia requerida

Estos factores no dependen sólo de la bomba utilizada, sino también del recipiente y fluido a evacuar. En general, la mejor bomba para un trabajo específico es la que tiene la mayor capacidad de bombeo al nivel de vacío requerido y operando dentro de un rango de potencia aceptable.

Para la selección adecuada de una bomba se establece lo siguiente:

- ¿Qué capacidad de flujo se requiere (pies cúbicos por minuto)?

La bomba debe tener la capacidad suficiente para lograr la eliminación del volumen de aire del recipiente produciendo la succión del fluido a la velocidad requerida.

Para establecer la capacidad de la bomba es necesario conocer el volumen de aire que debe ser extraído del recipiente, el tiempo que demora en succionar el volumen de fluido y las presiones máximas de vacío y del sistema.

Volumen extraído

### Cuerpo

Datos:

$$ID = 60 \text{ in} = 1524 \text{ mm}$$

$$OD = 60.5 \text{ in} = 1536.7 \text{ mm}$$

$$L_{ss} = 35.67 \text{ ft} = 10871 \text{ mm}$$

$$s_f = 1.5 \text{ in} = 38.1 \text{ mm}$$

$$icr = 8 \text{ in} = 203.2 \text{ mm}$$

$$V_{cuerpo} = \frac{\pi \cdot ID^2}{4} \cdot (L_{ss} + 2s_f)$$

$$V_{cuerpo} = 705.22 \text{ ft}^3$$

### Cabezas

Para el cálculo del volumen de las cabezas se utilizó la siguiente fórmula:

$$V_{cab} = ID^3 \cdot C \cdot \frac{\pi}{12} \left[ 3 \left( \frac{h}{D_i} \right)^2 - 2 \left( \frac{h}{D_i} \right)^3 \right] = 14.2 \text{ ft}^3$$

Donde C es:

$$C = 0.30939 + 1.7197 \cdot \frac{(icr - 0.06 \cdot OD)}{ID} - 0.16116 \cdot \frac{t}{OD} + 0.98997 \left( \frac{t}{OD} \right)^2$$

$$C = 0.43$$

Volumen Total

$$V_T = V_{cuerpo} + 2 \cdot V_{cab}$$

$$V_T = 705.22 + 2 \cdot 14.2$$

$$V_T = 733.63 \text{ ft}^3$$

Mediante la siguiente ecuación se determina la capacidad:

$$S = \frac{V}{t} \ln \left( \frac{P_1}{P_2} \right)$$

Donde:

$S = \text{Capacidad de bombeo (CFM)}$

$V = \text{Volumen del recipiente (ft}^3\text{)}$

$t =$  tiempo (min)

$P_1 =$  Presión máxima de vacío expresado en unidades absolutas (Torr)

$P_2 =$  Presión de vacío del sistema expresado en unidades absolutas (Torr)

$$S = \frac{733.63}{5} \ln\left(\frac{760}{150.36}\right)$$

$$S = 237.74 \text{ CFM}$$

En general, para dar cabida a posibles fugas, el vacío seleccionado de la bomba debe tener una capacidad nominal de 10 a 25 por ciento por encima de la tasa de eliminación de aire en realidad requerido. Por lo que la capacidad de la bomba, considerando el caso más crítico sería:

$$S = 237.74 \text{ CFM} * 1,25\%$$

$$S = 297.17 \text{ CFM}$$

El tamaño óptimo de la bomba para una aplicación se determina mediante la comparación de la velocidad a la cual el aire debe ser eliminado del sistema con la capacidad de las distintas bombas comerciales disponibles.

La bomba seleccionada es una bomba de paletas deslizantes de la marca Fruitland. Las principales características de este tipo de bomba que se utilizan en los camiones de vacío son:

- Diseñada principalmente para la transferencia de hidrocarburos líquidos en camiones de vacío con capacidades entre 1000 a 12000 galones.
- Cuenta con un sistema de lubricación que permite más de 16 horas de funcionamiento por un galón de aceite.

	<b>RCF250</b>	<b>RCF370</b>	<b>RCF500</b>	<b>RCF800</b>	<b>RCF1200</b>
1 litre	12 hr	4.4 hr	4.4 hr	6.0 hr	4.2 hr
1 Imp. Gal.	55 hr	20 hr	20 hr	27 hr	19 hr
1 US Gal.	45 hr	16.6 hr	16.6 hr	22.4 hr	15.8 hr

**Figura 74.** Consumo de combustible aproximado  
**Fuente:** (FRUITLAND Manufacturing, 2013).

- Posee un filtro de aire a la entrada de la bomba que la protege al trabajar en presión o vacío.
- La refrigeración de la bomba es por medio de un ventilador de alta resistencia que se encuentra en el extremo del accionamiento de la bomba, protegiendo a sus elementos de altas temperaturas.

**Tabla 42.**

Especificaciones de la Bomba de vacío

<b>BOMBA DE VACÍO</b>	
<b>Flujo de aire a 18"Hg:</b>	320 CFM
<b>Vacío máximo:</b>	28,5 "Hg
<b>Diámetro de las mangueras:</b>	3"
<b>Velocidad de operación:</b>	1400 RPM
<b>Número de paletas:</b>	8
<b>Peso neto de la bomba:</b>	450 lbs
<b>Proveedor :</b>	Fruitland
<b>Modelo :</b>	RCF 500

**Fuente:** (FRUITLAND Manufacturing, 2013)

Para eliminar costos de montaje e instalación del sistema de accionamiento se seleccionó el Eliminator Serie D, ya que el kit viene listo para ser instalado en cualquier ubicación del remolque, el cual incluye:

- Una bomba de vacío RCF 500.
- Un motor Diesel Deutz (48 HP @ 2800 rpm)
- Un tanque de combustible Diésel de 20 galones (76 litros).

- Un panel de control análogo con indicador de combustible eléctrico.
- Una trampa de aceite de alta eficiencia
- Una batería de 12 V.

Para determinar la potencia requerida de la bomba, se debe considerar que al elegir el ELIMINATOR D, no existe ningún problema de selección ya que la combinación está diseñado para funcionar como una unidad. La bomba está literalmente construido alrededor del motor. Ver Anexo 6. Catálogo Fruitland Manufacturing. Eliminator D

## **4.5 SELECCIÓN DE LOS ACCESORIOS**

### **4.5.1 TRAMPA DE CIERRE PRIMARIA (PRIMARY SHUT-OFF)**

La trampa de cierre primaria es una de las partes más importantes del camión de vacío porque es la principal protección para minimizar el riesgo de que el fluido sea arrastrado hasta la bomba de vacío cuando el recipiente alcanza el máximo nivel de llenado.

Existen diferentes proveedores de este tipo de accesorios que ofertan trampas con las siguientes características.

- Diámetro: trampas de 8 a 20 in.
- Material: aluminio, acero al carbono, y acero inoxidable.
- Conexión: 3", 4", 6" NPT.

La selección se la realizó considerando estas opciones y basándose en las siguientes necesidades y parámetros:

- La trampa primaria al estar soldada directamente al recipiente debe cumplir con las normas ASME, ser capaz de operar tanto bajo condiciones de vacío como bajo presión.

- Para facilitar la soldadura de este componente al recipiente es recomendable que este sea del mismo material de fabricación.
- Con el fin de utilizar la capacidad total de la bomba de vacío, todas las instalaciones de tuberías deben tener un diámetro interior mínimo igual al NPT de la bomba de vacío.
- Permitir un fácil desensamble de los componentes internos propiciado que pueda ser utilizada como una boca de inspección adicional y que sus elementos sean fácilmente intercambiables.

Se decidió elegir una trampa de cierre primario de 20" de diámetro, de acero al carbono, con conexión 3" NPT, asegurada por tuercas de mariposa y diseñada bajo el código ASME. Ver Anexo 6. Catálogo NVE. Trampa Primaria

Las trampas primarias de categoría ASME independientemente del diámetro han sido diseñadas bajo el código con una presión de diseño de 40 psi y 380 CFM.

#### **Tabla 43.**

Especificaciones de la Trampa Primaria

<b>TRAMPA DE CIERRE PRIMARIO</b>	
<b>Código:</b>	ASME VIII Div.1
<b>Diámetro:</b>	20"
<b>Material:</b>	Acero al Carbono
<b>Conexión :</b>	3" NPT
<b>Proveedor :</b>	NVE
<b>Modelo :</b>	242-2006-3NPT Category ASME
<b>Fuente:</b> (National Vacuum Equipment, 2014)	

#### **4.5.2 TRAMPA DE CIERRE SECUNDARIA (SECONDARY SHUT-OFF)**

La trampa de cierre secundaria le brinda una segunda protección a la bomba, en caso de que la trampa primaria falle.

Este accesorio es ofertado bajo las siguientes características:

- Volumen: 10, 12, 14, 25 Gal
- Material: aluminio, acero al carbono y acero inoxidable.
- Caudal: dependiendo del volumen varía de 400 a 1000 CFM.
- Conexión: 2",3",4",6" NPT.

Para la selección de la trampa de cierre secundario se tomó como parámetros principales el flujo de aire generado por la bomba, y el diámetro interior de la manguera, la cual debe tener un diámetro igual al NPT de la bomba de vacío para garantizar la disponibilidad de la capacidad total de la misma.

De acuerdo a estas características se eligió una trampa secundaria de 10 galones, acero al carbono con un flujo volumétrico de 400 CFM, que satisface el requerimiento de la bomba de vacío y con una conexión de 3" NPT. Ver Anexo 6. Catálogo NVE. Trampa Secundaria.

#### Tabla 44.

#### Especificaciones de la Trampa Secundaria

<b>TRAMPA DE CIERRE SECUNDARIA</b>	
<b>Flujo de aire máximo:</b>	400 CFM
<b>Capacidad @400CFM:</b>	10 Gal.
<b>Material:</b>	Acero al Carbono
<b>Conexión :</b>	3" NPT
<b>Proveedor :</b>	NVE
<b>Modelo :</b>	216-100-3NPT-C1 Category Non-Code

**Fuente:** (National Vacuum Equipment, 2014)

### 4.5.3 ABERTURA DE ACCESO (MANHOLE)

Esta abertura permite el acceso al recipiente ya sea para tareas de inspección, mantenimiento o reparación y puede ser utilizada como venteo de emergencia.

Este accesorio que se encuentra en el mercado tiene las siguientes características:

- Diámetro: 12", 20"
- Material: aluminio, acero al carbono y acero inoxidable.
- Tapa superior: aseguradas con tuercas de mariposa o con una palanca de levas.

La selección se basó en el Código ASME Sección XII Apéndice I y las DOT, en las cuales se especifica que se debe cumplir con lo siguiente:

ASME	DOT
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El recipiente de un camión de vacío debe tener una abertura de acceso capaz de soportar 36 psi o la presión de prueba, lo que sea mayor.</li> <li>▪ Cada abertura de acceso debe asegurarse con sujeciones que impidan la apertura de las tapas, como consecuencia de la vibración en las condiciones normales de transporte o impacto de choque debido a un accidente con vuelco</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Los recipientes con una capacidad mayor a 400 galones su diámetro debe ser de al menos 15".</li> </ul>

Por lo tanto, se seleccionó una abertura de acceso de 20" de diámetro, acero al carbono, cuya tapa está asegurada por tuercas de mariposa y está diseñada bajo el código ASME. Ver Anexo 6. Catálogo NVE. Manhole.

**Tabla 45.**

Especificaciones de la Abertura de acceso

<b>MANHOLE</b>	
<b>Código:</b>	ASME VIII Div.1
<b>Diámetro:</b>	20"
<b>Material:</b>	Acero al Carbono
<b>Proveedor :</b>	NVE
<b>Modelo :</b>	242-2006 Category ASME

**Fuente:** (National Vacuum Equipment, 2014)

#### 4.5.4 VÁLVULAS DE SUCCIÓN Y DESCARGA

Las válvulas utilizadas para la succión y descarga cumplen la función de controlar el flujo. Los criterios con los cuales se seleccionaron las válvulas son los siguientes:

Según el código API 2219, las tuberías de succión y descarga más comúnmente usadas en facilidades petroleras son de diámetros de 3" o 4".

La selección de una válvula implica determinar su tipo y diseño, dimensiones de acuerdo a la presión de trabajo, el tipo de ensamblaje a la línea de cañerías y el material.

Al requerir que la válvula cumpla la función de abrir y cerrar el paso el flujo se seleccionó una válvula de bola bridada para facilitar su instalación durante el montaje y su mantenimiento y con cara plana (FF) debido a que el equipo maneja bajas presiones.

Al ser una válvula con conexión bridada, de acuerdo a la temperatura de trabajo y la presión de prueba hidrostática, 150°F y 52 psi respectivamente, se determina la clase de la brida en este caso Clase 150 lb, como lo indica la tabla a continuación:

Maximum Allowable non-shock Pressure (psig)							
Temperature (°F)	Pressure Class (lb)						
	150	300	400	600	900	1500	2500
	Hydrostatic Test Pressure (psig)						
	450	1125	1500	2225	3350	5575	9275
-20 to 100	290	750	1000	1500	2250	3750	6250
200	260	750	1000	1500	2250	3750	6250
300	230	730	970	1455	2185	3640	6070
400	200	705	940	1405	2110	3520	5865
500	170	665	885	1330	1995	3325	5540
600	140	605	805	1210	1815	3025	5040
650	125	590	785	1175	1765	2940	4905
700	110	555	740	1110	1665	2775	4630
750	95	505	675	1015	1520	2535	4230
800	80	410	550	825	1235	2055	3430
850	65	320	425	640	955	1595	2655
900	50	225	295	445	670	1115	1855
950	35	135	185	275	410	685	1145
1000	20	85	115	170	255	430	715

**Figura 75.** Máximos rangos de presión y temperatura  
**Fuente:** (ASME, B16.34)

Por lo tanto la válvula seleccionada es una válvula de bola bridada de 4" FP y 150#. Ver Anexo 6. Catálogo PINACLE. Válvula de bola.

#### Tabla 46.

Especificaciones de las Válvulas de carga y descarga

VÁLVULA DE SUCCIÓN Y DESCARGA	
<b>Diámetro de la válvula:</b>	4"
<b>Conexión :</b>	Bridada
<b>Clase de la conexión:</b>	150#
<b>Restricción de flujo:</b>	FP
<b>Material del cuerpo:</b>	ASTM A351 Gr CF8M
<b>Material de la bola</b>	ASTM A351 Gr CF8M
<b>Conexión final:</b>	Bridada FF
<b>Material del asiento:</b>	PTFE
<b>Tipo de actuador:</b>	Manual
<b>Tamaño de la tubería:</b>	4"
<b>Proveedor :</b>	PINACLE
<b>Modelo :</b>	13FV24

**Fuente:** (PINACLE , s.f)

#### **4.5.5 VACUÓMETRO**

Los vacuómetros son instrumentos capaces de medir los cambios de presión transformándolo en movimiento mecánico de tal manera que puedan ser visualizados en una escala graduada según las necesidades del usuario.

Para la selección adecuada del instrumento de medición se debe considerar las condiciones de operación del recipiente y el ambiente donde será instalado. Los criterios que se tomaron en cuenta para la selección del vacuómetro del camión de vacío son los siguientes:

- El proceso de succión y descarga no requiere de una alta precisión de medición ya que no opera en condiciones críticas.
- El material de la carcasa debe ser resistente debido a que se lo usará a la intemperie.
- Con el fin de garantizar una fácil lectura del instrumento, la conexión estará localizada en la parte inferior del vacuómetro.

Considerando los criterios anteriores y los rangos comerciales disponibles, las características del vacuómetro seleccionado son: precisión 3%, acero inoxidable, diámetro del indicador 2", conexión inferior y rango de presión de 30"Hg-30psi. Ver Anexo 6. Medidor de presión y vacío.

#### **4.5.6 INDICADOR DE NIVEL DE TUBO**

Es un medidor directo que se utiliza para determinar el nivel de líquido dentro del tanque de proceso, apto para trabajar en ambientes severos y con la capacidad de soportar altas temperaturas y presión.

Para la selección del indicador de nivel se tomó en consideración los siguientes aspectos:

- El tubo del medidor debe ser transparente para visualizar el nivel de líquido a distancia.
- El material del indicador de nivel debe tener una alta durabilidad y ser capaz de resistir impacto.
- Debe ser fácilmente desmontable para la limpieza y mantenimiento sin alterar el sistema.
- El fluido de trabajo puede llevar consigo materiales sólidos que pueden obstruir el paso hasta el indicador de tubo por lo que las tuberías y válvulas deben tener conexiones de diámetro mayor al de los indicadores de tubo comúnmente usados para líquidos.

Por lo que para medir el nivel del crudo en el recipiente se observará directamente la altura sobre una escala graduada utilizando un tubo de Policarbonato que son ofertados generalmente en diámetros exteriores de  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{5}{8}$ ",  $\frac{3}{4}$ ", 1" y  $1\frac{1}{2}$ " y longitudes de hasta 96", además de soportar temperaturas de hasta 200°F por lo que se seleccionó un tubo de  $1\frac{1}{2}$ " y de una longitud de 47".

Este tipo de indicadores de nivel consiste en un tubo con sus extremos conectados al tanque mediante tuberías y válvulas. El indicador consta de dos válvulas de bola de 2" que servirán para cerrar el paso del fluido y desconectar el medidor del proceso, y de tees de "2" que ayudarán al ensamble del indicador de nivel con un tapón inferior que servirá de purga. Ver Anexo 6. Indicador de nivel de tubo.

#### **4.5.7 VÁLVULA DE ALIVIO DE PRESIÓN Y VACÍO**

Todos los recipientes de carga deben estar equipados con una válvula de alivio de presión y vacío diseñada a la capacidad adecuada para prevenir el colapso o ruptura del recipiente debido a la sobrepresión o vacío resultante de la carga y descarga o cambios de temperatura.

Para realizar la selección adecuada de una válvula de alivio de presión y vacío se debe calcular la capacidad de venteo necesaria para aliviar completamente el sistema, determinando el área expuesta que es la superficie de contacto entre el líquido y la pared del recipiente.

Para este cálculo se puede aproximar el área de la cabeza toriesférica usando la fórmula para cabezas semi-elípticas. Esta aproximación es una sobrestimación debido a una cabeza toriesférica es más plana que una cabeza elipsoidal, siendo una solución conservativa.

Cálculo del área expuesta:

#### ÁREA EXPUESTA EN LA CABEZA

Datos:

$$D_i = 60 \text{ in} = 1524 \text{ mm}$$

$$h = 55.8 \text{ in} = 1417.32 \text{ mm}$$

$$z = 15.32 \text{ in} = 389.13 \text{ mm}$$

$$A_w = \frac{\pi \cdot D_i^2}{8} \cdot \left[ \left( \frac{h}{D_i} - 0.5 \right) \cdot B + 1 + \frac{1}{4 \cdot \varepsilon} \ln \left( \frac{4 \cdot \varepsilon \cdot \left( \frac{h}{D_i} - 0.5 \right) + B}{2 - \sqrt{3}} \right) \right]$$

Donde:

$D_i$  = Diámetro interior del recipiente

$h$  = Altura de llenado

$z$  = Longitud de la cabeza del recipiente

$$\varepsilon = \sqrt{1 - \frac{4 \cdot z^2}{D_i^2}}$$

$$B = \sqrt{1 + 12 \cdot \left(\frac{h}{D_i} - 0.5\right)^2}$$

Entonces:

$$\varepsilon = \sqrt{1 - \frac{4 \cdot z^2}{D_i^2}} = 0.859$$

$$B = \sqrt{1 + 12 \cdot \left(\frac{h}{D_i} - 0.5\right)^2} = 1.794$$

$$A_w = \frac{\pi \cdot D_i^2}{8} \left[ \left(\frac{h}{D_i} - 0.5\right) B + 1 + \frac{1}{4 \cdot \varepsilon} \ln \left( \frac{4 \cdot \varepsilon \cdot \left(\frac{h}{D_i} - 0.5\right) + B}{2 - \sqrt{3}} \right) \right]$$

$$A_w = 2279796 \text{ mm}^2 = 24.54 \text{ ft}^2$$

## ÁREA EXPUESTA EN EL CUERPO CILÍNDRICO

Datos:

$$R = \frac{D_i}{2} = 30 \text{ in} = 762 \text{ mm}$$

$$L = 431 \text{ in} = 10947.4 \text{ mm}$$

$$A_p = 2 \cdot L \cdot R \cdot \cos^{-1} \left( \frac{R - h}{R} \right)$$

Donde:

$L =$  Longitud del cuerpo entre tangentes

$R = \frac{D_i}{2} =$  Radio interior del recipiente

Entonces:

$$A_p = 2 \cdot L \cdot R \cdot \cos^{-1} \left( \frac{R - h}{R} \right) = 43479182 \text{ mm}^2$$

$$A_p = 468.006 \text{ ft}^2$$

## ÁREA EXPUESTA DEL RECIPIENTE

$$A_T = A_p + 2 \cdot A_w = 517.085 \text{ ft}^2$$

Una vez obtenida el área expuesta, se puede obtener la capacidad de venteo mínima que deberá poseer la válvula interpolando los datos de la tabla que se presenta a continuación:

**Tabla 47.**

Mínima capacidad de venteo

Tabla 1-1.8 Capacidad de Venteo Mínima de Emergencia (Interpolación Permitida)	
Área Expuesta, $\text{ft}^2$	SCFH
20	15800
30	23700
40	31600
50	39500
60	47400
70	55300
80	63300
90	71200
100	79100
120	94900
140	110700
160	126500
180	142500
200	158100
225	191300
250	203100
275	214300
300	225100

Continúa 

350	245700
400	365000
450	283200
500	300000
550	317300
600	333300
650	348800
700	363700
750	378200
800	392200
850	405900
900	419300
950	432300
1000	445000

Notas generales: Los valores están en pies cúbicos por hora de aire libre a 60°F y una atmósfera (SCFH)

**Fuente:** (ASME, 2013)

Interpolando, la capacidad de venteo necesaria es:

$$\frac{500 - 517.085}{500 - 550} = \frac{300000 - x}{300000 - 317300}$$

$$x = 305911.433 \text{ SCFH}$$

Con base en los resultados obtenidos se eligió una válvula que proporciona esta capacidad de venteo para la presión de prueba hidrostática según el Código ASME.

La presión de seteo de la válvula de alivio no deberá ser inferior al 120% de la MAWP y no más del 132% de la MAWP. La válvula deberá volver a cerrar a no menos de 108% de MAWP y permanecerá cerrado a presiones inferiores.

M.A.W.P	SET PRESSURE	RESET PRESSURE
25	30 – 33	27 – 29.7
30	36 - 39.6	32.4 – 35.6
35	42 – 46.2	37.8 – 41.6
40	48 – 52.8	43.2 - 47.5

**Figura 76.** Presiones de seteo y reseteo de la válvula.

**Fuente:** (Girard Equipment USA, 2014).

Se seleccionó una válvula de alivio de presión y vacío combinada, diseñada y fabricada bajo el código DOT 407 que a su vez forma parte de la Sección XII del Código ASME. Ver Anexo 6. Válvula de alivio

A continuación se presentan las especificaciones de la válvula seleccionada:

**Tabla 48.**

Especificaciones de la Válvula de alivio de presión y vacío

VÁLVULA DE ALIVIO DE PRESIÓN Y VACÍO	
<b>Diámetro de la válvula:</b>	3"
<b>Conexión :</b>	Bridada
<b>Clase de la conexión:</b>	150#
<b>Material del cuerpo:</b>	Acero Inoxidable
<b>Material de las juntas:</b>	Teflón
<b>Capacidad de venteo:</b>	460443 SCFH
<b>Superficie expuesta:</b>	1061 ft <sup>2</sup>
<b>Proveedor :</b>	Girard
<b>Modelo :</b>	DOT3X407T / 402018

**Fuente:** (Girard Equipment USA, 2014)

#### 4.6 SELECCIÓN DEL CAMIÓN

El automotor seleccionado mediante las matrices de decisión fue un camión articulado que cuenta con un tracto camión y semirremolque, ya que

estos tipos de camiones son más versátiles pues permiten el desenganche del recipiente mediante la operación ahorrando tiempo.

La selección del camión que debería contener este tipo de equipos se la estableció considerando lo siguiente:

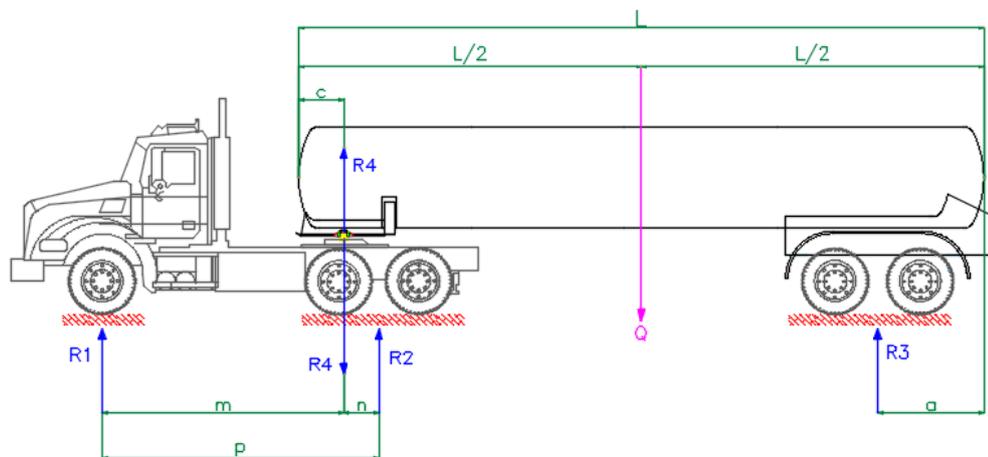
- El peso total del recipiente que deben soportar los ejes del camión.
- El accionamiento de la bomba de vacío será mediante un motor a Diésel, por lo que se necesita de un soporte que contenga a todo éste sistema, y que el recipiente a presión sea independiente del camión.
- La distancia que tendrá que recorrer el camión de vacío, suponiendo que éstas serán largas.

Por lo tanto se determinó que el camión más recomendable para este tipo de aplicaciones es un tracto camión de tres ejes, al cual se le acoplará un semirremolque autoportante. Para el diseño se consideró un camión con configuración 3S2, según la MTOP el semirremolque con eje tándem no deberán soportar una carga mayor a 20 Ton y las cargas máximas del tracto camión deberán ser repartidas 7 Ton en el eje delantero simple y 20 Toneladas en el eje tándem posterior.

A continuación se realizará un análisis de cargas en el que se verificará que el camión es adecuado para esta aplicación.

#### **4.6.1 CÁLCULO DE LAS REACCIONES EN CUMPLIMIENTO CON EL MTOP.**

Con el fin de garantizar el cumplimiento de los pesos y dimensiones establecidos por el MTOP se realiza el cálculo de la siguiente manera:



**Figura 77.** Esquema de las reacciones y cargas  
**Fuente:** Autoras

Donde:

$L$  = Longitud del recipiente incluidas las cabezas = 11.65 m

$a$  = Longitud desde el centro de los ejes del semirremolque al final de la cabeza = 1.686 m

$c$  = Longitud desde el king pin al final de la cabeza = 0.709 m

$p$  = Longitud entre los ejes delanteros y traseros del tracto camión = 4.394 m

$m$  = Longitud desde el eje delantero al king pin = 3.835 m

$n$  = Longitud desde el king pin al centro de los ejes posteriores del tracto camión = 0.559 m

$w$  = Carga distribuida que representa el peso del líquido =  $14193.46 \frac{N}{m}$

$Q$  = Carga puntual que representa el peso del líquido = 165368.94 N

$R_1$  = Reacción en el eje delantero del tracto camión

$R_2$  = Reacción en el centro de los ejes posteriores del tracto camión

$R_3$  = Reacción en el centro de los ejes del semirremolque

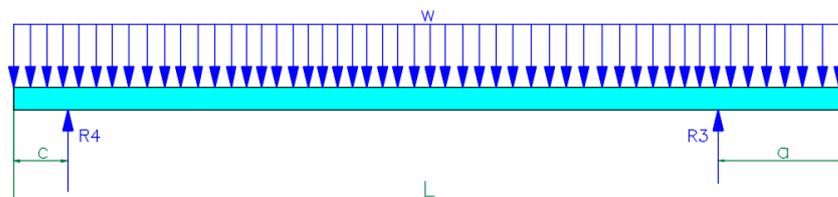
$R_4$  = Reacción en el king pin

Para determinar las reacciones, se realizaron las siguientes consideraciones:

- En la quinta rueda se produce una reacción sobre el semirremolque, la misma que en el cálculo de reacciones sobre el cabezal actuaría como una carga, por lo que se debe realizar un análisis separando los dos elementos.
- Para el cálculo de las reacciones sobre el semirremolque se contempla el recipiente cuando se encuentra vacío y la carga que ejerce el fluido al 96% de su capacidad.
- Para el cálculo de las reacciones sobre el cabezal, se toma en cuenta el peso propio, generalmente proporcionado por los fabricantes.

Cálculo de las reacciones considerando la carga que ejerce el fluido al 93% de su capacidad.

Tomando momentos respecto a la quinta rueda



**Figura 78.** Representación de las cargas sobre el semirremolque  
**Fuente:** Autoras

$$\sum M_{Qr} = 0$$

$$R_3(L - c - a) - Q\left(\frac{L}{2} - c\right) = 0$$

$$R_3 = \frac{Q\left(\frac{L}{2} - c\right)}{L - c - a}$$

$$R_3 = \frac{165368.94\left(\frac{11.65}{2} - 0.709\right)}{11.65 - 0.709 - 1.686}$$

$$R_3 = 91412.07 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_4 - Q + R_3 = 0$$

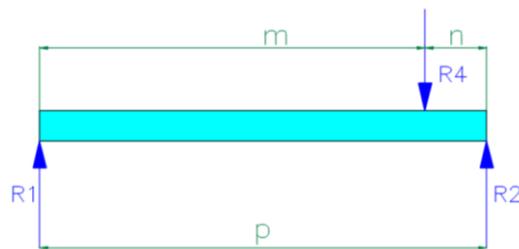
$$R_4 = Q - \frac{Q \left( \frac{L}{2} - c \right)}{L - c - a}$$

$$R_4 = \frac{Q \left( \frac{L}{2} - a \right)}{L - c - a}$$

$$R_4 = \frac{165368.94 \left( \frac{11.65}{2} - 1.686 \right)}{11.65 - 0.709 - 1.686}$$

$$R_4 = 73956.86 \text{ N}$$

Tomando momentos respecto a los ejes del cabezal



**Figura 79.** Representación de las cargas sobre los ejes del cabezal

**Fuente:** Autoras

$$\sum M_{eje 2} = 0$$

$$R_1 \cdot p - R_4 \cdot n = 0$$

$$R_1 = \frac{R_4 \cdot n}{p}$$

$$R_1 = \frac{73956.86 \cdot 0.559}{4.394}$$

$$R_1 = 9408.71 \text{ N}$$

$$\sum M_{eje 1} = 0$$

$$R_2 \cdot p - R_4 \cdot m = 0$$

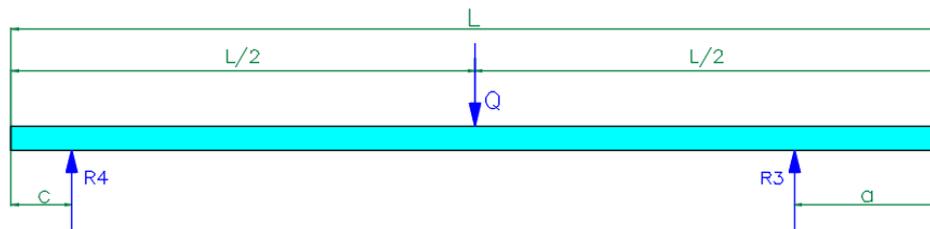
$$R_2 = \frac{R_4 \cdot m}{p}$$

$$R_2 = \frac{73956.86 \cdot 3.835}{4.394}$$

$$R_2 = 64548.15 \text{ N}$$

Cálculo de las reacciones considerando el recipiente vacío

Tomando momentos respecto a la quinta rueda



**Figura 80.** Representación de las cargas sobre el semirremolque  
Fuente: Autoras

$$\sum M_{Qr} = 0$$

$$R_3(L - c - a) - Q\left(\frac{L}{2} - c\right) = 0$$

$$R_3 = \frac{Q\left(\frac{L}{2} - c\right)}{L - c - a}$$

$$R_3 = \frac{82613.09\left(\frac{11.651}{2} - 0.709\right)}{11.651 - 0.709 - 1.686}$$

$$R_3 = 45666.58 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_4 - Q + R_3 = 0$$

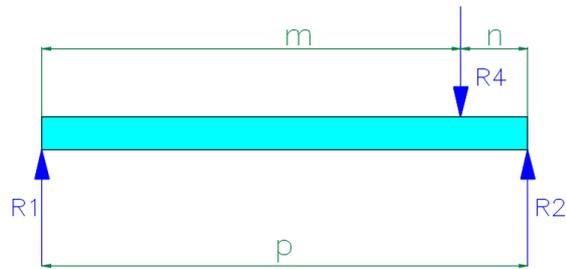
$$R_4 = Q - \frac{Q\left(\frac{L}{2} - c\right)}{L - c - a}$$

$$R_4 = \frac{Q\left(\frac{L}{2} - a\right)}{L - c - a}$$

$$R_4 = \frac{82613.09 \left( \frac{11.651}{2} - 1.686 \right)}{11.651 - 0.709 - 1.686}$$

$$R_4 = 36946.51 \text{ N}$$

Tomando momentos respecto a los ejes del cabezal



**Figura 81.** Reacciones en el tracto camión  
Fuente: Autoras

$$\sum M_{eje 2} = 0$$

$$R_1 \cdot p - R_4 \cdot n = 0$$

$$R_1 = \frac{R_4 \cdot n}{p}$$

$$R_1 = \frac{36946.51 \cdot 0.559}{4.394}$$

$$R_1 = 4700.30 \text{ N}$$

$$\sum M_{eje 1} = 0$$

$$R_2 \cdot p - R_4 \cdot m = 0$$

$$R_2 = \frac{R_4 \cdot m}{p}$$

$$R_2 = \frac{36946.51 \cdot 3.835}{4.394}$$

$$R_2 = 32246.21 \text{ N}$$

**Tabla 49.**

Reacciones en el camión

<b>REACCIONES (TM)</b>			
	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>
CAMIÓN (sin diésel)	4.69	3.99	--
RECIPIENTE	0.47	3.22	4.57
CRUDO (96% NIVEL)	0.94	6.45	9.14
TOTAL	6.10	13.67	13.71
LÍMITES DEL MTOP (Tipo 3S2)	7.00	20.00	20.00

**Fuente:** Autoras

## **CAPÍTULO 5**

### **GUÍA DE CALIDAD Y FABRICACIÓN**

#### **5.1 INTRODUCCIÓN**

La guía de calidad y fabricación comprende los procedimientos del Sistema de Control de Calidad que se empleará en la construcción del camión de vacío para la Industria Acero de los Andes basados en el código ASME.

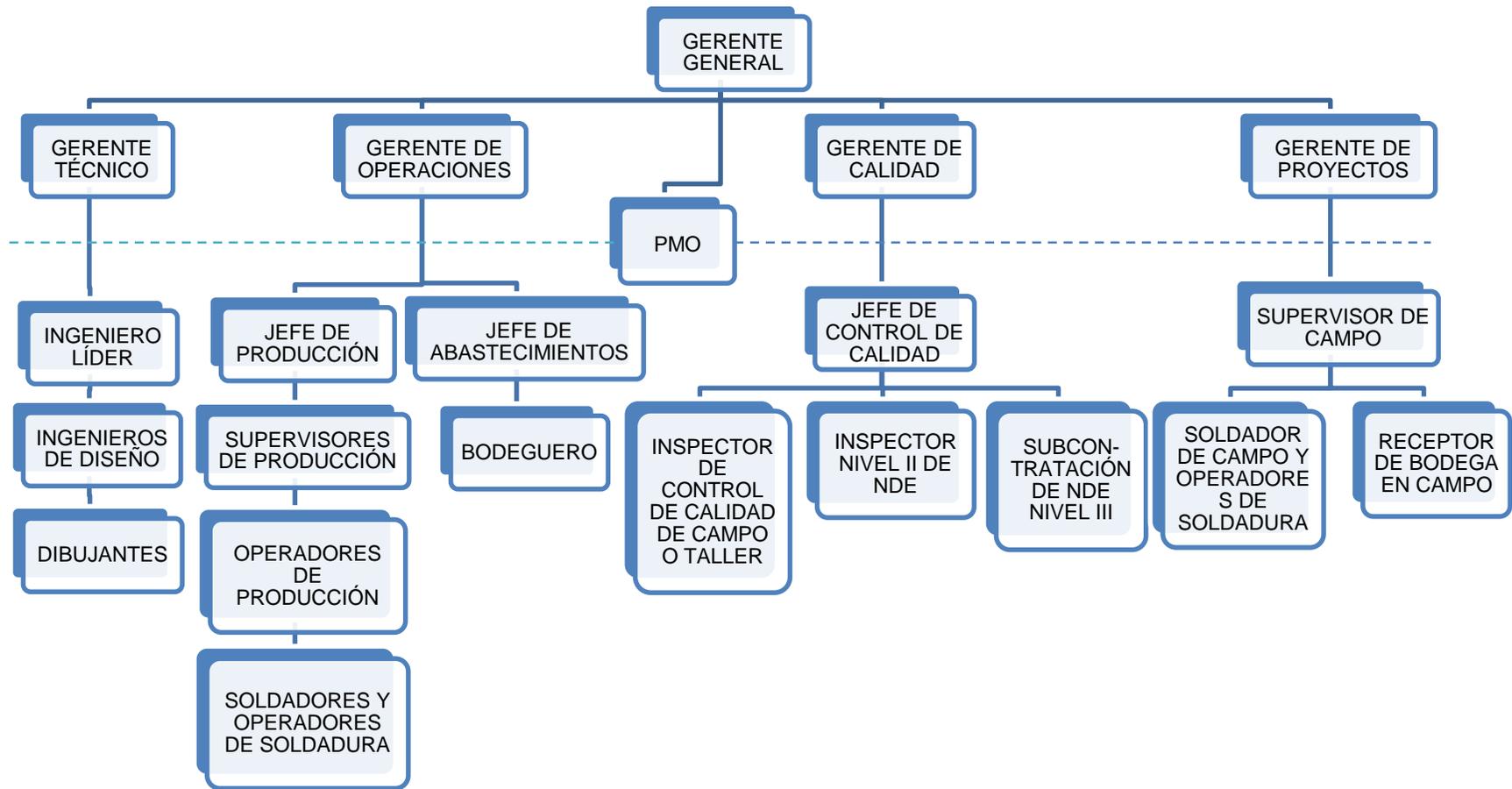
Servirá como una guía para que el proceso de fabricación se realice de manera adecuada y sea inspeccionado por el Departamento de Control de Calidad de IAA bajo las condiciones del código.

Establece todos los procedimientos a seguir desde el material en bruto hasta la culminación de la fabricación del camión.

#### **5.2 ORGANIGRAMA DE IAA**

En el organigrama se identifican y clasifican las actividades que se realizan en la empresa y los papeles que desarrollan quienes la conforman. Se pueden observar las interrelaciones entre los miembros de la organización, estableciendo un orden jerárquico y la función que deben cumplir.

A continuación se muestra el Organigrama de IAA para esclarecer las responsabilidades en el proceso de construcción del camión de vacío e identificar de forma oportuna a la persona que dirige el proceso.



### **5.3 CONTROL DE DISEÑO**

El objetivo es establecer un procedimiento basado en el Código de Construcción ASME Sección VIII Div.1 y asegurar que el proceso de fabricación se lleve a cabo con las últimas revisiones de los planos y cálculos.

#### **5.3.1 REQUISITOS DE DISEÑO.**

Los requisitos de diseño del recipiente a presión deben ser revisados y aprobados por el Ingeniero Líder mediante el formulario Requerimientos de Diseño de Usuario UDR (Anexo 8) para adaptar dichos requerimientos en base al Código.

El formulario UDR del camión de vacío describirá principalmente el tipo de servicio, dimensiones, las condiciones de operación del equipo, las condiciones de diseño y materiales de cada uno de los componentes, etc, permitiendo obtener un resumen de los principales requerimientos del cliente.

#### **5.3.2 RESPONSABILIDADES.**

Los responsables de la revisión y el control del diseño de acuerdo al Manual de Calidad ASME de la Industria Acero de los Andes (2013), están dados de la siguiente manera:

El Ingeniero de Diseño debe preparar todos los cálculos de diseño basados en los requerimientos de Código de Construcción y todas las cargas aplicables deben ser consideradas.

El Ingeniero Líder es responsable de revisar los cálculos de diseño y, cualquier documento que necesite corrección debe ser retornado al Ingeniero de Diseño.

El Gerente Técnico es responsable de revisar y aprobar cualquier cálculo de diseño y plano preparado por otros.

El Dibujante debe preparar todos los planos incluyendo en estos información de las Condiciones de Diseño, Requerimientos de Ensayos no Destructivos, si es necesario aplicar un Tratamiento Térmico, Presión de Prueba, Lista de Materiales incluyendo las Especificaciones de los Materiales, todas las dimensiones y tolerancias, símbolos de soldadura o detalles, WPS y revisión, y la información aplicable de la placa de identificación.

Al utilizar programas computacionales en el diseño del equipo, el Gerente Técnico es el responsable por todas las suposiciones técnicas inherentes en los programas, por la aplicación de estos programas en el diseño, por el ingreso de datos de diseño correctos, la verificación de que se han obtenido los resultados correctos, y verificar que los programas computacionales tienen la capacidad de producir cálculos aceptables.

La responsabilidades de las tesoristas en el desarrollo de este proyecto son: preparar todos los cálculos de diseño basados en los requerimientos de Código de Construcción, los planos de construcción que incluyen la información de las condiciones, requerimientos del diseño, especificaciones de los materiales con sus dimensiones y tolerancias, detalles y nomenclatura de soldadura, y los procedimientos de aseguramiento de la calidad durante la fabricación que deberán seguirse.

### **5.3.3 REVISIÓN Y CONTROL DE PLANOS, CÁLCULOS Y ESPECIFICACIONES.**

Se debe enviar una copia de todos los planos y cálculos de diseño al Jefe de Control de Calidad para su revisión y aceptación, si encuentra alguna inexactitud, deberá retornarlos al Ingeniero Líder para su corrección, el cual

generará nuevos planos y mantendrá un control en el formulario de Registro de Documentos de Diseño (Anexo 8).

Una vez que los planos y los cálculos de diseño hayan sido aceptados por el Jefe de Control de Calidad, el Ingeniero Líder o su designado debe enviar copias de los planos al Jefe de Producción para su fabricación.

La entrega de los planos deberá detallarse en el formulario de Remisión Interna y la de otros documentos en el formulario de Documentos entregados (Anexo 8). Las copias obsoletas de los planos deben ser destruidas o marcadas como "OBSOLETA" por el emisor.

#### **5.3.4 PROGRAMA DE EXÁMENES E INSPECCIONES.**

El programa de exámenes e inspecciones es un registro de control de las actividades que se realizarán durante la construcción del camión preparado por el Jefe de Control de Calidad en referencia a los planos, especificaciones y los requisitos del código. Debe indicar el número del plano y la revisión, la secuencia de fabricación, los exámenes, los ensayos e inspecciones para cada parte del equipo. (Anexo 8)

#### **5.4 RECURSOS ESPECÍFICOS DEL PRODUCTO.**

Los recursos específicos del camión de vacío se refieren a los materiales, accesorios y equipos que se utilizarán en la fabricación del camión de vacío.

##### **5.4.1 REVISIÓN Y CONTROL DE PEDIDOS**

Se establecen los procedimientos para garantizar que todos los materiales usados en la construcción del equipo o sus partes cumplen con los requisitos del código de construcción. Además asegurar que sus equipos y accesorios cumplan con todas las especificaciones.

Los materiales utilizados en el equipo o sus partes serán únicamente los materiales aceptados por el código, con su respectivo Reporte de Ensayo de Materiales y los Certificados de Materiales.

#### **5.4.1.1 PEDIDO DE MATERIALES**

Se debe preparar el Formulario de Pedido de Materiales (Anexo 8) y la Lista de Condiciones de Materiales (Anexo 8), los cuales deben ser revisados por el Ingeniero Líder y aprobados por el Gerente Técnico, incluyendo además la siguiente información:

- Especificación del material.
- Grado.
- Clase o tipo.
- Dimensiones del material en unidades consistentes con los planos.
- Requisitos de marcado.
- Requisitos suplementarios como: Tratamiento térmico u otro ensayo especial.

El Pedido de Materiales y la Lista de Condiciones de Materiales deben enviarse al Jefe de Abastecimientos para que éste pueda marcarlo en su copia, en caso de que no exista en el inventario. Si el material consta en el inventario, el bodeguero debe solicitar al Inspector de Control de Calidad que inspeccione el material en base a los requerimientos del código y la Lista de Condiciones de Materiales. El resultado de la inspección lo debe conocer inmediatamente el Jefe de Abastecimientos, el cual debe preparar el Formulario de Orden de Compra (Anexo 8) de acuerdo con el Pedido de Materiales y la Lista de Condiciones de Materiales para ser enviado al vendedor seleccionado.

## 5.4.2 INSPECCIÓN A LA RECEPCIÓN

Todo material que sea recibido en la planta, debe ser colocado en un “área de espera”. El Bodeguero, utilizando una copia de la Orden de Compra, debe solicitar al Inspector de Control de Calidad que realice una inspección de los materiales, el cual debe verificar sus dimensiones, marcado, condición y cantidad. El Bodeguero debe informar al Jefe de Abastecimientos el resultado de la inspección.

Si los materiales son aceptados, el Inspector de Control de Calidad debe marcarlo de acuerdo con el código de colores detallado en el Procedimiento de Inspección en la Recepción de Materiales o con la Etiqueta Adhesiva de Material Aceptado.



**Figura 82.** Etiqueta de material aceptado  
**Fuente:** Industria Acero de los Andes

El comando, el número de la orden de compra, el marcado original, los hallazgos de la condición del material, deben ser registrados en el formulario de Inspección de Recepción de Materiales (Anexo 8). El Inspector de Control de Calidad debe firmar el documento y enviarlo al Jefe de Control de Calidad para su revisión y archivo en el Expediente de la Orden de Trabajo.

Los materiales en plancha / lámina para la conformación del cuerpo y cabeza del recipiente requieren Reportes de Ensayo de Materiales, el Jefe de Control de Calidad debe revisar el Reporte de Ensayos de Materiales, basado en el listado de la Sección II del Código ASME.

El material que no cumpla con los requisitos de la Orden de Compra y del Código deben ser marcados con la Etiqueta de “Material Pendiente”, o marcado con HOLD y debe ser retenido en un área controlada.



**Figura 83.** Etiqueta de material pendiente  
**Fuente:** Industria Acero de los Andes

Las partes pequeñas y accesorios deben ser empacados e identificados mediante el número de comando de la Orden de Compra o con el Adhesivo de Materiales Aceptados.

Las partes que posean la Marca de Certificación ASME tales como la trampa primaria, el manhole de la cabeza y cuerpo se deben descargar en el área asignada para ser inspeccionadas por el Inspector de Control de Calidad, el cual además debe verificar la Marca de Certificación del Código ASME y las marcas de identificación de la pieza las cuales deberán constar en los Reportes de Datos Parciales del Fabricante (Anexo 8) y los respectivos planos de ensamblaje.

Para la recepción de equipos, instrumentos y accesorios en la planta se debe:

1. Realizar una inspección visual en la cual se observa si el equipo no ha sufrido ningún tipo de daño físico en su estructura. Si se verifica que el estado físico del equipo se encuentra en buen estado se procede con la revisión del número de parte solicitado, materiales de fabricación, dimensiones, rango de los instrumentos de medición, set de presiones

en el caso de la válvula de alivio, en si todos los parámetros solicitados para cada equipo e instrumento.

2. Esta información se contrasta con la información que se encuentra ubicado en la placa de datos del instrumento. Si estas coinciden se procede a revisar la parte de documentación que viene con el equipo y verificar si está completa y de acuerdo a lo solicitado.
3. Cuando los instrumentos poseen parte electrónica se realiza una prueba de energización para comprobar su encendido más no su correcto funcionamiento.

#### **5.4.2.1 IDENTIFICACIÓN**

Antes de cortar el material, se deben trasladar a las nuevas piezas todas las marcas que requiere el código como son:

- Especificación del material.
- Número de colada.
- Número de placa (relacionado con los ensayos físicos).
- Número de comando.
- Número de plano.
- Ítem o Marca que corresponde a la parte a ser cortada.

Si el área no es suficiente para marcar la información descrita, ésta marcación debe hacerse en un área aledaña lo suficientemente amplia y visible para albergar las marcas y para que puedan ser identificables.

El Inspector de Control de Calidad debe registrar las marcas en el Formulario de Registro de Materiales (Anexo 8) para mantener la trazabilidad.

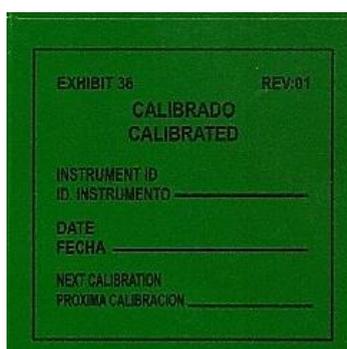
### 5.4.3 CONTROL DE LOS DISPOSITIVOS DE SEGUIMIENTO Y MEDICIÓN.

Para cumplir los requisitos del código, todos los equipos para medición, ensayo y examinación deben ser calibrados.

Cada equipo de medición que deba ser calibrado debe poseer una identificación única registrada en el Formulario Registro de Calibración de Equipo de Ensayo (Anexo 8).

Es responsabilidad del Inspector de Control de Calidad controlar que todos los equipos e instrumentos de medición estén calibrados ya sea por el personal de la empresa o un laboratorio de ensayos subcontratados certificado y que emita los certificados correspondientes.

Cuando los equipos e instrumentos hayan sido calibrados, se identificarán con una Etiqueta Adhesiva de Calibración, de no existir el espacio suficiente para adherir la etiqueta, se la debe colocar en el contenedor del equipo. En caso de que el instrumento o equipo no cuente con la etiqueta de calibración, o que esta indique que la calibración está vencida, no podrán ser utilizados.



**Figura 84.** Etiqueta de calibración  
**Fuente:** Industria Acero de los Andes

Cuando se encuentre un equipo que requiere calibración que esté fuera de calibración, la etiqueta de calibración debe ser removida por el Inspector QC, y debe ser etiquetado como “DESCALIBRADO – NO USAR”

Se debe verificar que los manómetros utilizados para la prueba hidrostática del recipiente hayan sido calibrados por lo menos una vez cada seis meses o calibrarlos cuando se haya considerado que está presentando mediciones incorrectas. La calibración del resto de equipos debe realizarse de acuerdo a la Norma Nacional, el Código, el fabricante del equipo, o la experiencia con el equipo.

El Jefe de Control de Calidad debe mantener un registro que incluya los certificados de calibración para realizar un control de acuerdo a la norma.

## **5.5 REALIZACIÓN DEL PRODUCTO**

Para que el proceso de fabricación sea controlado es necesario establecer los procesos y pruebas realizados en la construcción del equipo definidos en el Programa de Exámenes e Inspecciones que asegure la calidad del producto previniendo defectos durante la construcción que generen futuras complicaciones.

### **5.5.1 IDENTIFICAR Y CONTROLAR LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN**

Los procesos y pruebas que se llevan a cabo para la fabricación del camión de vacío son los que se presentan en el programa de exámenes e inspecciones.

#### **Equipos y accesorios**

La inspección del correcto funcionamiento se lo realizará cuando los equipos como motor, bomba, trampas de seguridad, válvulas, vacuómetro e indicador de nivel hayan sido instalados en el camión de vacío.

Para todos los procesos de soldadura, tratamiento térmico y ensayos no destructivos que se deben llevar a cabo durante la fabricación del camión de vacío se debe considerar los siguientes aspectos.

#### **5.5.1.1 SOLDADURA Y OPERADORES DE SOLDADURA**

Todos los procesos de soldadura realizados en la fabricación del recipiente del camión de vacío deben cumplir con las Especificaciones del Procedimiento de Soldadura (WPS) y ser realizados por soldadores calificados en base a la Sección IX del Código ASME.

##### **5.5.1.1.1 CALIFICACIÓN DE SOLDADORES Y OPERADORES DE SOLDADURA.**

El Inspector de Control de Calidad debe verificar que todos los soldadores y operadores de soldadura sean calificados según la Sección IX del Código ASME. Para la calificación, IAA o un laboratorio deben realizar ensayos en probetas los cuales tendrán que ser validados por el Jefe de Control de Calidad, certificando el Registro de Calificación del Desempeño del Soldador u Operador de Soldadura (WPQ) y emitiendo a cada soldador calificado una marca única que defina las soldaduras que realizó en el equipo. Si el estampado se debe evitar en alguna parte del equipo, el Inspector de Calidad deberá registrarla en el mapa de soldadura.

##### **5.5.1.1.2 RECALIFICACIÓN DE SOLDADORES Y OPERADORES DE SOLDADURA.**

La recalificación de los soldadores y operadores debe realizarse en los siguientes casos:

- Cuando se modifica una Variable Esencial de Desempeño.

- El soldador no ha utilizado el proceso en el que fue calificado durante 6 meses o más, a menos que el soldador haya utilizado soldadura manual, semiautomática o automática para soldar dentro del proceso en el cual fue calificado y haya sido vigilado por el Supervisor de Planta aumentando el periodo de validez de su calificación por seis meses más.
- Cuando las capacidades del soldador puedan ser cuestionadas porque no cumplen las especificaciones, manteniendo sus otras calificaciones en las que demuestra competencia.

#### **5.5.1.1.3 MANTENIMIENTO DE LAS CALIFICACIONES DE LOS SOLDADORES.**

El Inspector de Control de Calidad debe mantener un registro actualizado de cada soldador y operador de soldadura, una copia la debe poseer el Jefe de Producción. El Formulario de Registro de Soldadores (Anexo 8) debe contener información del soldador señalando si éste ha soldado en cada proceso y tipo dentro del periodo, además de permitir tener un control sobre la validez de las calificaciones y su fecha de expiración.

#### **5.5.1.1.4 MATERIAL DE SOLDADURA**

Para la adquisición de los materiales utilizados en la soldadura, el Ingeniero Líder debe basarse en los WPS para realizar el Formulario de Pedido de Materiales, que deberá ser aprobado por el Jefe de Control de Calidad.

Los materiales de soldadura deben ser almacenados en un lugar seco y de acuerdo a la temperatura recomendada por el fabricante o la Sección II del Código ASME.

Los materiales entregados a los soldadores y operadores de soldadura deben ser controlados, los electrodos no consumidos deben ser devueltos al Bodeguero para que una vez inspeccionados sean re-horneados según el Procedimiento de Recepción Almacenamiento y Control de Materiales de Soldadura basado en la recomendación del fabricante o la Sección II del Código ASME para su reutilización. Los electrodos en malas condiciones deben ser desechados.

#### **5.5.1.1.5 PROCESOS DE SOLDADURA**

El Supervisor de Producción tiene la responsabilidad de comprobar que todos los procedimientos y soldadores están calificados en base al WPQ/WOPQ , WPS, Registro de Soldadura y planos de fabricación para realizar la soldadura, incluso si son punteos removibles o permanentes.

Los punteos de soldadura permanentes formarán parte de la soldadura por lo que deben ser revisados visualmente y registrados en el Formulario de Programa de Exámenes e Inspecciones (Anexo 8) por el Inspector de Control de Calidad, el cual puede disponer la remoción de la soldadura en caso de encontrar un defecto.

#### **5.5.1.2 TRATAMIENTO TÉRMICO**

El tratamiento térmico post-soldadura debe ser realizado en base al Procedimiento Tratamiento Térmico Pos Soldadura de IAA, el cual contiene el número, el lugar, la localización, el método de colocación y remoción de las termocuplas, tasas de calentamiento y enfriamiento, tiempo a mantener la temperatura y los registros que se requieren.

El Jefe de Control de Calidad debe controlar el proceso en base a la Hoja de Instrucciones para HT que son cartas reales del horno, que detalla las

condiciones, identificación de las termocuplas, y equipo tratado y que deben contener la fecha y firma del operador.

### **5.5.1.3 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

Los ensayos no destructivos son métodos que permiten controlar espesores y detectar defectos de manera que no alteren las propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales del material, arrojando datos bastante aproximados de la variable medida dependiendo de los conocimientos y la habilidad de quienes lo realizan.

Los ensayos de Ultrasonido y Partículas Magnéticas en la soldadura no son realizados por IAA en sus procesos de fabricación a menos que sea un requerimiento del cliente. Todos los demás ensayos realizados por IAA o por personal externo calificado que presenten certificaciones de las calificaciones de su personal y procedimientos, además de registros de calibración de sus equipos, deben ser aceptados por el Jefe de Control de Calidad.

Los ensayos de Inspección Visual y Líquidos Penetrantes deben ser validados por el Jefe de Control de Calidad.

Si los ensayos de Líquidos penetrantes y Radiografía son realizados por Inspectores en NDE de la compañía, se debe certificar su trabajo guiándose en el Código SNT-TC-1A y contar con la aprobación de un NDE Nivel III.

El Jefe de Control de Calidad debe examinar todos los reportes de NDE incluidas las películas radiográficas y archivarlos conforme la Sección 14 del Manual de Control de Calidad ASME de IAA.

## **5.6 INSPECCIONES FINALES Y ACCIONES DE MEJORA**

Se refiere a las últimas pruebas e inspecciones que se deben realizar al equipo al finalizar los procesos de construcción y se establecerá la

metodología de acción en caso de que no se proceda de manera adecuada durante la fabricación del camión de vacío.

### **5.6.1 INSPECCIÓN FINAL**

Al finalizar la fabricación o ensamble del equipo, el Inspector de Control de Calidad debe realizar una inspección final que certifique que el equipo cumple con los requerimientos y colocar sus iniciales y la fecha en el Programa.

### **5.6.2 ENSAYO DE PRESIÓN**

La prueba hidrostática debe ser realizada en base al procedimiento de IAA por el Jefe de Producción en presencia del Inspector de Control de Calidad una vez que haya finalizado la fabricación y ensamblaje del equipo, tal y como consta en el Programa de Exámenes e Inspecciones (Anexo 8).

Para la prueba hidrostática se deben usar por lo menos dos manómetros, el rango más recomendable de los manómetros es el doble de la presión máxima, pero en ningún caso más de 4 veces la presión de prueba, ni menos 1.5 veces la presión de prueba.

### **5.6.3 REPORTES DE DATOS DEL FABRICANTE**

El Jefe de Control de Calidad o su delegado cuando se finalice la fabricación del equipo debe elaborar y certificar el Reporte de Datos del Fabricante (MDR) (Anexo 8) en base a los registros finales que satisfaga todos los requisitos del código ASME.

### **5.6.4 CONTROL DEL PRODUCTO NO CONFORME.**

Una no conformidad es el incumplimiento de los requisitos del Código, las especificaciones o los requisitos del Manual de Control de Calidad de IAA, las

cuales deben ser corregidas o eliminadas para considerar que el equipo cumple con el código.

Si un material no cumple con los requerimientos, el Inspector de Control de Calidad debe verificar la no conformidad etiquetándolo y llenando un Reporte de No Conformidad (Anexo 8) incluyendo el número de reporte en el Programa de Exámenes e Inspecciones o en el Formulario Inspección de Recepción de Materiales.

Todos los Equipos Código revisados con instrumentos que estén fuera de calibración deben ser considerados como no conformes y debe prepararse un reporte de no conformidad por parte del Inspector de Control de Calidad.

### 5.6.5 ACCIONES CORRECTIVAS

**Tabla 50.** Acciones Correctivas

<p><b>USAR COMO ESTÁ</b></p>	<p>El Jefe de Control de Calidad debe poseer la aprobación del Ingeniero Líder para la realización de cualquier modificación en planos, cálculos o especificaciones satisfaciendo el código.</p>
<p><b>REPARAR</b></p>	<p>Cualquier reparación debe ser realizada bajo los Procedimientos del Programa de Exámenes e Inspecciones. Antes de la reparación, los métodos, la extensión de la reparación y los puntos de inspección deben ser descritos en el NCR o en el Programa de Exámenes e Inspecciones.</p> <p>No se requerirá de un NCR en caso de encontrar defectos en la soldadura detectados visualmente o por un NDE.</p>

Continúa 

---

**DESECHAR O REGRESAR AL  
VENDEDOR**

El Jefe de Control de Calidad debe inspeccionar que el equipo, parte o material ha sido removido para posteriormente desecharlo o regresarlo al vendedor.

---

**Fuente:** Manual de Control de Calidad ASME de IAA.

Después de la corrección de las No Conformidades se debe re-inspeccionar la parte o material que fueron afectados para asegurar que se cumplieron con todos los requisitos, permitiendo que estos vuelvan a formar parte de la secuencia de fabricación.

## CAPÍTULO 6

### ANÁLISIS DE COSTOS

#### 6.1 COSTOS DIRECTOS

Los costos directos son aquellos que intervienen en las actividades de fabricación del producto.

- **Materiales directos:**

**Tabla 51.** Costos de Materiales Directos

COSTO DE MATERIALES					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	P. UNIT	P. TOTAL
<b>LÁMINAS</b>					
1	Cuerpo del recipiente SA 516-70 e= 6.35	kg	2605,50	1,30	3.387,15
2	Cabezas Toriesféricas SA 516-70 e= 6.35	kg	282,60	1,30	367,38
3	Orejas de izaje SA 36 e= 25.4	kg	9,80	0,75	7,35
4	Rompeolas SA 36 e = 4.76	kg	153,33	0,75	115,00
5	Rompeolas SA 36 e = 3.17	kg	20,70	0,75	15,53
6	Anillo de refuerzo SA 36 e= 6.35	kg	111,38	0,75	83,54
7	Chasis lateral SA 516-70 e= 12.7	kg	560,80	1,30	729,04
8	Uñas del chasis SA 516-70 e= 9.53	kg	351,60	1,30	457,08
9	Soporte de las uñas del chasis SA 516-70 e= 6.35	kg	11,40	1,30	14,82
10	Tapas del soporte SA 36 e= 6.35	kg	70,80	0,75	53,10
11	Base del guardafangos SA 36 e= 4.76	kg	2,40	0,75	1,80
12	Tapa de la tubería del guardafangos SA 36 e= 4.76	kg	0,43	0,75	0,32
13	Plancha de sujeción Soporte Elim. D SA 36 e=19	kg	9,30	0,75	6,98
14	Base del soporte del king- pin SA-516 70 e=12	kg	140,50	1,30	182,65
15	Soporte del king-pin SA 516-70 e= 12.7	kg	168,30	1,30	218,79

Continúa

16	Rigidizadores del king pin SA 516-70 e= 12.7	kg	156,70	1,30	203,71
17	Soporte de la pata telescópica SA 516-70 e= 9.53	kg	10,50	1,30	13,65
18	Caja de la pata telescópica SA 516-70 e= 7.9	kg	106,90	1,30	138,97
19	Tapa del soporte de la pata telescópica SA 516-70 e= 9.53	kg	7,20	1,30	9,36
20	Puerta de la caja de la pata telescópica SA 36 e=3.2	kg	6,20	0,75	4,65
21	Refuerzos SA-516-70 e=6.35	kg	228,72	1,30	297,34
<b>PERFILES</b>					
22	Rompeolas SA 36 L 50x50x6	kg	37,96	1,54	58,46
23	Soporte del guardafangos SA 36 FB 3x50x70	kg	1,92	3,10	5,95
24	Soporte Eliminator D UPN 120	kg	139,40	1,28	178,43
<b>TUBERÍA</b>					
25	Guardafangos SA-106B PIPE Ø 1" ERW ISO L2	kg	20,4	3,20	65,28
26	Escaleras SA-106B PIPE Ø 1" ERW ISO L2	kg	28,1	3,20	89,92
27	Portallantas SA-106B PIPE Ø 1" ERW ISO L2	kg	89,8	3,20	287,36
28	Pata telescópicas SA-106B PIPE Ø 1"	kg	11,0	3,20	35,20
<b>COUPLINGS</b>					
29	CPLG. Ø 4" 3000# NPT	U	2	65,00	130,00
30	CPLG. Ø 3" 3000# NPT	U	1	55,50	55,50
31	CPLG. Ø 2" 3000# NPT	U	2	11,00	22,00
32	H. CPLG. Ø 3" 3000# NPT	U	1	30,00	30,00
<b>ACCESORIOS</b>					
33	Bisagras Ø 3/8" x 3" (C.S)	U	2	3,73	7,46
34	Cerradura (S.S/ C.S)	U	1	13,16	13,16
35	U Bolts for 1" Pipe Ø3/8" w/ 2 nut + washer + split washer (C.S)	kg	4,8	10,00	48,00
37	Countersunk bolt Ø5/8" x 2" w/nut and split washer	kg	4,8	10,00	48,00
38	Bolt Ø 1/2" x 1 1/2" w/ nut + washer (C.S)	kg	2,7	10,00	27,00
<b>CONSUMIBLES</b>					
39	Oxígeno	m3	5,66	2,50	14,15
40	Acetileno	kg	9,30	10,31	95,88
41	Alambre tubular SAW	kg	4,00	3,75	15,00
42	Electrodo revestido E7018	kg	103,36	6,03	623,26
43	Fundente	kg	4,30	2,75	11,83

44	Disco de desbaste	U	15	3,50	52,50
45	Disco de corte	U	15	3,50	52,50
46	Gratas	U	15	16,00	240,00
47	Set de herramientas de mecanizado	U	1	50,00	50,00
48	Set embalaje	U	1	20,00	20,00
<b>TOTAL COSTO MATERIAL</b>					<b>8.585,03</b>

Fuente: Autoras

**Tabla 52.** Costos de Equipamientos y Accesorios

<b>COSTOS DE EQUIPAMIENTO Y ACCESORIOS</b>					
<b>ÍTEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDA D</b>	<b>CANT .</b>	<b>P. UNIT</b>	<b>P. TOTAL</b>
1	Kit Eliminator Series D	U	1	21305,56	21305,56
2	Trampa de cierre primario Ø 20" (Primary Shut-off)	U	1	640,50	640,5
3	Trampa de cierre secundario 400 CFM 10 gal. (Secondary Shut-off)	U	1	343,00	343
4	Abertura de Inspección Ø 20" (Manway)	U	2	474,08	948,16
5	Válvula de alivio de presión roscada Ø 3"	U	1	943,08	943,08
7	Válvula de bola para succión y descarga full port Ø 4"	U	2	740,00	1480
8	Tapón (Dust Cap) Ø 4"	U	2	45,49	90,98
9	Vacuómetro 30 inHg a 30 psi	U	1	46,00	46,00
10	Indicador de nivel	-	-	-	-
10.1	Tubo de policarbonato Ø1 1/2"	U	1	27,00	27
10.2	Reducción 2" a 1 1/2"(Sight window plug)	U	2	73,20	146,4
10.3	Tee Ø 2"(Clean out tees)	U	2	34,84	69,68
10.4	Válvula de bola full port Ø 2"	U	2	54,98	109,96
11	King pin empernable Ø3 1/2"	U	1	150,00	150,00
12	Kit patas telescópicas 60000 Series	U	1	461,96	461,96
13	Suspensión 2 ejes	U	1	1850,00	1850,00
14	Ejes 5 3/4" x 0.39" Cap. 25000 lbs	U	2	1343,50	2687,00
15	Llantas radiales 295/80 RIN 22.5	U	8	725,85	5806,8
				<b>TOTAL</b>	<b>37106,08</b>

Fuente: Autoras

- **Mano de Obra Directa:**

**Tabla 53.** Costos de Mano de Obra Directa

<b>MANO DE OBRA DIRECTA</b>				
<b>ÍTEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>HH</b>	<b>COSTO UNITARIO USD/HH</b>	<b>COSTOS (USD)</b>
1	Manipuleo interno	10	4,00	40,00
3	Corte	80	5,50	440,00
4	Rolado	7,5	5,50	41,25
5	Relolado	5	5,50	27,50
6	Bombeado	48	5,50	264,00
7	Rebordeo	12	5,50	66,00
8	Plegado	12	5,50	66,00
9	Ensamble	320	12,00	3.840,00
10	Soldadura SMAW manual	168	19,50	3.276,00
11	Soldadura SAW	56	5,00	280,00
12	Maquinado	6	5,50	33,00
13	Prueba hidrostática	8	7,00	56,00
14	Granallado	16	5,50	88,00
15	Pintura	16	5,50	88,00
16	Armado del tándem	40	4,00	160,00
17	Enllantado y alineación	32	3,00	96,00
18	Embalaje y despacho	9	3,00	27,00
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>8.605,75</b>

**Fuente:** Autoras

**Tabla 54.** Total de Costos Directos

<b>COSTOS DIRECTOS</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TOTALES</b>
MATERIALES DIRECTOS	8.585,03
EQUIPOS Y ACCESORIOS	37106,08
MANO DE OBRA DIRECTA	8.605,75
<b>TOTAL</b>	<b>54296.86</b>

**Fuente:** Autoras

## 6.2 COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos inciden directamente en todos los procesos que IAA realiza por lo que no pueden ser asignados a un solo producto, estos costos comprenden: materiales indirectos, mano de obra indirecta y gastos indirectos de fabricación.

- **Materiales indirectos:** Están constituidos por insumos afectan a la fabricación del equipo sin formar parte de él como son: herramientas y equipos de trabajo, materiales de mantenimiento, útiles de limpieza, lubricantes, etc, rubros que son contemplados en los procesos de fabricación de cualquier producto y que son asumidos por IAA.

**Tabla 55.** Costos de Materiales Indirectos

COSTO DE MATERIALES INDIRECTOS					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	P. UNIT	P. TOTAL
1	Agua de prueba hidrostática	m <sup>3</sup>	19,08	2,00	38,16
2	Placas de rayos X	U	10	2,80	28,00
3	Press o film	U	1	5,00	5,00
4	Set tintas penetrantes	U	0,5	50,00	25,00
5	Argón	m <sup>3</sup>	7,6	14,70	111,72
TOTAL COSTOS DE MATERIALES INDIRECTOS					<b>207,88</b>

**Fuente:** Autoras

- **Mano de obra indirecta:** No influye directamente en el proceso de transformación de la materia prima hacia el producto final, por ejemplo: el gerente de planta, el jefe de producción, el jefe de calidad, inspectores, supervisores, diseñadores, expensas que serán adjudicadas a IAA. En el proyecto la mano de obra indirecta también implica los salarios de director y codirector de tesis responsabilidad de la ESPE- Universidad de las Fuerzas Armadas y los salarios de las tesis que serán asumidos por las mismas.

**Tabla 56.** Costos de Mano de Obra Indirecta

MANO DE OBRA INDIRECTA				
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	HH	COSTO UNITARIO USD/HH	COSTOS (USD)
1	Supervisión	160	9,00	1.440,00
2	Control de Calidad	160	9,00	1.440,00
3	Toma y análisis de radiografía	75	7,00	525,00
4	Tesistas	1440	3,00	4.320,00
TOTAL COSTOS MANO DE OBRA INDIRECTA				<b>7.725,00</b>

**Fuente:** Autoras

- **Gastos indirectos de fabricación:** En este rubro se registran los costos de depreciación del equipo, la energía, servicios básicos, impuestos, etc.

**Tabla 57.** Gastos Indirectos de Fabricación

GASTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	P. UNIT	P. TOTAL
1	Movilización y Transporte	-	-	240,00	240,00
2	Pasajes de avión	U	3,00	110,52	331,56
3	Papelería y útiles	-	-	200,00	200,00
4	Teléfono e Internet	-	-	360,00	360,00
5	Energía eléctrica	KWh	3.000,00	0,10	300,00
6	Otros Gastos Indirectos	-	-	150,00	150,00
TOTAL GASTOS FABRICACIÓN					<b>1.060,62</b>

**Fuente:** Autoras

**Tabla 58.** Total de Costos Indirectos

COSTOS INDIRECTOS	
DESCRIPCIÓN	TOTALES
MATERIALES INDIRECTOS	207,88
MANO DE OBRA INDIRECTA	7.725,00
GASTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN	1.060,62
<b>TOTAL</b>	<b>8.993,50</b>

**Fuente:** Autoras

### 6.3 COSTO TOTAL

**Tabla 59.** Costo Total del Proyecto

<b>COSTO TOTAL</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TOTALES</b>
MATERIALES DIRECTOS	8.585,03
EQUIPOS Y ACCESORIOS	37106,08
MANO DE OBRA DIRECTA	8.605,75
<b>TOTAL</b>	<b>54296.86</b>

**Fuente:** Autoras

El costo total que alcanza este proyecto es de 54296.86 dólares como lo indica la Tabla 59, considerando únicamente los costos directos: materiales, equipos y accesorios y mano de obra, debido a que los costos indirectos a pesar de participar en el proceso productivo no forman parte del producto final por lo cual estos serán responsabilidad de IAA, la ESPE - Universidad de las Fuerzas Armadas y tesistas.

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 CONCLUSIONES

- El diseño del recipiente está basado en el Código ASME Sección VIII División I y la Sección XII del mismo, pero la decisión final la toma el diseñador en base a restricciones que se pueden presentar durante el diseño, sin anular los requisitos obligatorios y prohibiciones específicas del código.
- Los parámetros de diseño se determinaron basándose en los resultados obtenidos en la casa de la calidad, el estudio previo en campo y la experiencia del personal de Industria Acero de los Andes, el análisis QFD fue esencial para priorizar los aspectos fundamentales y superfluos, de modo que las características técnicas del producto satisfagan las necesidades del usuario, adicionalmente incorpora una comparación entre la empresa y los competidores relevantes para conocer la situación del producto en el mercado.
- Mediante el análisis de la casa de la calidad, se decidió realizar el diseño de un camión de vacío de 120 Bbl, luego de analizar las diferentes alternativas para el diseño se estableció que la alternativa óptima para el camión de vacío diseñado, considerando las ventajas que presentaba cada uno de los módulos, es la opción B, la cual contempla que se utilizará un tracto camión con semirremolque para transportar mayor volumen y proporcionar independencia al recipiente del tracto camión, mangueras conductoras para eliminar la carga estática, la succión y descarga lo realizará una bomba de paletas deslizantes que será accionada mediante un motor auxiliar de combustión interna, el recipiente contará con cabezas toriesféricas, y

para el inspección de nivel se utilizará un tubo de medición que permite una control rápido y cómodo del nivel.

- El recipiente diseñado está sometido tanto a presión interna como externa, motivo por el cual el cálculo de espesores mínimos requeridos debe ser realizado para los dos modos de operación según lo que establece el ASME Sección VIII División 1, en el presente diseño se determinó que la presión externa es la condición más crítica, por lo que el espesor de cuerpo y cabezas seleccionado como parámetro constructivo es de  $\frac{1}{4}$  in (6.35mm).
- Para el cálculo de las aberturas del recipiente, es obligatorio realizar el análisis de los refuerzos por presión interna y externa puesto que el recipiente trabajará bajo estas condiciones para asegurar que el área que será extraída sea recompensada adecuadamente, aunque también es necesario realizar el cálculo considerando la máxima presión de trabajo permisible (MAWP), máxima presión permisible (MAP), máxima presión externa permisible (MAEP), que permitirán que se pueda afirmar con certeza que la abertura necesita o no de un refuerzo. En base a estos resultados se puedo determinar que las aberturas N5, MH1, MH2 correspondientes a la abertura de la trampa primaria, el manhole del cuerpo y el manhole de la cabeza respectivamente, requieren de un refuerzo.
- Para la distribución de los rompeolas y anillos de refuerzo a lo largo del recipiente es importante considerar que éstos no coincidan con las soldaduras circunferenciales del cuerpo debido a que la soldadura afecta a la microestructura del metal base en la zona que rodea la soldadura.
- Las orejas de izaje deben ser diseñadas para movilizar el recipiente vacío durante la construcción y se consideró un factor de seguridad de 1.44 por recomendación del Ingeniero Líder en Recipientes a Presión

de IAA para proteger al operador y al recipiente en caso de altas cargas dinámicas debido a la manipulación inadecuada.

- Para la selección de la bomba de vacío se debe calcular el caudal de aire que requiere el proceso en la condición máxima, para ello se debe conocer las siguientes variables: el volumen de aire que debe ser extraído del recipiente, el grado de vacío necesario para la succión del crudo y el tiempo de llenado, adicionalmente se debe considerar un factor de seguridad considerando que pueden presentarse fugas. La bomba seleccionada fue una bomba de paletas deslizantes, con una capacidad de flujo de 320 CFM, que puede alcanzar un vacío de hasta 28" Hg y opera a una velocidad de 1400 rpm.
- El equipo diseñado cuenta con varios dispositivos de seguridad como las trampas de cierre primaria y secundaria que impiden el paso de líquido e impurezas a la bomba, una trampa a la salida de la bomba que se encarga de que el aire expulsado esté libre de aceite, y la válvula de alivio de presión y vacío que debe ser seleccionada según los requerimientos del ASME XII para casos de sobre presión o vacío dentro del recipiente.
- Se dispuso de la instrumentación necesaria tales para que el operador pueda verificar el estado del proceso y tomar acciones en caso de ser necesario. Con esto se busca evitar accidentes que pueden poner en peligro la integridad del personal y/o del equipo.
- Para que el camión de vacío obtenga el permiso de circulación dentro del país se requiere que cumpla con los pesos y dimensiones establecidos por el MTOP, por lo que se realizó el cálculo de las reacciones en los ejes del camión tomando en cuenta el peso del equipo lleno a su capacidad máxima (19713.51 kg) y el peso de todos los accesorios (5564.99 kg) para verificar y garantizar el cumplimiento de estos parámetros.

- Utilizar el software Compress para el diseño recipientes a presión basado en el código ASME sección VIII División 1; proporciona información y resultados más precisos en base a una serie de iteraciones que se van generando hasta obtener un resultado óptimo, lo que permite por ejemplo obtener la adecuada distribución de los anillos de refuerzo que previenen del colapso por presión externa al recipiente, y verificar la ubicación de las bocas del recipiente para lo cual diseñador debe tener claro el significado de cada variable que solicita el programa.
  
- La guía de calidad y fabricación permite que todo el proceso de construcción sea controlado de tal manera que se pueda entregar al cliente un producto de calidad respaldado en todos los informes de las inspecciones que se realizarán durante la fabricación.
  
- Este proyecto sirve como una guía para que IAA pueda desarrollar camiones de vacío con otras capacidades y tipos de accionamiento en base a los requerimientos del usuario ya que el proyecto ofrece información sobre las diferentes alternativas que existen sobre este equipo, así como los principales proveedores de los accesorios que componen al camión.

## 7.2 RECOMENDACIONES

- Al ser un equipo que no se ha construido anteriormente en IAA, en su fabricación, se debe controlar cada proceso para asegurar que el equipo cumpla con todos los requisitos de seguridad y calidad que requiere supervisando el trabajo de los operarios para evitar que por desconocimiento se tomen decisiones arbitrarias que podrían afectar el diseño del equipo. Los formularios de inspecciones descritos en la guía de calidad deben ser generados simultáneamente durante la construcción y montaje del equipo para asegurar que el mismo cumpla con los requisitos que el código de construcción y el programa de inspecciones.
- Las tapas o cabezas del recipiente poseen un diámetro interior de 60 in (1524 mm), por lo que pueden ser conformadas en una sola pieza por la rebordeadora de la empresa, es decir su inspección únicamente será por ultrasonido.
- Para un diseño óptimo es importante que el diseñador conozca las variables que serán ingresadas en el software y que además este se encuentre actualizado cada vez que el código ASME Sección VIII División 1 presente modificaciones.
- Es necesario realizar mantenimiento periódico a los equipos y accesorios del camión de vacío para alargar su vida útil principalmente a la bomba que cumple la función de generar presión y vacío en el recipiente y las trampas primaria y secundaria que atrapan los residuos, fluido e impurezas evitando que lleguen a la bomba.
- Si durante la construcción se necesita realizar algún cambio con respecto a los materiales o dimensiones, se debe constatar que el cambio no perjudique el diseño del equipo, además de realizar la actualización de los planos.

- El Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), posee un Sistema para el control de pesos y dimensiones con el fin de evitar la destrucción en las vías y salvaguardar la inversión que se asigna para el mantenimiento de las carreteras, por lo que es importante para el diseñador considerar éstas dimensiones y asegurar de ésta manera que no exista ningún problema para que el equipo pueda circular en el país cumpliendo con el reglamento vigente.
  
- Antes de la ejecución del proyecto se deben analizar nuevamente los costos de los materiales, equipos y accesorios debido a la variación de los precios en el mercado.

## BIBLIOGRAFÍA

AICHE Industry Technology Alliance. (Diciembre de 2008). *Publicaciones*. Obtenido de Sitio web de AICHE: <http://www.aiche.org/CCPS/Publication/Beacon/index.aspx>

AMTHOR International. (s.f). *Products: Non code vacuum tanks*. Obtenido de Sitio web AMTHOR International: <http://www.amthorinternational.com>

Andrade, J., & Sánchez, H. (2007). Diseño de una plataforma cama alta acoplable a cabezales de transporte pesado para el traslado de contenedores. En J. Andrade, & H. Sánchez, *Diseño de una plataforma cama alta acoplable a cabezales de transporte pesado para el traslado de contenedores* (pág. 14). Quito.

API . (2005). *API 2219. Safe Operation of Vacuum Trucks in Petroleum Service*. Washington D.C: API Publishing Service.

ASME. (2010). *Products*. Obtenido de Sitio Web ASME: <http://www.asme.org>

ASME. (2013). VIII Rules for Construction of Pressure Vessels Division 1. En T. A. Engineers, *ASME Boiler and Pressure Vessel Code*. New York.

ASME. (2013). XII Rules for Construction and Continued Service of Transport Tanks. En A. S. Engineers, *ASME Boiler and Pressure Vessel Code*. New York.

BOVMEX. (s.f). *Electrónica: BOVMEX*. Obtenido de Sitio web de BOVMEX: <http://www.bovmex.com/electronica>.

Brownell, L., & Young, E. (1959). *Process Equipment Design*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

Bruder. (s.f). *Imágenes de stock*. Obtenido de Dreamstime: <http://es.drimestime.com/>

CAMERON. (Junio de 2011). *Products & Services*. Obtenido de Sitio Web de CAMERON: <http://www.c-a-m.com>

Capuz, S. (1999). *Introducción al Proyecto de producción. Ingeniería Concurrente para el diseño de producto*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

CEXCO. (s.f). *Productos: CEXCO*. Obtenido de Sitio web de CEXCO: <http://www.cexco.es>

COLUMBIA TANKS LLC. (s.f de s.f de 2014). *Productos: Columbia Tanks*. Obtenido de Sitio web de Columbia Tanks LLC: [www.ctanks.com](http://www.ctanks.com)

Comisión de la Comunidad Andina. (2001). Transporte Internacional de Mercancías y Pasajeros por Carretera. *Reglamento Técnico Andino sobre Límites de Pesos y Dimensiones de los vehículos destinados al Transporte Internacional de Pasajeros y Mercancías por Carretera*, (pág. 6). Lima.

Department of Transportation. (2011). *CFR Title 49*. United States.

Direct Industry. (2014). *Products: Direct Industry*. Obtenido de Sitio web de Direct Industry: <http://www.directindustry.com/prod>

DRAGON LTD. (Agosto de 2012). *Product line vacuum trailers*. Recuperado el 2 de 6 de 2014, de Sitio web Dragon Ltd: <http://www.dragonproductsltd.com>

Engineering, E. (2013). *Cargo Tanks*. Obtenido de Sitio Web de Exosent Engineering: <http://www.exosent.com/>

Envirotec Services Incorporated. (s.f). *Vacuum Truck Services*. Obtenido de Sitio web Envirotec Services Incorporated: <http://envirotec.ca>

FITSA. (2015). *Productos: Cabezas Toriféricas*. Obtenido de Sitio web FITSA: <http://www.fitsa.com.mx>.

FRUITLAND Manufacturing. (2013). *Products: Vacuum pumps*. Obtenido de Sitio web de FRUITLAND Manufacturing: <http://www.fruitlandmanufacturing.com>

HAANCON. (04 de Julio de 2011). *Productos: Apoyo de desacoplamiento*. Obtenido de Sitio web de Haancon: <http://www.haacon.com/es/vehiculos-industriales/apoyos-de-desacoplamiento.html>

Imperial. (s.f). *Vacuum Tanker Operator`s Manual*. Obtenido de Sitio web Imperial: <http://www.imperial.com>

Industria Acero de los Andes S.A. (s.f). *Ingeniería y Tecnología: Industria Acero de los Andes S.A*. Recuperado el 6 de Enero de 2014, de Sitio web de Industria Acero de los Andes S.A: <http://www.aceroandes.com>.

Industria Acero de los Andes S.A. (s.f). *Productos y Servicios : Industria Acero de los Andes S.A*. Recuperado el 6 de Enero de 2014, de Sitio web de Industria Acero de los Andes: <http://www.aceroandes.com>

ITAMARKET. (2010). *Productos para camiones de limpieza: ITAMARKET*. Obtenido de Sitio web de ITAMARKET: <http://www.itamarket.cl/accesorios-camiones-limpiafosas.html>

JOST. (s.f). *Productos: King pin & Fifth wheel*. Obtenido de Sitio Web de JOST: <http://www.jostinternational.com/kp.html>

Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2008). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. México: Pearson.

LMT Inc. Industrial Vacuum Equipment. (2014). *Resources: Vacuum Tank 101*. Obtenido de Sitio web de LMT Inc. Industrial Vacuum Equipment: <http://www.vaxteel.com>

MASPORT. (2014). *Components: MASPORT*. Obtenido de Sitio web de MASPORT: <http://www.vacpump.biz/masport-components.html>

Megyesy, E. (2001). *Pressure Vessel Handbook*. Tulsa, Oklahoma: Pressure Vessel Publishing, Inc.

Méndez, B. (s.f). *Contenidos*. Obtenido de Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo: <http://www.insht.es/>

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (19 de Abril de 2012). *Tabla Nacional de Pesos y Dimensiones*. Recuperado el 7 de Mayo de 2014, de Sitio web Ministerio de Transporte y Obras Públicas: <http://www.obraspublicas.gob.ec>

MTOP, Acuerdo Ministerial No.36. (5 de Junio de 2012). *Registro Oficial No 717*. Recuperado el 7 de Mayo de 2014, de Sitio web del Ministerio de Transporte y Obras Públicas: <http://www.cip.org.ec>

National Vacuum Equipment. (2014). *Catalog Products*. Obtenido de Sitio web de National Vacuum Equipment: <http://natvac.com>

Newson Gale. (Octubre de 2012). *Earth Control System*. Obtenido de ATHEX Industrial Suppliers: <http://www.atex-ex.eu/>

Pik Rite. Inc. (2014). *Catalog Products*. Obtenido de Sitio web Pik Rite. Inc: <http://www.pikrite.com>

Riba, C. (2002). *Diseño Concurrente*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalán.

Talleres Estructurales S.A de C.V. (s.f). *Productos: Cabezas Semi-elípticas*. Obtenido de Sitio web Talleres Estructurales S.A de C.V: <http://www.tapasmetalicas.com>

Transport Canada, US. Department of Transportation, Secretariat of Communications and Transportation. (s.f de s.f de 2012). *Emergency Response Guidebook*. Canada, Ottawa, Ontario. Obtenido de PHMSA DOT: [http://phmsa.dot.gov/pv\\_obj\\_cache/pv\\_obj\\_id\\_7410989F4294AE44A2EBF6A80ADB640BCA8E4200/filename/ERG2012.pdf](http://phmsa.dot.gov/pv_obj_cache/pv_obj_id_7410989F4294AE44A2EBF6A80ADB640BCA8E4200/filename/ERG2012.pdf)

Transporte Informativo & CESVI. (02 de Febrero de 2012). *El sistema de suspensión en los vehículos pesados*. Obtenido de Transporte informativo Web site: <http://transporteinformativo.com/informacion-tecnica/el-sistema-de-suspension-en-los-vehiculos-pesados>

TRUCK WORKS. (2012). *Equipment Truck Works*. Obtenido de Sitio Web de Truck Works: [http:// www.truckworksllc.com](http://www.truckworksllc.com)