



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“DISEÑO DE UN AUTOTANQUE DE CABEZA SEMIESFÉRICA, DE 8000 GLS PARA TRANSPORTE DE GLP, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SOFTWARE CAE”

**FUENTES CASTILLO MARCO GUILLERMO
JÁCOME ALBÁN JOSÉ LUIS**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

**RIOBAMBA – ECUADOR
2017**

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2017-01-24

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**FUENTES CASTILLO MARCO GUILLERMO
JÁCOME ALBÁN JOSÉ LUIS**

Titulado:

**“DISEÑO DE UN AUTOTANQUE DE CABEZA SEMIESFÉRICA, DE 8000 GLS
PARA TRANSPORTE DE GLP, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE
SOFTWARE CAE”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Mariana Elizabeth Villa Orozco
DIRECTOR

Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: FUENTES CASTILLO MARCO GUILLERMO

TRABAJO DE TITULACIÓN: **“DISEÑO DE UN AUTOTANQUE DE CABEZA SEMIESFÉRICA, DE 8000 GLS PARA TRANSPORTE DE GLP, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SOFTWARE CAE”**

Fecha de Examinación: 2017-01-24

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Mariana Elizabeth Villa Orozco DIRECTORA			
Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JÁCOME ALBÁN JOSÉ LUIS

TRABAJO DE TITULACIÓN: **“DISEÑO DE UN AUTOTANQUE DE CABEZA SEMIESFÉRICA, DE 8000 GLS PARA TRANSPORTE DE GLP, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SOFTWARE CAE”**

Fecha de Examinación: 2017-01-24

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Mariana Elizabeth Villa Orozco DIRECTORA			
Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Fuentes Castillo Marco Guillermo

Jácome Albán José Luis

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Marco Guillermo Fuentes Castillo y José Luis Jácome Albán, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Fuentes Castillo Marco Guillermo
Cedula de Identidad: 171835476-2

Jácome Albán José Luis
Cedula de Identidad: 172555647-4

DEDICATORIA

Dedico este logro primeramente a Dios, por la sabiduría, fortaleza y perseverancia que me brindó en este camino para alcanzar mi tan anhelada meta.

A mi mamá Francisca, por enseñarme lo importante de la educación y preparación académica, a mi papá Marco, por enseñarme lo importante de alcanzar nuestras metas con honestidad y por méritos propios, a mis hermanos Eduardo y Dayana por cada palabra de aliento, sobre todo en los momentos difíciles y a mi futura esposa Silvia Herrera, por todo su amor y apoyo incondicional en este largo y difícil camino.

A mis amigos, José Luis Jácome, Henry Rodríguez y Miguel Merino, por creer en mí y por todo su apoyo, “más que mis amigos, son mis hermanos”.

Y finalmente a todos los profesores quienes me brindaron sus conocimientos a lo largo de mi preparación académica, especialmente a los Ingenieros Mariana Villa y Edwin Pozo, por ayudarme a subir el último escalón de mi carrera.

Marco Guillermo Fuentes Castillo

A mis padres José y Margoth quienes con su cariño, paciencia, sacrificio y esfuerzo supieron comprenderme y motivarme a continuar sin importar las veces que se caiga, siempre me apoyaron y más aún en los momentos más difíciles de mi vida.

A mi hermana Silvia Amparo que siempre me motivo a culminar mis objetivos y me brindó su apoyo incondicional

A mi hija Arelis Sofía quien es la inspiración para seguir adelante y me dio el último empujón para terminar mi trabajo de titulación

A mi familia en especial a mi abuelito Luis y a mis tíos Jorge y Cesar quienes de una y otra manera me apoyaron para conseguir mis metas en la vida

A esa persona tan especial Yadira, quien con su paciencia, insistencia, su forma de ser me apoyo en culminar mis metas.

A mis amigos a los que no es necesario mencionarlos porque saben quiénes son, y que me demostraron de una u otra forma sus grandiosa amistad.

José Luis Jácome Albán

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme permitido alcanzar una de mis metas tan anheladas, a mis padres Marco y Francisca, a mis hermanos Eduardo y Dayana y a mi futura esposa Silvia Herrera por todo el apoyo incondicional en lo largo de mi carrera.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por haberme abierto las puertas del conocimiento para permitirme obtener una profesión y poder aportar al desarrollo de la sociedad.

Finalmente agradezco a cada profesor que me impartió su conocimiento, especialmente a los Ingeniero Edwin Pozo y Mariana Villa, quienes con su conocimiento hicieron posible este trabajo de titulación.

Marco Guillermo Fuentes Castillo

A Dios, por darme la sabiduría y fuerzas para cumplir todas mis metas.

A mis padres, a mi hermana, toda mi familia en general y a mis amigos, quienes siempre me brindaron su apoyo de manera incondicional

A la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO que por intermedio de la ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ y sus docentes supo brindarme sus conocimientos para el desarrollo de nuestro país

A los docentes que me dirigieron y ayudaron en el desarrollo de mi trabajo de titulación, especialmente a los ingenieros: Mariana Villa y Edwin Pozo que con su ayuda fue factible la culminación de mi trabajo de titulación.

José Luis Jácome Albán

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. OBJETIVOS	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	3

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. MARCO CONCEPTUAL	4
2.2. GENERALIDADES	4
2.2.1. AUTOTANQUE DE GLP.	4
2.2.2. PARTES DEL AUTOTANQUE:	5
2.2.3. GAS LICUADO DE PETRÓLEO GLP	15
2.2.4. CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS DEL GLP COMERCIAL EN ECUADOR.	17

3. CLASIFICACIÓN DE LOS AUTOTANQUES.

3.1. SEGÚN LA DISPOSICIÓN DEL RECIPIENTE (TANQUE)	18
3.1.1. RECIPIENTE SOBRE CAMIÓN.	18
3.1.2. RECIPIENTE SOBRE PLATAFORMA.....	18
3.1.3. RECIPIENTE AUTO-PORTANTE.	18
3.1.4. CONTENEDOR RECIPIENTE.	19
3.2. SEGÚN MATERIALES CONSTRUCTIVOS	19
3.3. SEGÚN EL COMPARTIMENTAJE	19
3.3.1. COMPARTIMENTADAS.	19
3.3.2. SIN COMPARTIMENTAR.....	20
3.4. TIPOS DE AUTOTANQUES PARA TRANSPORTE DE GASES.	20
3.4.1. AUTOTANQUES DE GASES INFLAMABLES CRIOGÉNICOS (GNL).....	20
3.4.2. AUTOTANQUES DE GASES INERTES, CRIOGÉNICOS	21
3.4.3. AUTOTANQUE DE GAS INFLAMABLE (GLP).....	22

4. DISEÑO DEL RECIPIENTE DEL AUTOTANQUE.

4.1. NORMATIVAS PARA EL DISEÑO DE RECIPIENTES A PRESIÓN	26
4.1.1. NORMAS	26
4.1.2. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN, INEN	26
4.1.3. CÓDIGO ASME.....	26
4.2. DIMENSIONAMIENTO DEL RECIPIENTE	27
4.2.1. CÁLCULO DEL DIÁMETRO INTERNO (DI) DEL RECIPIENTE	28
4.3. ANÁLISIS DE CARGAS	29
4.3.1. TEMPERATURA DE DISEÑO	29
4.3.2. PRESIÓN DE DISEÑO.....	30
4.3.3. PESO DEL PRODUCTO	35
4.3.4. CARGAS POR VIENTO.....	38

4.3.5.	CARGAS VIVAS	43
4.3.6.	CARGAS MUERTAS.....	45
4.4.	DESIGNACIÓN DE MATERIAL Y CÁLCULO DE ESPESORES	46
4.4.1.	MATERIAL	46
4.4.2.	EFICIENCIA DE JUNTAS (SOLDADURA).....	48
4.4.3.	CÁLCULO DE ESPESOR DE CUERPO Y CABEZA SEMIESFÉRICA	52
4.4.4.	DISEÑO DE BOCAS	55
4.4.5.	ROMPE OLAS (BAFLES).....	64
4.4.6.	OREJA DE IZAJE	65
4.4.7.	RESULTADOS DEL DISEÑO DEL RECIPIENTE.....	67
4.5.	PROCEDIMIENTO DE PINTURA.....	68

5. DISEÑO DE BASTIDOR DEL AUTOTANQUE.

5.1.	NORMATIVAS PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA (BASTIDOR) DEL AUTOTANQUE ..	71
5.1.1.	ESPECIFICACIÓN AISC	71
5.1.2.	DIMENSIONAMIENTO DEL BASTIDOR	71
5.2.	DETERMINACIÓN DE CARGAS.....	71
5.2.1.	CARGAS MUERTAS.....	71
5.2.2.	CARGA VIVA.....	72
5.2.3.	APLICACIÓN DE CARGAS EN EL CHASIS	73
5.3.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA (BASTIDOR)	73
5.3.1.	VIGAS PRINCIPALES.....	75
5.3.2.	DISEÑO DE VIGAS DE AMARRE.....	85
5.4.	RESUMEN DE DIMENSIONES DE LAS VIGAS DEL BASTIDOR	90

6. SELECCIÓN DE ACCESORIOS.

6.1.	SELECCIÓN DE KING PIN Y QUINTA RUEDA.....	91
6.1.1.	KING PIN.....	91
6.1.2.	QUINTA RUEDA	93
6.2.	SELECCIÓN DE PATAS TELESCÓPICAS	94
6.3.	SELECCIÓN DE LLANTAS.....	95
6.4.	SELECCIÓN DE SISTEMA DE SUSPENSIÓN	96
6.4.1.	SUSPENSIÓN	97
6.4.2.	EJE.....	97
6.5.	LISTA DE MATERIALES	98

7. VALIDACIÓN DE ELEMENTOS EN SOFTWARE CAE.

7.1.	DETALLE DE LAS CARGAS A SER APLICADAS.....	104
7.2.	ANÁLISIS CABEZAS SEMIESFERAS (TAPAS) EN ANSYS WORKBENCH.....	104
7.2.1.	CABEZA SEMIESFÉRICA DELANTERA	105
7.2.2.	CABEZA SEMIESFÉRICA POSTERIOR	109
7.3.	ANÁLISIS CUERPO CILÍNDRICO EN ANSYS WORKBENCH	113
7.4.	ANÁLISIS DEL BAFLE EN ANSYS WORKBENCH	117
7.5.	ANÁLISIS DE OREJAS DE IZAJE EN ANSYS WORKBENCH	121
7.6.	ANÁLISIS DEL RECIPIENTE EN ANSYS WORKBENCH.....	124
7.7.	ANÁLISIS DE BOCAS Y CAPS EN ANSYS WORKBENCH.....	128

7.7.1. BOCA 1	129
7.7.2. CAP 2.....	132
7.7.3. RESUMEN DE VALIDACIÓN DE BOCAS Y CAPS EN SOFTWARE CAE	135
7.8. ANÁLISIS DEL BASTIDOR EN ANSYS WORKBENCH.....	135
7.9. ANÁLISIS DE LA BASE DEL KING PIN EN ANSYS WORKBENCH.	139
7.10. RESUMEN DE LA VALIDACIÓN EN SOFTWARE CAE.	143

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

8.1. CONCLUSIONES	144
8.2. RECOMENDACIONES.....	145

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Semirremolque tipo tanque cisterna.....	5
Figura 2-2. Tracto-camión de un eje.....	5
Figura 2-3. Tracto-camión de dos ejes	6
Figura 2-4. Composición del recipiente.....	6
Figura 2-5. Manhole	7
Figura 2-6. Válvula de corte	8
Figura 2-7. Válvula de seguridad.....	8
Figura 2-8. Galga rotativa.....	9
Figura 2-9. Ubicación del tubo para conocer el nivel de líquido.....	9
Figura 2-10. Conexión a tierra.....	10
Figura 2-11. Orejas de izaje.....	10
Figura 2-12. Baffles	11
Figura 2-13. Autotanque con bastidor	11
Figura 2-14. Autotanque con bastidor falso	12
Figura 2-15. Suspensión	12
Figura 2-16. Frenos.....	12
Figura 2-17. Ejes.....	13
Figura 2-18. Llantas.....	13
Figura 2-19. King pin	14
Figura 2-20. Quinta rueda.....	14
Figura 2-21. Patas telescópicas.....	14
Figura 2-22. Presión de vapor.....	16
Figura 2-23. Peso líquido y de vapor de GLP	17
Figura 3-1. Recipiente sobre camión	18
Figura 3-2. Recipiente sobre plataforma	18
Figura 3-3. Recipiente Auto-portante	19
Figura 3-4. Contenedor recipiente	19
Figura 3-5. Recipiente compartimentado	20
Figura 3-6. Recipiente sin compartimentar	20
Figura 3-7. Autotanque de gas natural.....	21
Figura 3-8. Autotanque de gases inertes, criogénicos	22
Figura 3-9. Autotanque de GLP.....	23
Figura 3-10. Cantidad de llenado del autotanque de GLP	23
Figura 4-1. Esquema de Barlovento y Sotavento que se generan en la parte Frontal del tanque.....	39
Figura 4-2. Esquema de Barlovento y Sotavento que se generan en la parte lateral del tanque.....	39
Figura 4-3. Vista frontal del recipiente.....	41
Figura 4-4. Vista lateral del recipiente	42
Figura 4-5. Eficiencia de soldadura.	50
Figura 4-6. Tipos de soldadura.	52
Figura 4-7. Bocas C2	56
Figura 4-8. Identificación de áreas en bocas	58
Figura 4-9. Boca 1	60

Figura 4-11. Boca 3	60
Figura 4-10. Boca 2	61
Figura 4-12. Boca 4	61
Figura 4-13. Boca 5 A/B.....	62
Figura 4-14. Boca C1/C2.....	62
Figura 4-15. Manhole.	63
Figura 4-16. Bafle.....	64
Figura 4-17. Tipos de Baffles.	65
Figura 4-18. Oreja de izaje	65
Figura 4-19. Oreja de izaje	66
Figura 5-1. Ubicación de apoyos	75
Figura 5-2. Diagrama de cuerpo libre en la viga principal	76
Figura 5-3. Carga distribuida en la estructura en la viga principal.....	77
Figura 5-4. Diagrama de cortante por carga muerta en la viga principal	78
Figura 5-5. Identificación de áreas	78
Figura 5-6. Relación de triángulos.....	79
Figura 5-7. Diagrama de momento por carga muerta en la viga principal	80
Figura 5-8. Diagrama de Cortante por carga viva en la viga principal.....	80
Figura 5-9. Diagrama de momento por carga viva	81
Figura 5-10. Perfiles en L utilizados en el diseño de la viga principal.....	82
Figura 5-11. Diagrama de cuerpo libre en la viga de amarre	85
Figura 5-12. Diagrama de cortante por carga muerta en la viga de amarre.....	86
Figura 5-13. Diagrama de momento por carga muerta en la viga de amarre	86
Figura 5-14. Diagrama de cortante por carga viva en la viga de amarre.....	86
Figura 5-15. Diagrama de momento por carga viva en la viga de amarre.....	87
Figura 5-16. Perfil en L utilizado en la viga de amarre	87
Figura 6-1. King pin	93
Figura 6-2. Quinta rueda.....	94
Figura 6-3. Patas telescópicas.....	94
Figura 6-4. Neumático Para camión M729.....	95
Figura 6-5. Suspensión. Mecánica Mod. Europa 10,5-11Tn.....	97
Figura 6-6. EJES SCHULZ: 420x220 / 420x180 R-22.5 Sencilla	97
Figura 7-1. Cabeza semiesférica delantera	105
Figura 7-2. Valor promedio de Malla de la cabeza delantera.....	105
Figura 7-3. Malla - Element quality de la cabeza delantera	106
Figura 7-4. Aplicación de cargas de la cabeza delantera.....	106
Figura 7-5. Aplicación de presión hidrostática de la cabeza delantera.....	107
Figura 7-6. Análisis de esfuerzos de la cabeza delantera	107
Figura 7-7. Análisis de deformación de la cabeza delantera	108
Figura 7-8. Análisis del factor de seguridad de la cabeza delantera.....	108
Figura 7-9. Cabeza semiesférica posterior.....	109
Figura 7-10. Valor promedio de Malla de la cabeza posterior	109
Figura 7-11. Malla - Element quality de la cabeza posterior.....	110
Figura 7-12. Aplicación de cargas y soportes de la cabeza posterior	110
Figura 7-13. Aplicación de presión hidrostática de la cabeza posterior	111
Figura 7-14. Análisis de esfuerzos de la cabeza posterior.....	111
Figura 7-15. Análisis de deformación de la cabeza posterior.....	112

Figura 7-16. Análisis de factor de seguridad de la cabeza posterior	112
Figura 7-17. Cuerpo cilíndrico	113
Figura 7-18. Valor promedio de malla del cuerpo cilíndrico	113
Figura 7-19. Malla - Element quality del cuerpo cilíndrico	114
Figura 7-20. Aplicación de cargas y soportes del cuerpo cilíndrico.....	114
Figura 7-21. Aplicación de presión hidrostática del cuerpo cilíndrico.....	115
Figura 7-22. Análisis de esfuerzos del cuerpo cilíndrico	115
Figura 7-23. Análisis de deformación del cuerpo cilíndrico	116
Figura 7-24. Análisis de factor de seguridad del cuerpo cilíndrico	116
Figura 7-25. Baffles	117
Figura 7-26. Valor promedio de malla de baffles	118
Figura 7-27. Malla - Element quality de baffles	118
Figura 7-28. Aplicación de cargas y soportes de baffles	119
Figura 7-29. Análisis de esfuerzos de baffles	119
Figura 7-30. Análisis de deformación de baffles	120
Figura 7-31. Análisis de factor de seguridad de baffles.....	120
Figura 7-32. Oreja de izaje	121
Figura 7-33. Valor promedio de Malla de las orejas de izaje	121
Figura 7-34. Malla - Element quality de las orejas de izaje	122
Figura 7-35. Aplicación de cargas de las orejas de izaje	122
Figura 7-36. Análisis de esfuerzos de las orejas de izaje.....	123
Figura 7-37. Análisis de deformación de las orejas de izaje	123
Figura 7-38. Análisis de factor de seguridad de las orejas de izaje	124
Figura 7-39. Recipiente	124
Figura 7-40. Valor promedio de Malla del recipiente	125
Figura 7-41. Malla - Element quality del recipiente.....	125
Figura 7-42. Aplicación de presión hidrostática del recipiente	126
Figura 7-43. Aplicación de cargas y soportes del recipiente	126
Figura 7-44. Análisis de esfuerzos del recipiente	127
Figura 7-45. Análisis de deformación del recipiente.....	127
Figura 7-46. Análisis de factor de seguridad del recipiente	128
Figura 7-47. Cap 2	128
Figura 7-48. Boca 1	128
Figura 7-49. Valor promedio de la Boca 1	129
Figura 7-50. Malla - Element quality de la Boca 1	129
Figura 7-51. Aplicación de cargas y soportes de la Boca 1	130
Figura 7-52. Análisis de esfuerzos de la Boca 1	130
Figura 7-53. Análisis de deformación de la Boca 1	131
Figura 7-54. Análisis de factor de seguridad de la Boca 1	131
Figura 7-55. Valor promedio del Cap 2.....	132
Figura 7-56. Malla - Element quality del Cap 2	132
Figura 7-57. Aplicación de cargas y soportes del Cap 2	133
Figura 7-58. Análisis de esfuerzos del Cap 2	133
Figura 7-59. Análisis de deformación del Cap 2	134
Figura 7-60. Análisis de factor de seguridad del Cap 2.....	134
Figura 7-61. Bastidor	135
Figura 7-62. Bastidor y recipiente	136

Figura 7-63. Valor promedio de Malla del bastidor	136
Figura 7-64. Malla - Element quality del bastidor.....	137
Figura 7-65. Aplicación de cargas y soportes del bastidor.....	137
Figura 7-66. Análisis de esfuerzos del bastidor.....	138
Figura 7-67. Análisis de deformación del bastidor.....	138
Figura 7-68. Análisis de factor de seguridad del bastidor	139
Figura 7-69. Base del King pin.....	139
Figura 7-70. Valor promedio de la base del King pin	140
Figura 7-71. Malla - Element quality de la base del King pin.....	140
Figura 7-72. Aplicación de cargas y soportes de la base del King pin	141
Figura 7-73. Análisis de esfuerzos de la base del King pin.....	141
Figura 7-74. Análisis de deformación de la base del King pin.....	142
Figura 7-75. Análisis de factor de seguridad de la base del King pin	142

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1. Clasificación de los Autotankes Para Transporte de Fluidos Gaseosos.	25
Tabla 4-1. Estructura del código ASME Sección VIII división 1.	27
Tabla 4-2. Temperatura de Operación y Temperatura de Diseño.....	29
Tabla 4-3. Valores correspondientes de las constantes A, B y C para cada gas	30
Tabla 4-4. Resumen de presión de vapor del GLP	34
Tabla 4-5. Peso del recipiente	45
Tabla 4-6. Peso de accesorios	46
Tabla 4-7. Composición química del acero ASTM/A ASME SA-516-70	47
Tabla 4-8. Valores máximos de esfuerzo para el acero ASTM/A ASME SA-516-70 a diferentes temperaturas.	48
Tabla 4-9. Propiedades del acero SA-516-70 vs A36.....	48
Tabla 4-10. Resumen del cálculo de la Boca 1	60
Tabla 4-12. Resumen del cálculo de la Boca 2	60
Tabla 4-11. Resumen del cálculo de la Boca 3	61
Tabla 4-13. Resumen del cálculo de la Boca 4	61
Tabla 4-14. Resumen del cálculo de la Boca 5 A/B	62
Tabla 4-15. Resumen del cálculo de la Boca C1/C2	62
Tabla 4-16. Resumen del cálculo del Manhole.....	63
Tabla 4-17. Dimensionamiento de orejas de izaje	66
Tabla 4-18. Espesores de los cilindros y cabezas	67
Tabla 4-19. Presión y temperatura de diseño	68
Tabla 5-1. Cargas muertas	72
Tabla 5-2. Cargas vivas.....	72
Tabla 5-3. Factor de carga o de seguridad LRFD	75
Tabla 5-4. Resumen de reacciones en los apoyos por carga viva y por carga muerta...	77
Tabla 5-5. Resumen de reacciones en cada viga principal	77
Tabla 5-6. Resumen de cortante y momentos máximos por carga muerta	80
Tabla 5-7. Resumen de cortante y momentos máximos por carga viva	81
Tabla 5-8. Carga de la estructura y carga en una viga	85
Tabla 5-9. Reacciones en la viga de amarre por carga muerta y carga viva.....	86
Tabla 5-10. Resumen de cortante y momentos máximos por carga muerta	86
Tabla 5-11. Resumen de cortante y momentos máximos por carga viva	87
Tabla 5-12. Dimensiones de las vigas del bastidor.....	90
Tabla 6-1. Determinación de peso admisible del semirremolque.....	91
Tabla 6-2. Determinación de peso admisible del vehículo tracto incluido U	92
Tabla 6-3. Características del King pin.....	92
Tabla 6-4. Características de la quinta rueda.....	93
Tabla 6-5. Especificaciones Técnicas	95
Tabla 6-6. Especificaciones técnicas del neumático.....	96
Tabla 6-7. Especificaciones Técnicas	97
Tabla 6-8. Especificaciones Técnicas	98
Tabla 6-9. Resumen de selección de elementos.....	98
Tabla 6-10. Lista de materiales	99
Tabla 7-1. Resumen de validación de bocas y caps en software CAE	135

Tabla 7-2. Resumen De Validación En Software CAE.	143
---	------------

LISTA DE ABREVIACIONES

ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (American Society of Mechanical Engineers)
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (American Society for Testing and Materials)
AISC	Instituto Americano de Construcción de Acero (American Institute of Steel Construction)
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
GLP	Gas Licuado de Petróleo
MTOP	Ministerio de Transporte y Obras Públicas
DOT	Departamento de Transporte (Department of Transportation)
CAE	Ingeniería Asistida por Ordenador (Computer Aided Engineering.)
ARCH	Agencia de Regulación y Control Hidrocarbúrfero
ADR	Acuerdo Europeo Relativo al Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera (European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road)
AISI	Instituto Americano de Acero y Hierro (American Iron and Steel Institute)
ASCE	Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (American Society of Civil Engineers)
API	Instituto Americano del Petróleo (the American Petroleum Institute)
ANSI	Instituto Nacional Americano de Estándares (American National Standards Institute)
AWS	Sociedad Americana de Soldadura (American Welding Society)
MAWP	Presión de Trabajo Máxima Admisible (Maximum Allowable Working Pressure)
MDMT	Temperatura Mínima de Diseño del Metal (Minimum Design Metal Temperature)
MAP	Presión Máxima Admisible (Maximum Allowable Pressure)
MAEP	Presión Externa Máxima Admisible (Maximum Allowable External Pressure)
WRC	Consejo de Investigación de Soldadura (Welding Research Council)
SSPC	Consejo de Pintura para Estructuras de Acero (Steel Structures Painting Council)
WPQ	Calificación del Desempeño del Soldador (Welder Performance Qualification)
PQR	Registro de Calificación de Procedimiento (Procedure Qualification Record)

WPS	Especificaciones del procedimiento de Soldadura (Welding Procedure Specification)
TIG	Soldadura por gas inerte de tungsteno (Tungsten Inert Gas)
SAW	Soldadura por arco sumergido (Submerged Arc Welding)
SMAW	Sistema de soldadura por arco manual (Welding Arc Manual System)
FCAW	Soldadura por arco con núcleo de fundente (Flux Cored Arc Welding)
LRFD	Factores de Carga y Resistencia (Load and Resistance Factor Design)
ASD	Resistencias Admisibles (Allowable Strength Design)

LISTA DE ANEXOS

- A. Características Físico – Químico del GLP.
- B. Tabla nacional de pesos y dimensiones MTOP.
- C. Ecuación de Antoine.
- D. Sistemas de soldadura, Indura.
- E. Características de Bocas.
- F. Características de Bridas.
- G. Granallado – Normas de preparación de superficies.
- H. Rendimiento teórico de pintura.
- I. Consumo de pintura.
- J. Razones Ancho – Espesor, AISC 360.
- K. Aplicación de secciones, AISC 360.
- L. VIGA-PRINCIPAL
- M. VIGA-DE-AMARRE
- N. Especificaciones técnicas – Camión Mack GU 813 T18.
- O. Cargas admisibles para King pin.
- P. Características del King pin.
- Q. Cargas admisibles para quinta rueda.
- R. Características de la quinta rueda.
- S. Características de patas telescópicas.
- T. Llantas Bridgestone.
- U. Características de suspensión.
- V. Características de ejes.
- W. Manómetro de Presión.
- X. Válvula de seguridad.
- Y. ACME Adaptadores.
- Z. Llaves de paso.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo diseñar un autotank de cabeza semiesférica de 8000 GLS para transporte de GLP, mediante la aplicación de software cae, para este proyecto se hizo un estudio de los diferentes autotank que existe para el transporte terrestre de gases en donde se establece el más idóneo para el transporte de GLP y las partes que lo constituye, utilizando las normas ASME, AISC e INEN en donde permitió conocer los diferentes parámetros para el diseño como son el material y sus diferentes propiedades físicas y mecánicas, el dimensionamiento adecuado para no infringir lo que establece en la Ministerio de Transporte y Obras Públicas, espesores mínimos para la presión de diseño, cargas vivas que representa el peso del fluido, cargas muertas que representa el peso de la estructura, máximas presiones, esfuerzos máximos, tipo de soldaduras a aplicarse en el recipiente y el bastidor, los cuales facilitaron en el diseño del autotank. El bastidor, las cabezas semiesféricas, el cuerpo, bocas, baffles, del recipiente, fueron dibujados en SOLIDWORKS y validados en ANSYS WORKBENCH en donde los resultados de deformación, esfuerzo y factor de seguridad ratificaron el diseño. El King pin, patas telescópicas, ejes, sistema de suspensión, y llantas se seleccionaron de catálogos en función de los requerimientos calculados en el diseño. Una vez finalizado el diseño, validación y selección de elementos adicionales del autotank se procedió a realizar la ingeniería de detalle la cual es un aporte para la industria nacional. Este proyecto tiene la finalidad de proveer a la industria nacional un diseño actualizado, validado y planos de construcción. Se recomienda realizar un estudio más enfocado en cada una de las partes del autotank y riesgos por volcaduras

PALABRAS CLAVES: <AUTOTANQUE>, <SEMIRREMOLQUE>, <ELEMENTO DE ANCLAJE (KING PIN)>, < OREJAS DE IZAJE>, < ROMPE OLAS >, < GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP) >, < TEMPERATURA DE DISEÑO>, < PRESIÓN DE DISEÑO>, <SOLIDWORKS (SOFTWARE)>.

ABSTRACT

The current graduation work aims to design a cargo tank of semi spherical head of 8000 GLS for LPG transportation, by means of the CAE software application, for this Project it was performed a study of different cargo tanks available at terrestrial transportation of gases where the most adequate for LPG transportation is set, as well as the parts it is made of by using the ASME, AISC and INEN norms which allowed to know the different parameters for the design such as the material and its different physical and mechanical properties, the adequate dimensioning for not violating the norm of the Transport and Public Works Ministry, minimal thickness for the pressure of design, live loads which represent the weight of the fluid, dead loads which represent the weight of the structure, maximum pressure, maximum efforts, kinds of welding to be applied in the container and the frame, which eased the design of the cargo tank. The frame, the semi spherical heads, the body, mouths, baffles of the container were drawn in SOLIDWORKS and validated in ANSYS WORKBENCH where the results of deformation, effort and safety confirmed the design. The King pin, telescope legs, axis, suspension system and wheels were selected from catalogues based on the requirement stated in the design. Once the design was ended, the validation and selection of additional elements of the cargo tank, the engineering of detail was performed which is a collaboration for the national industry. This project aims to provide the national industry an upgraded, validated design, and construction plans. It is recommended to carry out a study mostly focused on each one of the parts of the cargo tank and risks for rollovers.

KEY WORDS: <CARGO TANK>, <TRACTOR TRAILER>, <ANCHORING ELEMENT (KING PIN)>, <LIFTING LUGS>, <BREAKWATERS>, <LIQUIFIED PETROLEUM GAS (LPG)>, <DESIGN TEMPERATURE>, <DESIGN PRESSURE>, <SOLIDWORKS (SOFTWARE)>.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La comercialización y posterior consumo de Gas Licuado de Petróleo (GLP), se inicia en Ecuador a partir de 1956 convirtiéndose pronto en un producto de gran demanda para uso doméstico e industrial. Los porcentajes de consumo de GLP están alrededor de un 30% para uso industrial y 70% para uso doméstico. (ARCH, 2014)

La construcción de recipientes y bastidores de autotanques para el transporte de GLP en el Ecuador se ha incrementado debido al aumento del consumo y producción de GLP tanto para uso industrial como doméstico, a partir de esto se tiene la creación empresas que se dedica a la construcción de autotanques.

El índice de accidentes ocasionados no solo por una falla del conductor, sino además por una falla en el diseño o construcción del autotanques es considerable en Ecuador. Esto se debe a que el diseño y construcción no se encuentran certificados bajo ningún tipo de normativa que garantice la calidad del autotanque, el correcto diseño de recipientes y bastidores de autotanques, la correcta unión de su estructura por soldadura, el adecuado uso de válvulas y accesorios especialmente diseñados para el transporte de GLP. Todos estos parámetros que no se los toman en cuenta en la industria ecuatoriana, hacen que los autotanques fabricados de manera irregular sean un riesgo para la seguridad de sus operarios y para el entorno en general.

Al existir en el Ecuador poco acceso a información referente al diseño y construcción de autotanques, las empresas que recientemente se dedican a esta actividad por lo general cometen errores de sobredimensionamiento provocando un excesivo peso y costo de materiales. Algunas empresas, realizan el diseño y la construcción de autotanques, con poco criterio tecnológico y sin garantías de seguridad para las personas quienes lo manipulen y para el fluido transportado; por este motivo se tiene la necesidad de realizar el presente proyecto, bajo la aplicación de normativas y recursos tecnológicos, los cuales permitan resolver el mencionado problema, realizando de esta manera un

aporte a la industria nacional.

1.2. Justificación

En Ecuador, el Gas Licuado de Petróleo (GLP) es una necesidad básica. En el año 2014 su demanda en todo el país ascendió a 12,5 millones de Barriles (540,4 millones de galones) y en 2015 ascendió 12,7 millones de barriles (549 millones de galones), siendo utilizado tanto en los hogares como en los procesos industriales y comerciales, esto hace necesario el uso de autotankers para el transporte de este combustible. Los autotankers deben cumplir con algunos requisitos de construcción y aplicación de normas ASME y AISC, para así garantizar el transporte seguro del combustible. (ARCH, 2014) (Revista Ekos, 2014)

Las empresas nacionales que se dedican a la construcción de recipientes y bastidores de autotankers para el transporte de combustibles, generan un beneficio para la sociedad, porque fomentan la creación de plazas de trabajo; actualmente en Ecuador, existen algunas empresas que tienen un estudio ingenieril elemental o básico, por lo que necesitan verificar y optimizar su construcción con el uso de normas y herramientas computacionales para mejorar su diseño y producción. (INEN, 2012)

Las normas tienen valor indicativo y de guía, actualmente su uso es cada vez mayor y hay un gran interés en seguir las normas existentes, porque desde el punto de vista social y económico permite, salvaguardar la salud e integridad humana, proteger el medio ambiente, reducir costos, tiempo y mano de obra. La selección y aplicación de la norma adecuada permitirá mejorar y respaldar el diseño del autotanker para el transporte de GLP. (RETOS EN SUPPLY CHAIN, 2014)

En el presente proyecto, se propone diseñar un autotanker de cabeza semiesférica para el transporte de GLP mediante la aplicación de software CAE y de normativas de diseño, para ello se hará uso de la aplicación de criterios de diseño mecánico, para garantizar su correcto funcionamiento y reducir los gastos que actualmente representa su diseño y fabricación.

1.3. Objetivos

1.3.1. *Objetivo general.*

Diseñar un autotanque de cabeza semiesférica de 8000 GLS para transporte de GLP, mediante la aplicación de software CAE, para garantizar el diseño.

1.3.2. *Objetivos específicos:*

Determinar cuáles son los diferentes tipos de autotanques que existen para el transporte de GASES, mediante revisión bibliográfica, para conocer sus especificaciones de funcionamiento.

Utilizar las normas ASME y AISC, mediante el correcto manejo de las mismas para el proceso de diseño, del recipiente y del bastidor del autotanque.

Establecer los parámetros correspondientes de diseño, mediante una revisión bibliográfica para el diseño del autotanque.

Validar el diseño del recipiente y del bastidor para el autotanque de cabeza semiesférica de 8000 GLS para el transporte de GLP, mediante la aplicación de software CAE, para garantizar el diseño.

Seleccionar el King pin, patas telescópicas, llantas y sistema de suspensión posterior adecuadas para la capacidad de carga del autotanque, mediante el uso de catálogos.

Realizar la ingeniería de detalle para el autotanque de cabeza semiesférica de 8000 GLS para el transporte de GLP, mediante la utilización del diseño realizado en software CAE, para aportar a la industria nacional.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco conceptual

Autotanque. Un autotanque se define como un vehículo que está diseñado para transportar fluidos, estos carecen de fuerza motriz propia y que para su movilización necesita de un vehículo con potencia suficiente para transportarlo, y que debe cumplir con características adecuadas para realizarlo. (BLESA PÉREZ)

Bastidor. Se conocen como bastidor a aquellas estructuras las cuales tienen como función soportar y/o sujetar distintos elementos que conformen una máquina o mecanismo.

King pin. Elemento que sirve como anclaje entre el tracto-camión y el semi-remolque, este elemento es seleccionado según la dimensión de la carga a ser remolcada.

GLP. Gas licuado de petróleo, es una mezcla de gases, compuesto principalmente de propano y butano, en nuestro país está compuesto de un 70% propano y 30% butano y su uso es de tipo doméstico e industrial.

Densidad. Magnitud dada tanto en física como en química, como la cantidad de masa comprendida en cierto volumen de materia.

Presión hidrostática. Presión generada por el peso de un fluido en reposo, esta presión se genera sobre las paredes del recipiente que lo contiene y es de mayor intensidad en la parte más baja de dicho recipiente.

2.2. Generalidades

2.2.1. Autotanque de GLP.

Vehículo equipado con un recipiente, destinado a transportar GLP, el peso del fluido es soportado por las ruedas del semirremolque y sobre las ruedas del tracto-camión.



Figura 2-1. Semirremolque tipo tanque cisterna
Fuente: (BLESÁ PÉREZ)

2.2.2. Partes del Autotanque:

El autotanque está compuesto por el tracto-camión y semirremolque.

Tracto-camión.

Vehículo diseñado para remolcar semirremolques y soportar el peso que trasmite el recipiente, el peso del GLP, el peso del bastidor, suspensión, llantas, etc., mediante un mecanismo llamado quinta rueda.

La quinta rueda se encuentra ubicada en la parte posterior y depende del número de ejes del tracto-camión.

Tipos de tracto camiones según el número de ejes.

Un eje: Utilizado para cargas ligeras y distancias cortas.

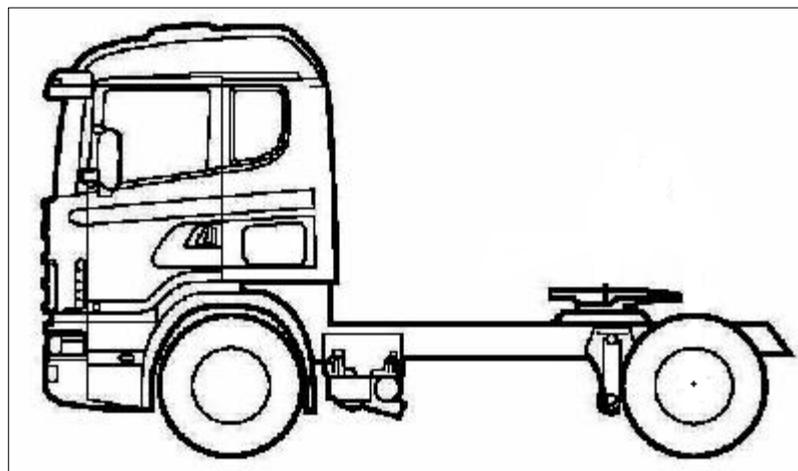


Figura 2-2. Tracto-camión de un eje
Fuente: (Ingemecánica)

Dos ejes: Utilizados para cargas pesadas y distancias largas.

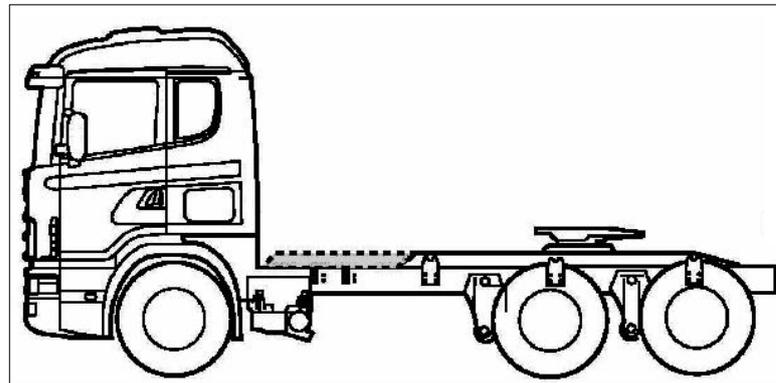


Figura 2-3. Tracto-camión de dos ejes
Fuente: (Ingemecánica)

Semirremolque.

Vehículo sin propulsión propia y sin eje delantero, diseñado para ser acoplado a un tracto-camión, sobre el que reposara parte de el mismo y transmitiéndole parte del peso mediante la quinta rueda.

El semirremolque está compuesto por el recipiente con sus respectivas partes y el bastidor, sistema de suspensión, ejes, llantas, patas telescópicas, King pin y quita rueda,

Recipiente o depósito.

El recipiente se constituye a partir de varios cilindros y dos cabezas (tapas) semiesféricas ubicadas una en cada extremo. Los cilindros y las cabezas están unidos por soldadura.

Las cabezas semiesféricas están destinadas para recipientes sometidos a presiones internas altas.

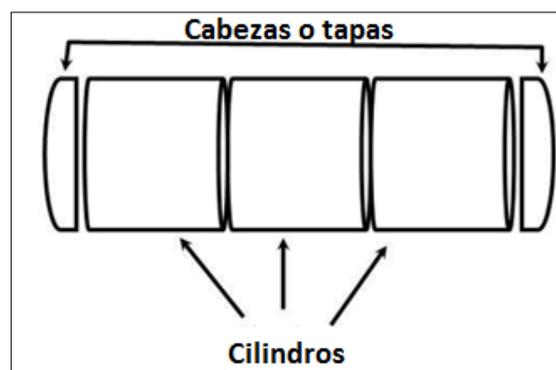


Figura 2-4. Composición del recipiente
Fuente: (BLESÀ PÈREZ)

Los recipientes pueden ser de sección circular o elíptica. Los recipientes que almacenan productos a presión tal como GLP siempre son de sección circular, ya que esta geometría garantiza una mayor resistencia a la presión interna. Para transporte de sustancias líquidas de presiones internas bajas por lo general se usa la geometría elíptica, a más que esta tiene como principal ventaja es bajar el centro de gravedad dando una mayor estabilidad.

El coeficiente de llenado en fase líquida es aproximadamente del 85%, el resto del volumen es ocupado por la fase gas. En el caso del GLP, si el depósito está lleno (85% fase líquida) el peso del producto es la mitad (1/2) del volumen total del depósito, aproximadamente.

Ejemplo: Un recipiente de 20 m³ lleva 10 toneladas de producto aproximadamente. (BLESÀ PÈREZ)

Boca de hombre (Manhole)

Consiste en una entrada o abertura, la cual permite a una persona a acceder al interior del recipiente con fines de mantenimiento, inspección o limpieza.

La boca de hombre en los autotanques de GLP es fija. Solo se puede quitar en establecimientos especializados. Puede estar situada en la parte delantera, trasera o ventral. (BLESÀ PÈREZ)



Figura 2-5. Manhole
Fuente. (BLESÀ PÈREZ)

Conductos de carga/descarga

Los autotanques de GLP poseen tres bocas dedicadas a las acciones de carga y descarga, estas bocas cumplen las funciones de entrada de líquido, salida de líquido y salida de gas, respectivamente. (BLESÀ PÈREZ)

Válvula de bola o de corte.

Las válvulas de bola se utilizan en sistemas en los que es deseable aislar una sección del sistema de tuberías. Las válvulas de corte además de regular el flujo del producto, destacan por proporcionar un gran cierre hermético. (DEL REY MARTIN, 2014)



Figura 2-6. Válvula de corte
Fuente: (DEL REY MARTIN, 2014)

Válvula de seguridad.

La función de la válvula de seguridad es abrir un poco para aliviar la presión en exceso en el recipiente de forma moderada. Cuando la presión aumenta más allá de un punto predeterminado, la válvula está diseñada para abrirse y descargar reduciéndose el exceso de presión rápidamente. Esta válvula en concreto posee una cierta ventaja con respecto a otras, válvulas de seguridad, y es que se abre gradualmente en toda su área, permitiendo que la presión excesiva antes de la válvula de alivio este completamente regulada. (DEL REY MARTIN, 2014)

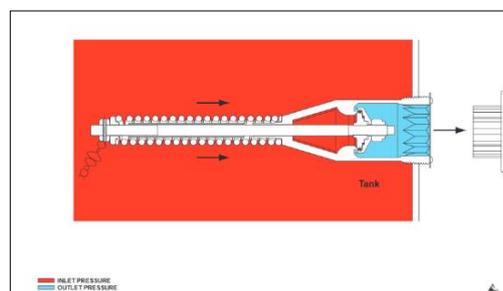


Figura 2-7. Válvula de seguridad
Fuente: (DEL REY MARTIN, 2014)

Galga rotativa o indicador de nivel

La galga rotativa es un instrumento que permite conocer el nivel de líquido contenido en el depósito. Es característica de los autotanques de GLP y está situada en una concavidad en el exterior del depósito, en un lateral o en el fondo posterior. Está compuesta de una palanca giratoria, un purgador colocado en el eje de la palanca y un

disco indicador del porcentaje (%). En el centro de la palanca, conectado interiormente, hay un tubo de pequeño diámetro en forma de codo, que gira cuando se hace girar la palanca.



Figura 2-8. Galga rotativa
Fuente. (BLESA PÈREZ)

Para comprobar el nivel del líquido contenido en recipiente, giraremos la palanca hasta situar el tubo interior en posición vertical, abriremos el tapón del purgador y nos saldrá gas. Si continuamos girando la palanca, seguirá saliendo gas hasta el momento en que empezará a salir líquido, que será cuando el extremo del tubo llegue a la superficie del líquido (fase líquida). En este momento, si se consulta la lectura de la palanca sobre el disco indicador, se sabrá el volumen del líquido respecto al volumen total del depósito (porcentaje: %). Esta lectura solo será real si el autotanque está en posición horizontal de rodaje. (BLESA PÈREZ)

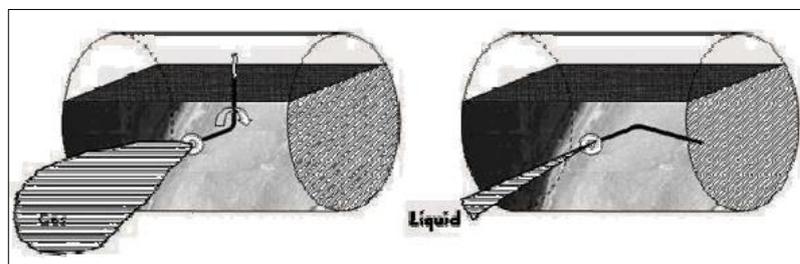


Figura 2-9. Ubicación del tubo para conocer el nivel de líquido.
Fuente. (BLESA PÈREZ)

Conexión a tierra.

Sirve para descargar la electricidad estática. Dicha conexión se realizará mediante una pinza de puesta a tierra. El conjunto de la pinza deberá ser revisado periódicamente para revisar su continuidad eléctrica y el buen estado del revestimiento aislante del cable.

La pinza se sujetará a un borne de puesta a tierra, la cual sirve para descargar la electricidad estática procedente del autotanque. (DEL REY MARTIN, 2014)



Figura 2-10. Conexión a tierra.
Fuente. (DEL REY MARTIN, 2014)

OREJAS DE IZAJE

Son elementos de sujeción del recipiente. La función de las orejas de izaje es dar los puntos de apoyo para que el recipiente pueda ser elevado y este a su vez montarlo en el bastidor, patas telescópicas. Las orejas de izaje son por lo general dos placas con orificios que se sueldan al recipiente para sujetarse al cuerpo cilíndrico del mismo.

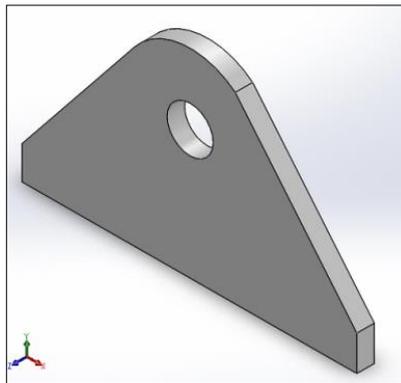


Figura 2-11. Orejas de izaje
Fuente: Autor

Rompe olas (Baffles)

Es una pantalla o división interior no hermética de un recipiente que no permite el desplazamiento brusco del fluido durante su transportación. Los baffles son utilizados como miembros de refuerzo y como supresores del movimiento del fluido en dirección longitudinal del recipiente.

Los bafles deben ser soldados circunferencialmente al cuerpo del recipiente. La longitud de la soldadura nunca debe ser menor al 50% del perímetro del contorno del recipiente y el máximo espacio sin soldadura sobre esta unión no debe exceder el límite de 40 veces el espesor de la lámina del cuerpo del tanque.

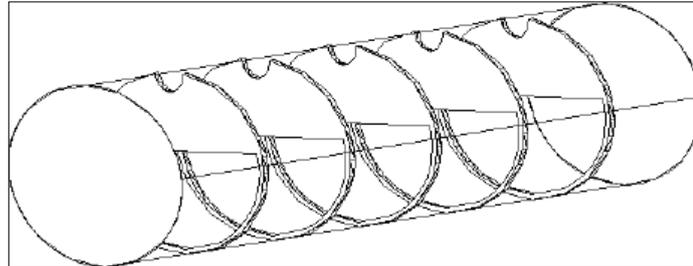


Figura 2-12. Bafles

Fuente. (FAVELA GALLEGOS, y otros, 2006)

Bastidor.

Un bastidor es una estructura compuesta por dos vigas principales (largueros) paralelas unidas por medio de vigas de amarre (travesaños).

Se llama bastidor en los autotanques a aquella estructura rígida donde se fijan de una u otra forma, tanto el recipiente como los distintos elementos y grupos mecánicos que componen el autotanque (recipiente, elementos del sistema de suspensión, patas telescópicas, King pin).

El bastidor de los autotanques, además de soportar el peso de todos los elementos y partes que componen el autotanque, también deberá soportar las sobrecargas de uso que incluyen, además del peso propio de la carga que transporte, las cargas dinámicas e inerciales originadas por el funcionamiento de los distintos elementos y por el propio movimiento del autotanque.

Autotanque con bastidor. El recipiente va apoyado en toda su longitud sobre el bastidor.



Figura 2-13. Autotanque con bastidor

Fuente: (TAHNOS)

Autotanque con bastidor falso. El recipiente se encuentra calculado para resistir mecánicamente apoyada, por un lado en la quinta rueda y la otra por ejes posteriores por medio de una especie de bastidor falso que es para acoplar al sistema de suspensión.



Figura 2-14. Autotanque con bastidor falso
Fuente. (CHANGHUA)

Suspensión.

Conjunto de elementos cuya función es soportar el peso del semirremolque además permite su movimiento elástico controlado de sobre sus ejes y es el encargado de absorber la energía por las irregularidades del camino para mantener la estabilidad del semirremolque.

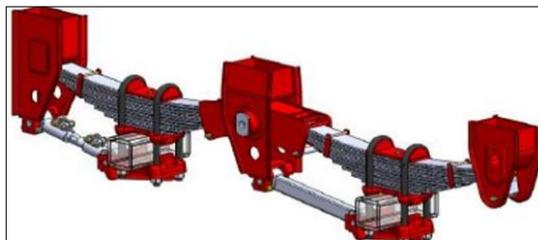


Figura 2-15. Suspensión
Fuente. Anexo U

Sistemas de frenos

Su función principal es de producir una fuerza regulada para reducir la velocidad de movimiento, así para detenerlo.

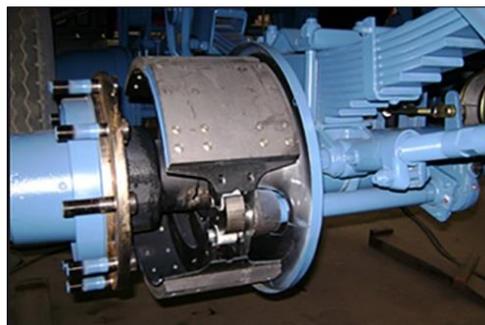


Figura 2-16. Frenos
Fuente: (OM REMOLQUES)

Ejes

Es un elemento destinado a guiar el movimiento de rotación o una pieza o de un conjunto de piezas como rueda. Para este caso la rueda gira solidariamente al eje y el sistema de guiado se encuentra en la superficie que soporta el eje.

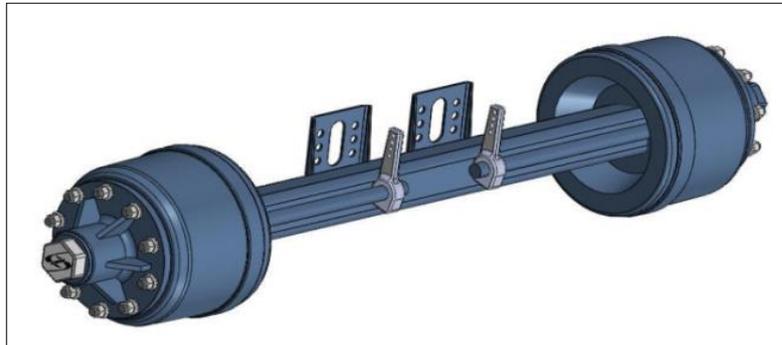


Figura 2-17. Ejes
Fuente: Anexo V

Llantas.

Pieza toroide de caucho que se coloca en las ruedas de diversos vehículos. Su función principal es permitir el contacto adecuado por adherencia y fricción con el suelo, posibilitando el arranque, frenado y guiado del vehículo.



Figura 2-18. Llantas
Fuente: Anexo T

King pin.

En el elemento que va fijado al semirremolque y está diseñado para ser enganchado por la quita rueda. Soporta la fuerza de arrastre y de frenado del tracto-camión. Esta hecho de acero aleado AISI 4320 H o 4718 H cementado hasta un dureza de 380 y 429 BHN



Figura 2-19. King pin
Fuente. Anexo P

Quita rueda.

Es un elemento de unión mecánica y establecen la unión entre el tracto-camión y el semirremolque. Son diseñados para montarse sobre el tracto-camión.

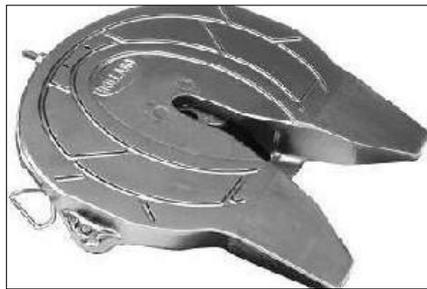


Figura 2-20. Quinta rueda
Fuente. Anexo R

Patas telescópicas.

Las patas telescópicas, también conocidas como patas de apoyo son elementos de vital importancia, ya que su función es soportar el peso del semirremolque cuando este se encuentre estacionado y desconectar el King pin de la quita rueda, a más de eso permite nivelar la altura del semirremolque para volver a conectar el King pin con la quinta rueda.



Figura 2-21. Patas telescópicas
Fuente. Anexo S

2.2.3. Gas licuado de petróleo GLP

Se conoce como gas licuado de petróleo (GLP), a la mezcla de hidrocarburos cuyos principales componentes son el propano, butano, butenos, isobutano y propileno. Aunque más comúnmente se conoce como GLP a la mezcla de propano y butano.

A temperatura y a presión normal, esta mezcla se encuentra en estado gaseoso, pero al ser sometidos a alta presión y a baja temperatura, este fluido pasa a estado líquido, este proceso es conocido como licuefacción o licuación. (TEXTOSCIENTIFICOS, 2014)

- Obtención

Las fuentes de obtención de este combustible son las refinerías (destilación del petróleo) y las plantas de proceso de gas natural, las cuales aportan alrededor de un 25% y un 75% de GLP respectivamente. (Gnvblog, 2012)

- Presión de vapor

La presión de vapor de una sustancia es la presión a la cual la fase vapor está en equilibrio con su fase líquida a una determinada temperatura.

Su valor es independiente de las cantidades de líquido y vapor presentes mientras existan ambas.

Las sustancias más ligeras tienen mayor presión de vapor que las sustancias pesadas.

Cuando se trata de una mezcla de sustancias, la presión de vapor de la mezcla dependerá, además de la temperatura, de la composición que tenga en la fase líquida.

En la siguiente figura se puede apreciar que la presión de vapor del butano es 0,005 Bar a 0 °C y 0,08 Bar a 15 °C, mientras que la presión de vapor del propano es de 4 Bar a 0 °C y 6,5 Bar a 15 °C.

Esto crea una considerable diferencia en la presión de vapor de la mezcla en la medida que las proporciones de propano y butano varían.

La presión se incrementa con la temperatura y ello conduce a grandes variaciones en el volumen de GLP en estado líquido. Por lo tanto, si un recipiente está completamente lleno de GLP en su estado líquido y aumenta la temperatura, se producirá un rápido incremento de la presión, creando el riesgo de una explosión. Por esta razón, nunca se

debe llenar completamente un recipiente de GLP. (Propiedades y características del gas licuado de petróleo, 2011)

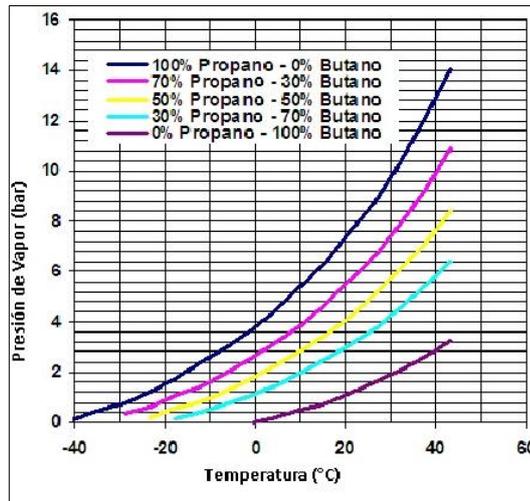


Figura 2-22. Presión de vapor.

Fuente: (Propiedades y características del gas licuado de petróleo, 2011)

- **Inflamabilidad.**

Es limpio, cuando se quema debidamente combinado con el aire, no forma hollín, ni deja mal sabor en los alimentos preparados con él, es económico, por su rendimiento en comparación con otros combustibles y por último, es más pesado que el aire, por lo que al escaparse el gas, tenderá a ocupar las partes más bajas, como el piso, fosas y pozos que haya en el área. (HURTADO, 2013)

Esta propiedad muestra la facilidad de un material para hacer combustión. Para que haya combustión deben estar presentes los siguientes elementos:

- Combustible
- Oxígeno
- Fuente de ignición

Cuando estos elementos se mezclen en propiedades apropiadas, producirán la combustión. Es decir, que la mezcla gas-aire solo será inflamable si la concentración del gas se encuentra dentro de los límites de inflamabilidad. (Propiedades y características del gas licuado de petróleo, 2011)

- **Es incoloro:** tanto en su estado líquido como en su estado gaseoso, sólo es visible cuando el gas líquido es liberado en forma muy rápida al medio ambiente.

- **Es inodoro:** por lo que para su comercialización se exige que sea mezclado con una sustancia odorante, para el caso de fugas se note inmediatamente.
- **Es más pesado que el aire,** en su fase vapor es más pesado que el oxígeno del medio ambiente en aproximadamente dos veces.

Es más liviano que el agua en su fase líquida en aproximadamente la mitad de su peso.

Se manipula en estado líquido, se licua de 60 a 120 Psi. Al pasar del estado líquido a vapor aumenta su volumen 260 veces aproximadamente



Figura 2-23. Peso líquido y de vapor de GLP
Fuente: (Propiedades y características del gas licuado de petróleo, 2011)

- **No es tóxico.** El GLP suelto al medioambiente absorbe las partículas de oxígeno, ocupa el espacio de éste y no permite la libre respiración produciendo asfixia. La inhalación del mismo se traduce en una ligera acción anestésica mas no produce intoxicación.

2.2.4. Características Físico – Químicas del GLP comercial en Ecuador.

Para el caso del GLP comúnmente usado en nuestro país, tenemos una composición de 70% Propano y 30% Butano, que corresponde a la columna número 5 del Anexo A.

CAPITULO III

3. CLASIFICACIÓN DE LOS AUTOTANQUES

3.1. Según la disposición del recipiente (tanque)

3.1.1. *Recipiente sobre camión.* Cuando el recipiente se coloca encima del chasis del camión. (INSHT, 1999)



Figura 3-1. Recipiente sobre camión
Fuente: (BLESÀ PÈREZ)

3.1.2. *Recipiente sobre plataforma.* Cuando el recipiente esta fija encima de una plataforma. (INSHT, 1999)



Figura 3-2. Recipiente sobre plataforma
Fuente: (BLESÀ PÈREZ)

3.1.3. *Recipiente Auto-portante.* Cuando el propio recipiente (deposito) hace de bastidor. (INSHT, 1999)



Figura 3-3. Recipiente Auto-portante
Fuente: (BLESÀ PÉREZ)

3.1.4. Contenedor recipiente. El contenedor recipiente, cada día tiene más aceptación debido a que puede ser transportado tanto por vía marítima, como por vía terrestre, (carretera, mar o tren). (INSHT, 1999)

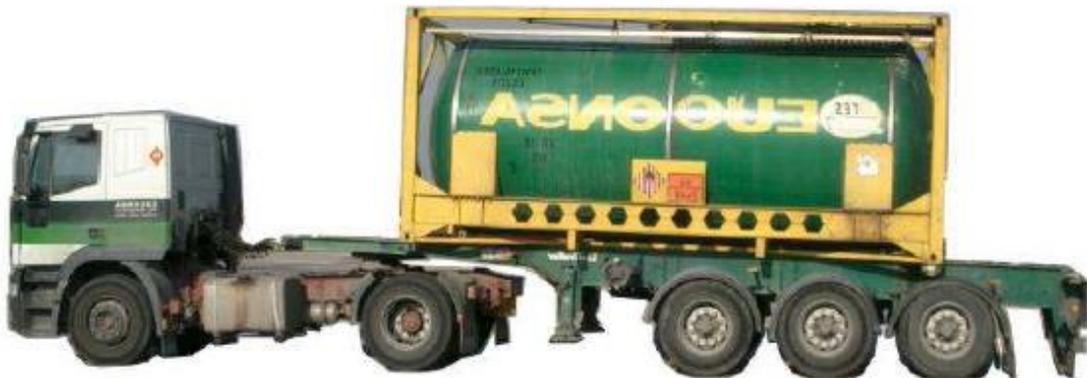


Figura 3-4. Contenedor recipiente
Fuente: (BLESÀ PÉREZ)

3.2. Según materiales constructivos

- Acero
- Aluminio
- Plástico

(INSHT, 1999)

3.3. Según el compartimentaje

3.3.1. Compartimentadas. un recipiente puede tener dos o más divisiones en su interior, estas divisiones pueden ser **independientes** o sea cargar diferentes fluidos en cada compartimento (Figura 3-5 1ª), o **conectadas** cargar un solo fluido (Figura 3-5 2ª).

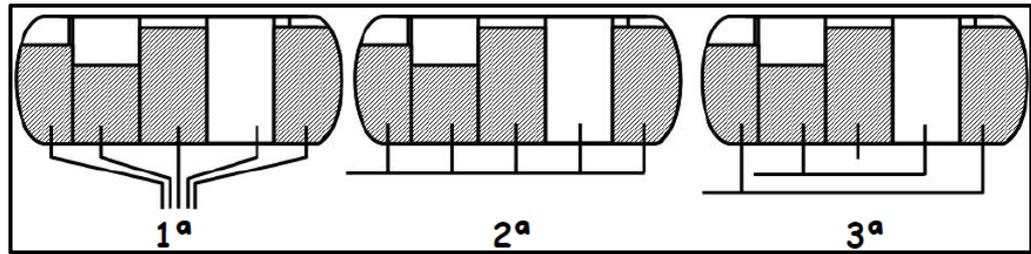


Figura 3-5. Recipiente compartimentado
Fuente: (BLESÀ PÈREZ)

3.3.2. Sin compartimentar. Todo el recipiente es un único compartimiento. Puede ser de líquido o GLP

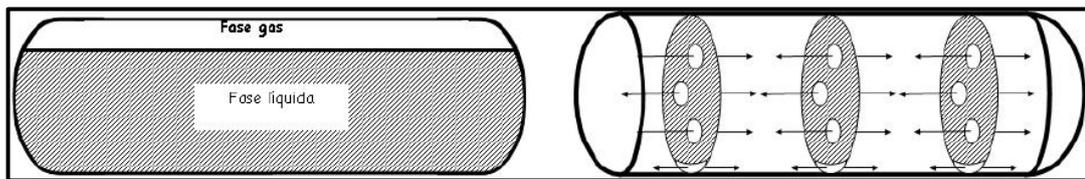


Figura 3-6. Recipiente sin compartimentar
Fuente: (BLESÀ PÈREZ)

3.4. Tipos de autotanques para transporte de gases.

3.4.1. Autotanques de gases inflamables criogénicos (GNL)

La principal característica de este autotanque es la gran capacidad del depósito, espacio necesario para el transporte del GNL (metano), que es un gas muy ligero. Son fáciles de reconocer por su gran volumen. No son compartimentadas y se destinan exclusivamente al transporte de GNL. (BLESÀ PÈREZ)

Características:

- Construidas en acero inoxidable, espesor de la chapa, 5 mm los cilindros, 8 mm las tapas y 4 mm los rompeolas.
- Temperatura de diseño - 180 °C.
- Presión de servicio 7 bar, prueba de presión 9,1 bar
- Aislamiento exterior con fibra de cristal y polietano expandido.
- Válvula de seguridad SI

(BLESÀ PÈREZ)

Gas natural

Determinados gases requieren presiones elevadísimas para ser licuados. El GNL, resultado de licuar el GN a temperaturas muy bajas, es un caso particular de transporte criogénico, en el que el depósito está aislado exteriormente con fibra de cristal y polietano. Tanto los gases licuados por enfriamiento, como su transporte y almacenamiento, reciben el nombre de criogénicos. (BLESÀ PÈREZ)



Figura 3-7. Autotanque de gas natural
Fuente: (BLESÀ PÈREZ)

3.4.2. Autotanques de gases inertes, criogénicos

Los autotanques de gases criogénicos a muy baja temperatura, están construidas con dos cilindros, uno interior y otro exterior, aislados uno del otro.

Características principales de los autotanques que transportan productos criogénicos:

- Están ligeramente presurizadas: la presión interior al depósito es ligeramente superior a la atmosférica. La temperatura interior del depósito es la del producto transportado, que puede estar entre los -100°C y -196°C según el producto.
- Son de acero inoxidable: es un depósito con cámara de vacío.
- El recipiente interior es de acero inoxidable (3 mm los cilindros, 4 mm las tapas o cabezas)
- El recipiente exterior, si es de acero inoxidable, será de 3mm de espesor, (si es de acero al carbono, su espesor es de 4 mm).
- El depósito es de sección transversal circular (nunca elíptico), y tiene forma recta.
- No está compartimentado.
- No tiene boca de hombre.

- El coeficiente de llenado de líquido es del 95%. El 5% restante del volumen total del depósito está ocupado por la fase gas.
- Todos los recipientes están calorifugadas, (con cámara de vacío y aislante o con fibra de vidrio y polietileno expandido).
- Llevan válvula de sobrepresión.



Figura 3-8. Autotanque de gases inertes, criogénicos

Fuente: (BLESA PÈREZ)

3.4.3. Autotanque de gas inflamable (GLP)

Los productos que a presión atmosférica y temperatura ambiente son gases, se transportan siempre licuados para, de este modo, poder transportar más cantidad de producto. Los gases licuados del petróleo (GLP) se transportan licuados por presión. Los recipientes que contienen productos a presión (GLP) siempre son de sección circular (esta geometría siempre resiste mejor la presión interior). (BLESA PÈREZ)



Figura 3-9. Autotanque de GLP
Fuente: (BLESÀ PÉREZ)

- **Capacidad**

La cantidad máxima de producto que puede transportar está limitada por:

El peso máximo autorizado del vehículo

Está en función de los ejes. Nunca será superior al peso máximo autorizado por la entidad reguladora del país. Si del peso máximo descontamos el peso del propio vehículo, deduciremos cual será el peso máximo de producto a transportar.

Cantidad que llenaremos

Lo define el ADR (European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road o ADR) Para cada tipo de producto. El recipiente nunca se llena totalmente, hay que dejar un espacio libre determinado.

Porque hay que respetar el equilibrio de fase líquido y gas. Todo producto genera vapores que dependen de las condiciones de presión y temperatura en que se encuentren. Estos vapores necesitan un determinado espacio.

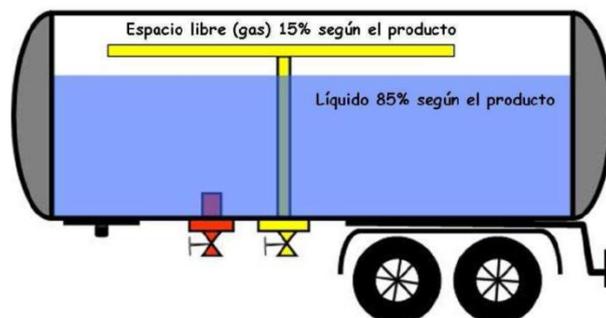


Figura 3-10. Cantidad de llenado del autotanque de GLP
Fuente: (BLESÀ PÉREZ)

- ***Especificaciones técnicas***

- Autotanques se utilizan principalmente para el transporte de gases comprimidos.
- Diseñados y construidos de acuerdo con el catálogo ASME.
- Fabricación de acero o aleaciones especiales de aluminio.
- El material debe cumplir con especificaciones ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).
- Cubierto con un forro de acero si el autotanque tiene aislamiento.
- La presión de diseño de estos autotanques no debe ser menos de 1,03 Kg/cm² (100 psi) ni más de 35,1 Kg/cm² (500 psi).
- Las válvulas de seguridad deben estar localizadas arriba del recipiente o en las tapas.
- El espesor mínimo del metal para el cuerpo y tapas debe ser 4,76 mm (0,187") para acero y 6,86 mm (0,270") para aluminio.
- Todas las válvulas, conexiones, válvulas de seguridad y otros accesorios del propio recipiente, deben estar protegidos en caso de volcaduras o colisión.
- Los autotanques en las salidas del producto deben cerrarse con tapón, tapadera o brida atornillada.
- Debe tener una válvula de acceso de flujo en la descarga del producto o protección con una válvula de retención en la entrada del producto.
- Debe tener una válvula de cierre automático.
- La válvula de seguridad debe ser diseñada y construida, marcada con la calibración de presión que no sea menor de la presión de diseño del tanque.
- Debe estar provisto de manómetros. Una válvula de cierre, debe estar instalada entre el manómetro y el tanque.
- Si se utilizan bombas para líquidos o compresores para gas debe ser de diseño aprobado para el producto.
- La inspección y pruebas de materiales de construcción del autotanque debe ser como lo requiere el código ASME.
- Un certificado debe ser entregado tal como lo requiere el código ASME.

(GRUPO INTER-MEX)

Resumen de la clasificación de los Autotanques.

Tabla 3-1. Clasificación de los Autotanques Para Transporte de Fluidos Gaseosos.

CLASIFICACIÓN DE LOS AUTOTANQUES PARA TRANSPORTE DE FLUIDOS GASEOSOS	
Según la disposición del recipiente.	<ul style="list-style-type: none">- Recipiente sobre camión.- Recipiente sobre plataforma.- Recipiente Auto-portante.- Contenedor recipiente.
Según materiales constructivos.	<ul style="list-style-type: none">- Acero.- Aluminio.- Plástico.
Según el compartimentaje.	<ul style="list-style-type: none">- Compartimentadas- Sin compartimentar.
Según el tipo de fluido gaseoso a transportar.	<ul style="list-style-type: none">- Autotanques de gases inflamables criogénicos (GNL).- Autotanques de gases inertes, criogénicos.- Autotanque de gas inflamable (GLP).

Realizado por: Autor
Fuente: (BLESÀ PÈREZ)

CAPITULO IV

4. DISEÑO DEL RECIPIENTE DEL AUTOTANQUE

4.1. Normativas para el diseño de recipientes a presión.

4.1.1. Normas

Las normas son un modelo, un patrón, ejemplo o criterio a seguir. Una norma es una fórmula que tiene un valor de regla y tiene por finalidad definir las características que deben poseer un objeto y los productos que han de tener una compatibilidad para ser usados.

4.1.2. Instituto Nacional De Normalización, INEN

El Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, es el organismo técnico nacional competente, en materia de reglamentación, normalización, metrología y certificación en conformidad con lo establecido en las leyes de la Republica y en tratados, acuerdos y convenios internacionales.

4.1.3. Código ASME.

ASME son las siglas en inglés para la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (American Society of Mechanical Engineers). ASME es una asociación fundada en 1880, que tiene como objetivos promover y reforzar la competencia técnica principalmente en disciplinas relacionadas a la Ingeniería Mecánica. Desde sus inicios, ASME ha promocionado el desarrollo de estándares industriales técnicos para el diseño, fabricación e inspección de dispositivos ingenieriles. El conjunto de normas de interés ASME para el presente proyecto de titulación son: CÓDIGO ASME, Sección VIII; División 1, Subsección A, B, and C. (ASME)

- *Código ASME sección VIII división 1.*

Concretamente en la Sección VIII del Código se establecen las normas y procedimientos para la fabricación de recipientes a presión.

Tabla 4-1. Estructura del código ASME Sección VIII división 1.

ESTRUCTURA ORGANIZATIVA DEL CÓDIGO ASME SECCIÓN VIII, DIVISIÓN 1		
Subsección	Parte	Descripción
A. Requerimientos Generales	UG	Requerimientos generales para todos los métodos de construcción y todos los materiales.
B. Pertinente a los Métodos de Fabricación	UW	Mediante Soldadura.
	UF	Mediante Forjado.
	UB	Mediante soldadura con latón.
C Pertinente a los tipos de materiales	UCS	Aceros al carbono y de baja aleación.
	UNF	Materiales no ferrosos.
	UHA	Aceros de alta aleación.
	UCI	Hierro fundido.
	UCL	Material con cladding (Integral y overlay) o con planchas soldadas.
	UCD	Hierro fundido dúctil
	UHT	Hierro dúctil fundido
	ULW	Aceros ferrosos con propiedades agregadas por tratamiento térmico
	ULT	Materiales con altos valores de esfuerzos permisibles a baja temperatura
	UIG	Grafito impregnado

Realizado por: Autor
Fuente: (ASME, 2010)

4.2. Dimensionamiento del recipiente.

Para el dimensionamiento del recipiente del autotank, se tiene como punto de partida la capacidad volumétrica establecida, tomando como primera referencia los parámetros del MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas), para realizar un correcto cálculo.

$$\text{Vol} = 8000 \text{ Gls (30,2833 m}^3\text{)}$$

Para realizar el cálculo, es necesario disponer de un dato adicional generalmente impuesto por el diseñador para realizar el cálculo del diámetro del recipiente, tomando en cuenta la tabla nacional de pesos y dimensiones dada por el MTOP dada en el Anexo B. (MTOP, 2012)

Por lo que se toma la siguiente longitud (L).

$$L = 382 \text{ in (9,702 m)}$$

Para la longitud seleccionada se tomó en cuenta el material de construcción de las planchas como lo es el Acero SA-516-70 con dimensiones de las planchas de 96 in (2440 mm) de ancho y 236,2 in (6000 mm), con el objetivo de reducir el número de planchas soldadas en la construcción del recipiente.

4.2.1. Cálculo del diámetro interno (Di) del recipiente.

Tomando en cuenta que el recipiente posee cabezas semiesféricas; para el cálculo del diámetro interno (Di), se obtiene las siguientes ecuaciones.

$$V_c = \frac{\pi}{4} D_i^2 L \quad \text{Ec. (1)}$$

$$V_e = \frac{4}{3} \pi R_i^3 \rightarrow \frac{\pi}{6} D_i^3 \quad \text{Ec. (2)}$$

$$V_c + V_e = 30,2833 \text{ m}^3 \quad \text{Ec. (3)}$$

Reemplazamos Ec. (1) y Ec. (2) en Ec. (3)

$$\frac{\pi}{4} D_i^2 L + \frac{\pi}{6} D_i^3 = 30,2833 \text{ m}^3 \quad \text{Ec. (4)}$$

De lo que se obtiene una ecuación de tercer Grado, que resolviendo nos da como resultado el valor del Diámetro interno del recipiente (Di).

$$D_i = 1,8763 \text{ m (73,87 in)}$$

Donde:

V_c = Volumen del cuerpo cilíndrico

V_e = Volumen de las cabezas semiesféricas (volumen de la esfera)

D_i = Diámetro interno del recipiente

R_i = Radio interno del recipiente

L = Longitud del cuerpo cilíndrico = 382 in (9,702 m)

4.3. Análisis de cargas.

Tomando en cuenta las condiciones de trabajo de un autotanque de transporte de GLP, el análisis de las cargas bajo las que está sometido son de vital importancia para que el diseño sea lo más adecuado posible, por lo que se toma en cuenta las siguientes cargas:

- Presión de diseño
- Cargas por viento
- Cargas Vivas
 - Peso del Producto
 - Carga por aceleración y frenado.
 - Cargas contra riesgos de accidentes.
 - Cargas generadas por el peso del producto al momento que hay un salto.
- Cargas muertas
 - Peso del tanque
 - Peso de Accesorios

4.3.1. Temperatura de diseño.

La temperatura máxima utilizada en el diseño no deberá ser menor que la temperatura media esperada en las condiciones de operación.

En nuestro país la norma INEN 2261 establece que la presión de diseño no debe ser inferior a la presión de vapor para el gas específico que va a contener, considerando una temperatura no menor a 50 °C. (INEN, 2015)

Con estos se tiene una temperatura de carga o de operación y la temperatura de diseño.

Tabla 4-2. Temperatura de Operación y Temperatura de Diseño

Temperatura de Carga u Operación	50 °C
Temperatura de Diseño	60 °C

Realizado por: Autor
Fuente: (INEN, 2015)

Temperatura de diseño cuenta con un factor de seguridad de 10°C de lo establecido en la norma ecuatoriana, con dicho factor de seguridad permitirá garantizar el diseño.

4.3.2. Presión de diseño.

La presión que se emplea para diseñar el recipiente. Se recomienda diseñar un recipiente y sus componentes a una presión mayor que la de operación. Este requisito se satisface utilizando una presión de diseño de 30 lb/pulg² o 11% más que la presión de operación, un promedio entre los dos

El código ASME indica que los recipientes a presión deberán ser proyectados para al menos la condición más severa de presión y temperatura coincidentes esperadas en operación normal.

Para el cálculo de la presión de diseño se necesita primero determinar la presión de vapor del GLP a las temperaturas de operación y de diseño. El GLP es una mezcla de varios gases, en nuestro país el GLP comercial está compuesto por un 70% de propano y un 30% de butano.

La presión de vapor se determinará de la Fórmula de Antoine.

$$\log P = A - \frac{B}{T + C} \quad \text{Ec. (5)}$$

P = Presión de vapor

A, B, C = Constante específica de cada gas

T = Temperatura del sistema

Tabla 4-3. Valores correspondientes de las constantes A, B y C para cada gas

GAS	Constata A	Constante B	Constata C
Propano	6,8039	803,81	246,99
Butano	6,80896	935,86	238,73

Realizado por: Autor
Fuente: (POLING, y otros, 2001)

Con estos valores dados en el Anexo C, se puede hallar las presiones de vapor de propano y butano para las temperaturas de operación y de diseño. Mediante la cual podremos conocer la presión que tendrá que soportar el autotank. La presión de vapor será igual a la suma de las presiones parciales, siendo éstas a su vez iguales a la presión de vapor por la fracción molar. (HURTADO, 2013) (POLING, y otros, 2001)

- *Cálculo de las presiones de vapor para la temperatura de operación.*

Gas propano.

$$\log P = A - \frac{B}{T + C}$$

$$\log P = 6,8039 - \frac{803,81}{50 + 246,99} \quad \text{Ec. (6)}$$

$$\log P = 4,0974$$

$$P = 12515,78 \text{ mmHg}$$

$$P = 242,0149 \text{ Psi}$$

Presión parcial 70% de propano

$$P_i = 0,7 * P \quad \text{Ec. (7)}$$

$$P_i = 0,7 * 242,0149 \text{ Psi}$$

$$P_i = 169,41 \text{ Psi}$$

Gas butano

$$\log P = A - \frac{B}{T + C}$$

$$\log P = 6,80896 - \frac{935,86}{50 + 238,73} \quad \text{Ec. (8)}$$

$$\log P = 3,5677$$

$$P = 3695,404 \text{ mmHg}$$

$$P = 71,4572 \text{ Psi}$$

Presión parcial 30% de butano

$$P_i = 0,3 * P \quad \text{Ec. (9)}$$

$$P_i = 0,3 * 71,4572 \text{ Psi}$$

$$P_i = 21,437 \text{ Psi}$$

- *Cálculo de las presiones de vapor para la temperatura de diseño.*

Gas propano.

$$\log P = A - \frac{B}{T + C}$$

$$\log P = 6,8039 - \frac{803,81}{60 + 246,99} \quad \text{Ec. (10)}$$

$$\log P = 4,1855$$

$$P = 15329,9626 \text{ mmHg}$$

$$P = 296,432 \text{ Psi}$$

Presión parcial 70% de propano

$$P_i = 0,7 * P \quad \text{Ec. (11)}$$

$$P_i = 0,7 * 296,432 \text{ Psi}$$

$$P_i = 207,50 \text{ Psi}$$

Gas butano

$$\log P = A - \frac{B}{T + C}$$

$$\log P = 6,80896 - \frac{935,86}{50 + 238,73} \quad \text{Ec. (12)}$$

$$\log P = 3,676$$

$$P = 4744,216 \text{ mmHg}$$

$$P = 91,7378 \text{ Psi}$$

Presión parcial 30% de butano

$$P_i = 0,3 * P \quad \text{Ec. (13)}$$

$$P_i = 0,3 * 91,7378 \text{ Psi}$$

$$P_i = 27,521 \text{ Psi}$$

- ***Presión de vapor del GLP a la temperatura de Operación.***

Presión parcial 70% de propano + Presión parcial 30% de butano Ec. (14)

$$P = 169,41 \text{ Psi} + 21,437 \text{ Psi}$$

$$P = 190,847 \text{ psi}$$

- ***Presión en el interior del recipiente***

La presión en el interior de recipiente es calculado por presiones relativas.

Presión atmosférica en Riobamba 0,71293556 atm, altura 2764 m

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{rel}} \quad \text{Ec. (15)}$$

$$P_{\text{rel}} = P_{\text{abs}} - P_{\text{atm}} \quad \text{Ec. (16)}$$

$$P_{\text{rel}} = 190,847 \text{ Psi} - 10,477 \text{ Psi}$$

$$P_{\text{rel}} = 180,37 \text{ Psi}$$

Dónde:

P_{abs} = Presión Absoluta.

P_{atm} = Presión Atmosférica

P_{rel} = Presión Relativa

- ***Presión de vapor del GLP a la temperatura de Diseño.***

Presión parcial 70% de propano + Presión parcial 30% de butano Ec. (17)

$$P = 207,50 \text{ Psi} + 27,521 \text{ Psi}$$

$$P = 235,021 \text{ Psi}$$

- **Presión en el interior del recipiente**

La presión en el interior de recipiente es calculado por presiones relativas.

Presión atmosférica en Riobamba 0,71293556 atm, altura 2764 m

Presión absoluta

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{rel} \quad \text{Ec. (18)}$$

$$P_{rel} = P_{abs} - P_{atm} \quad \text{Ec. (19)}$$

$$P_{rel} = 235,021 \text{ Psi} - 10,477 \text{ Psi}$$

$$P_{rel} = 224,544 \text{ Psi}$$

Tabla 4-4. Resumen de presión de vapor del GLP

Temperatura de operación	Temperatura de diseño
$P_{abs} = 190,847 \text{ psi}$	$P_{abs} = 235,021 \text{ Psi}$
$P_{rel} = 180,37 \text{ Psi}$	$P_{rel} = 224,544 \text{ Psi}$

Realizado por: Autor

Fuente: Autor

- **Presión de diseño**

Presión de diseño se calcula a la temperatura de diseño con la presión relativa

$$P = 30 \text{ Psi} + P_{rel} \quad \text{Ec. (20)}$$

$$P = 30 \text{ Psi} + 224,544 \text{ Psi}$$

$$P = 254,544 \text{ Psi}$$

$$P = 1,1 * P_{rel} \quad \text{Ec. (21)}$$

$$P = 1,1 * 224,544 \text{ Psi}$$

$$P = 246,998 \text{ Psi}$$

La presión de diseño es de 250 Psi

4.3.3. *Peso del Producto.*

Para calcular el peso del GLP se determina el volumen del GLP en estado líquido y gaseoso. El cual vendrá determinado por la suma de la masa de líquido y la masa de gas del GPL.

Lo primero es calcular el volumen del GLP en estado líquido y estado gaseoso. El volumen total de GLP a transportar es de 8000 GLS, el 85 % se encuentra en estado líquido y el 15 % en estado gaseoso.

$$V_{\text{total}} = 8000 \text{ GLS.}$$

El volumen líquido es el 85 % del volumen total.

$$V_{\text{líquido}} = V_{\text{total}} * 0,85 \quad \text{Ec. (22)}$$

$$V_{\text{líquido}} = 8000 \text{ GLS} * 0,85$$

$$V_{\text{líquido}} = 6800 \text{ GLS}$$

El volumen gaseoso es el 15 % del volumen total.

$$V_{\text{gaseoso}} = V_{\text{total}} * 0,15 \quad \text{Ec. (23)}$$

$$V_{\text{gaseoso}} = 8000 \text{ GLS} * 0,15$$

$$V_{\text{gaseoso}} = 1200 \text{ GLS}$$

- *Masa líquida.*

Para el cálculo de la masa del GLP en estado líquido se calcula a partir de la ecuación de la densidad.

La densidad del GLP en Ecuador es de 2,009 Kg/GLS.

(OBACO, y otros, 2013)

$$\rho = \frac{m}{V_{\text{líquido}}} \quad \text{Ec. (24)}$$

$$m = \rho * V_{\text{líquido}}$$

$$m = 2,009 \frac{\text{Kg}}{\text{GLS}} * 6800 \text{ GLS}$$

$$m_{\text{líquida}} = 13661,2 \text{ Kg}$$

Dónde:

ρ = Densidad.

m = Masa.

$V_{\text{líquido}}$ = Volumen Líquido

- ***Masa gaseosa.***

Para la masa gaseosa se determina el número de moles del gas a partir de la ecuación universal de los gases ideales.

$$n_{\text{gas}} = \frac{P * V}{R * T} \quad \text{Ec. (25)}$$

Dónde:

R = Constante Universal de los Gases $\rightarrow 0,08206 \frac{\text{l} * \text{atm}}{\text{mol} * ^\circ\text{K}}$

V = Volumen del Gas $\rightarrow 1200 \text{ GLS} \rightarrow 4542,4944 \text{ l}$

T = Temperatura del Gas $\rightarrow 50 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 323,15 \text{ }^\circ\text{K}$

P = Presión del Gas $\rightarrow 190,847 \text{ Psi} \rightarrow 12,98636 \text{ atm}$

n_{gas} = Moles del Gas

$n_{\text{C}_3\text{H}_8}$ = Moles del Gas Propano

$n_{\text{C}_4\text{H}_{10}}$ = Moles del Gas Butano

$Pm_{\text{C}_3\text{H}_8}$ = Peso Molecular del Propano

$m_{\text{C}_3\text{H}_8}$ = Masa molecular del Propano

$Pm_{\text{C}_4\text{H}_{10}}$ = Peso Molecular del Butano

$m_{\text{C}_4\text{H}_{10}}$ = Masa molecular del Butano

m_{gas} = Masa del Gas

$m_{\text{líquida}}$ = Masa Líquida

m_{GLP} = Masa de GLP

w_{GLP} = peso de GLP

Cálculo del número de moles del gas.

$$n_{gas} = \frac{12,98636 \text{ atm} * 4542,4944 \text{ l}}{0,08206 \frac{\text{l} * \text{atm}}{\text{mol} * \text{°K}} * 323,15 \text{ °K}}$$

$$n_{gas} = 2224,5717 \text{ mol}$$

A continuación se determina los moles para cada gas (propano y butano), según su composición 70 y 30 respectivamente.

Propano

$$n_{C_3H_8} = n_{gas} * 0,7 \quad \text{Ec. (26)}$$

$$n_{C_3H_8} = 2224,5717 \text{ mol} * 0,7$$

$$n_{C_3H_8} = 1557,200223 \text{ mol}$$

Butano

$$n_{C_4H_{10}} = n_{gas} * 0,3 \quad \text{Ec. (27)}$$

$$n_{C_4H_{10}} = 2224,5717 \text{ mol} * 0,3$$

$$n_{C_4H_{10}} = 667,371524 \text{ mol}$$

Con el peso molecular y el número de moles se determina la masa del gas

$$Pm_{C_3H_8} = 0,0441 \text{ Kg/mol}$$

$$Pm_{C_4H_{10}} = 0,05812 \text{ Kg/mol}$$

Masa de propano

$$m_{C_3H_8} = n_{C_3H_8} * Pm_{C_3H_8} \quad \text{Ec. (28)}$$

$$m_{C_3H_8} = 1557,200223 \text{ mol} * 0,0441 \text{ Kg/mol}$$

$$m_{C_3H_8} = 68,6725 \text{ Kg}$$

Masa de butano

$$m_{C_4H_{10}} = n_{C_4H_{10}} * Pm_{C_4H_{10}} \quad \text{Ec. (29)}$$

$$m_{C_4H_{10}} = 667,371524 \text{ mol} * 0,05812 \text{ Kg/mol}$$

$$m_{C_4H_{10}} = 38,7876 \text{ Kg}$$

Masa de gas

$$m_{\text{gas}} = m_{C_3H_8} + m_{C_4H_{10}} \quad \text{Ec. (30)}$$

$$m_{\text{gas}} = 68,6725 \text{ Kg} + 38,7876 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{gas}} = 107,46 \text{ Kg}$$

Masa del GLP es la suma de la masa líquida y de la masa gaseosa

$$m_{\text{GLP}} = m_{\text{líquida}} + m_{\text{gas}} \quad \text{Ec. (31)}$$

$$m_{\text{GLP}} = 13661,2 \text{ Kg} + 107,46 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{GLP}} = 13768,66 \text{ Kg}$$

El peso de GLP se calcula multiplicando la masa de GLP por la gravedad.

$$w_{\text{GLP}} = m_{\text{GLP}} * g \quad \text{Ec. (32)}$$

$$w_{\text{GLP}} = 13768,66 \text{ Kg} * 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$w_{\text{GLP}} = 135070,5559 \text{ N} \rightarrow 15,1825 \text{ Tonf}$$

4.3.4. Cargas por viento.

Las cargas generadas por acción del viento sobre el recipiente del autotankue presentan dos casos:

1. Carga Frontal con respecto al autotankue.
2. Carga lateral con respecto al autotankue.

- **Caso 1 – Carga Frontal con respecto al autotankue.**

Esta carga puede ser despreciada por acción de la aerodinámica del tracto-camión, el cual rompe la presión del viento evitando dicha presión en el frente del recipiente. (ASCE, 2013)

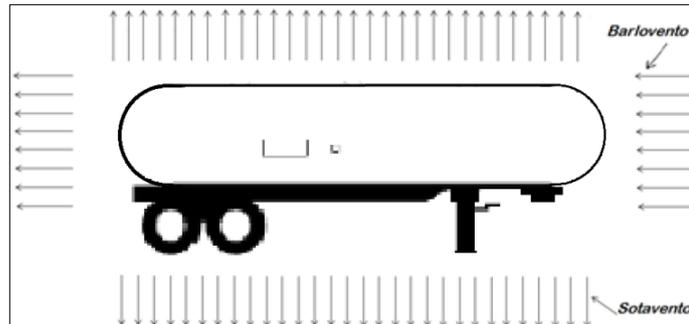


Figura 4-1. Esquema de Barlovento y Sotavento que se generan en la parte Frontal del tanque
Fuente: (ASCE, 2013)

- *Caso 2 – Carga Lateral con respecto al autotanque.*

Esta carga se sitúa en los laterales del autotanque, generando presión en las áreas o superficies proyectadas.

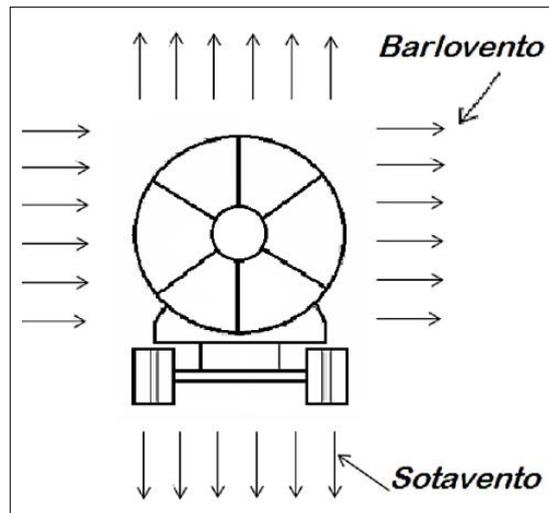


Figura 4-2. Esquema de Barlovento y Sotavento que se generan en la parte lateral del tanque.
Fuente: (ASCE, 2013)

Con el fin de optimizar el diseño, el código ASCE (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles), recomienda un valor medio de velocidad de viento 110MPH (177,03 km/h) para el diseño.

La fuerza estática que se generan debido a la presión del viento se calcula con la aplicación de la siguiente formula:

$$F = q_z G C_f A_s \quad \text{Ec. (33)}$$

Donde:

F = Fuerza estática

q_z = Velocidad de presión del viento

G = Factor de ráfaga

C_f = Coeficiente de fuerza

A_s = Área proyectada

Según el código ASCE:

- Para los dos casos el factor de ráfaga G es de 0,8 el cual corresponde a este diseño.
- El coeficiente de fuerza C_f para los dos casos es de 0,85 para cilindros.

(ASCE, 2013)

La velocidad de presión del viento se calcula mediante la siguiente formula:

$$q_z = 0,613 k_z k_{zt} V^2 I \quad \text{Ec. (34)}$$

Donde:

k_z = Factor de exposición de presión a una altura dada

k_{zt} = Factor topográfico

V = Velocidad del viento

I = Factor de importancia

- El factor de exposición de la presión a una altura del recipiente aproximada de $H=3,5$ m y de tipo de caso D correspondiente a este diseño $k_z=1,03$.
- El autotanque se diseña para circular en cualquier zona del país por lo tanto para ambos casos se considera un factor topográfico de $k_{zt} = 1$, ya que no existe un requerimiento topográfico definido.
- El factor de importancia $I = 1$, de acuerdo la categoría de diseño II.

(ASCE, 2013)

- **CALCULO DEL CASO 1**

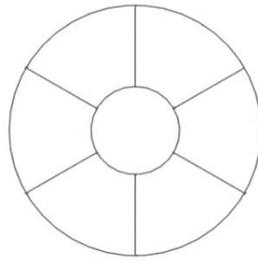


Figura 4-3. Vista frontal del recipiente
Fuente. Autor

• **Área proyectada**

$$A_s = \frac{\pi}{4} D^2 \quad \text{Ec. (35)}$$

$$D = 1,9017\text{m} \text{ (74,87 in)}$$

$$A_s = 2,8404 \text{ m}^2 \text{ (4 402,6288 in}^2\text{)}$$

• **Velocidad de presión del viento**

$$q_z = 0,613 k_z k_{zt} V^2 I \quad \text{Ec. (36)}$$

$$k_z = 1,03$$

$$k_{zt} = 1$$

$$V = 110 \text{ MPH (177,03 km/h)} \text{ (49,1744 m/s)}$$

$$I = 1$$

$$q_z = 1526,77 \text{ N/m (0,2214 lb/in}^2\text{)}$$

• **Fuerza estática**

$$F = q_z G C_f A_s \quad \text{Ec. (37)}$$

$$q_z = 1526,77 \text{ N / m}$$

$$G = 0,8$$

$$C_f = 0,85$$

$$A_s = 2,8404 \text{ m}^2$$

$$F = 2948,91 \text{ N}$$

- **CÁLCULO DEL CASO 2**

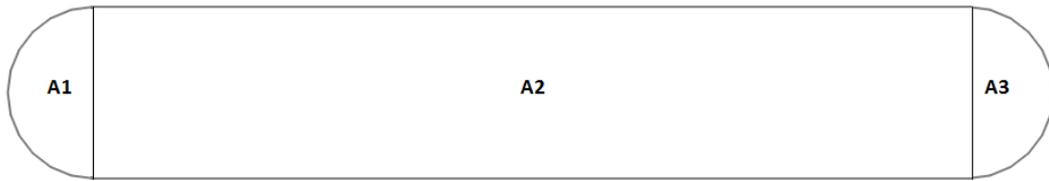


Figura 4-4. Vista lateral del recipiente
Fuente. Autor

• **Área proyectada**

$$A_s = A_1 + A_2 + A_3 \quad \text{Ec. (38)}$$

$$A_1 = A_3 = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D = 1,9017\text{m (74,87 in)}$$

$$A_1 = A_3 = 1,4202 \text{ m}^2 \text{ (2201,3144 in}^2 \text{)} \quad \text{Ec. (39)}$$

$$A_2 = B \times H \quad \text{Ec. (40)}$$

$$B = 9,702\text{m (382 in)}$$

$$H = 1,9017\text{m (74,87 in)}$$

$$A_2 = 18,4503 \text{ m}^2 \text{ (28596,0119 in}^2 \text{)}$$

$$A_s = 21,2907 \text{ m}^2 \text{ (33000,6408 in}^2 \text{)}$$

• **Velocidad de presión del viento**

$$q_z = 0,613 k_z k_{zt} V^2 I \quad \text{Ec. (41)}$$

$$k_z = 1,03$$

$$k_{zt} = 1$$

$$V = 110 \text{ MPH (177,03 km/h) (49,1744 m/s)}$$

$$I = 1$$

$$q_z = 1526,77 \text{ N/m (0,2214 lb/in}^2 \text{)}$$

- **Fuerza estática**

$$F = q_z G C_f A_s \quad \text{Ec. (42)}$$

$$q_z = 1526,77 \text{ N / m}$$

$$G = 0,8$$

$$C_f = 0,85$$

$$A_s = 21,2907 \text{ m}^2$$

$$F = 22104,0813 \text{ N}$$

4.3.5. *Cargas vivas.*

Las cargas dinámicas son aquellas que se producen por los siguientes factores

- Carga por aceleración y frenado.
- Cargas contra riesgos de accidentes.
- Cargas generadas por el peso del producto al momento que hay un salto.

Generalmente se aplican sobre las paredes del tanque generando cargas longitudinales, laterales y verticales. (DOT, 1996)

- *Carga por riesgos de accidentes.*

Para el cálculo de las cargas por riesgo de accidente se emplea la aceleración de la gravedad. La aceleración considerada para una carga por riesgo de accidentes es de 0,25g, es decir un cuarto de la aceleración de la gravedad lo que es igual a 2,45 m/s². Estas cargas por riesgo de accidente se generan sobre cada baffle y en una cabeza del recipiente. (DOT, 1996)

Esta carga se calcula a través de la siguiente formula:

$$F_{ra} = \frac{m_{GLP}}{N + 1} a_{ra} \quad \text{Ec. (43)}$$

Donde

F_{ra} = Fuerza ejercida por riesgo de accidentes

m_{GLP} = Masa del producto (GLP)

N = Número de baffles

a_{ra} = Aceleración para riesgos de accidentes (0,25g)

$$F_{ra} = \frac{13768,66 \text{ Kg}}{3 + 1} 2,45 \text{ m/s}^2$$

$$F_{ra} = 8433,3043 \text{ N}$$

- ***Cargas generadas por el peso del producto al momento que hay un salto.***

Estas cargas verticales son generadas por el peso del producto al momento de un salto del vehículo, lo cual podría ocasionar daños a la integridad del recipiente. Este cálculo se realiza mediante de la aplicación de la misma aceleración por riesgo de accidentes que indica el código DOT 412, la cual se calcula mediante la siguiente formula: (DOT, 1996)

$$F_{pp} = m_{GLP} * a_{ra} \quad \text{Ec. (44)}$$

Donde

F_{pp} = Fuerza ejercida al momento de un salto

$$F_{pp} = 13768,66 \text{ Kg} * 2,45 \text{ m/s}^2$$

$$F_{pp} = 33733,2170 \text{ N}$$

- ***Cargas por aceleración y frenado.***

La consideración de estas cargas es de vital importancia, ya que por dicha acción de aceleración y frenado se generan cargas horizontales dentro del recipiente. Para calcular esta carga se toma en cuenta que la velocidad que un autotank cargado puede desarrollar en 100 m de distancia es de 40 km/h, con un tiempo de demora de 15s para el recorrido de 100 m. (DOT, 1996)

Para calcular la aceleración del autotank, hacemos uso de los siguientes datos:

$$X_0 = 0 \text{ m}$$

$$X_f = 100 \text{ m}$$

$$V_f = 11,1 \text{ m/s}$$

$$t_f = 15 \text{ s}$$

$$a_a = 2 * \frac{V_f * t_f - X_f}{t_f^2} \quad \text{Ec. (45)}$$

$$a_a = 2 * \frac{11,1 \text{ m/s} * 15 \text{ s} - 100 \text{ m}}{(15 \text{ s})^2}$$

$$a_a = 0,591 \text{ m/s}^2$$

Para calcular la fuerza por aceleración y frenado (F_{af}) se utiliza la aceleración de autotanke (a_a) antes calculada.

$$F_{af} = \frac{m_{GLP}}{N + 1} a_a \quad \text{Ec. (46)}$$

$$F_{af} = \frac{13768,66 \text{ Kg}}{3 + 1} 0,591 \text{ m/s}^2$$

$$F_{af} = 2034,3195 \text{ N}$$

4.3.6. Cargas muertas.

El peso del recipiente se determina por descomposición en partes del recipiente

- *Peso del tanque*

Tabla 4-5. Peso del recipiente

Elemento	Masa (Kg)
Cabeza 1	360.7
Cilindro 1	1435.2
Cilindro 2	1435.2
Cilindro 3	1435.2
Cilindro 4	1435.2
Cabeza 2	360.7
Total	6462.2

Realizado por: Autor

Fuente: Autor

Peso total del recipiente 63372,53 N

- *Peso de Accesorios*

Tabla 4-6. Peso de accesorios

Elemento		Masa (Kg)
Boca1	Entrada de liquido	6,4
Boca2	Salida de liquido	9,0
Boca3	Salida de vapor	2,8
Boca4	Drenaje	1,4
Boca5A	válvula de alivio	9,0
Boca5B	válvula de alivio	9,0
C1	Porcentaje de llenado, galga rotativa	57,2
C2	Nivel de liquido	92,45
Manhole	termómetro, manómetro	139,45
Orejas de izaje A/B		23,6
Total		350,3

Realizado por: Autor

Fuente: Autor

Peso total de accesorios 3435,27 N

Peso total

Peso total = Peso total del recipiente + Pesos total de accesorios Ec. (47)

Peso total = 63372,53 N + 3435,27 N = **66807,8 N (15019 psi)**

4.4. Designación de material y cálculo de espesores.

4.4.1. Material.

El código ASME en la subsección C establece las distintas clases de materiales que pueden utilizarse en la construcción de recipientes a presión y partes de recipientes a presión. Estos materiales son los que presenta la norma ASME para el diseño y construcción de recipientes y partes de los recipientes a presión:

- (UCS) Aceros al carbono y baja aleación
- (UNF) Metales ferrosos
- (UHA) Aceros de alta aleación
- (UCI) Hierro fundido
- (UCD) Material de revestimiento integral y de forro
- (UHT) Hierro dúctil fundido.

- (ULW) Aceros férricos con propiedades agregadas por tratamiento térmico.
- (ULT) Construcción con capas y materiales de baja temperatura
- (UIG) Grafito impregnado

En este caso el material para el recipiente a presión y partes del recipiente a presión a utilizar es los Aceros al carbono y baja aleación (UCS), se escoge este material debido a que posee algunas características como costos reducidos, manufactura fácil, durabilidad, resistencia elevada.

El material del cuerpo, cabezas y otros partes está en conformidad con los aceptados por la norma ASME sección II

Los materiales que se pueden utilizar en el diseño, son limitados por cuanto en el mercado nacional se cuenta con un stock limitado de aceros. Pero se podrían importar, acción que estaría aceptada si la construcción del diseño se la va a realizar.

El material seleccionado para el recipiente a presión es el SA 516 70 el cual es un acero para recipientes a presión resistentes a medias y bajas temperaturas. Los aceros en calidad A/SA 516 Gr. 70 se caracteriza por una buena soldabilidad. Se utilizan sobre todo para la fabricación de calderas, recipientes a presión y tuberías de transporte de líquidos calientes. (ASME, 2010)

En las siguientes tablas se presenta las características del acero ASTM/A ASME SA-516-70.

Tabla 4-7. Composición química del acero ASTM/A ASME SA-516-70

Especificación	Descripción	Composición química % en peso máximo						Limite elástico min Kpa (Ksi)	Ultima tensión Kpa (Ksi)	% de elongación	Densidad kg/m ³ (lb/in ²)
		C	Mn	P	S	Si	Cb				
ASTM/A ASME SA-516-70	Recipientes para mediana y baja temperatura	0,31	1,20	0,035	0,035	0,15-0,40	0,020	261994,8 (38)	482622 (70-90)	17	7750 (0,28)

Realizado por: Autor
Fuente: (AHMSA, 2003)

Tabla 4-8. Valores máximos de esfuerzo para el acero ASTM/A ASME SA-516-70 a diferentes temperaturas.

Propiedad del acero ASTM/A ASME SA-516-70												
Valores máximos de esfuerzo permitido a tensión 1000 lb/pulg²												
Especificación		Para temperaturas del metal no mayor de grados F										
Numero	Grado	-20 400	500	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
ASTM/A ASME SA- 516-70	70	20,0	20,0	19,4	18,8	18,1	14,8	12,0	9,3	6,7	4,0	2,5

Realizado por: Autor
Fuente: (MEGYESY, 2008)

Tabla 4-9. Propiedades del acero SA-516-70 vs A36

PROPIEDADES DEL ACERO	SA-516-70	A36
Módulo de elasticidad.	29700000 psi (205 GPa)	29000000 psi (200 GPa)
Resistencia mínima a la tracción.	70000 psi	58000 psi
Límite de elasticidad mínimo.	20000psi	20000psi
Densidad del material	0,280 lb/in ³	0,280 lb/in ³
Coefficiente de poisson	0,30	0,26

Realizado por: Autor
Fuente: Autor

4.4.2. Eficiencia de juntas (soldadura).

En la subsección B de la norma ASME Sección VIII div. 1 establece los Requerimientos Relativos a Métodos de Construcción de Recipientes a Presión:

- **(UW)** Requerimientos para Recipientes a Presión Construido por Soldadura.
- **(UF)** Requerimientos para Recipientes a Presión Construido por Forja.
- **(UB)** Requerimientos para Recipientes a Presión Construido por Soldadura fuerte.

El método (UW) Requerimientos para Recipientes a Presión Construido por Soldadura es el seleccionado para la construcción del recipiente a presión por facilidad de aplicación de este método. (ASME, 2010)

- ***Recipientes a Presión Construido por Soldadura.***

Existen varios métodos para hacer juntas soldadas, de los cuales los más sobresalientes son: circunstancia para la realización de la soldadura, los requisitos de la norma, y los aspectos económicos.

1. Circunstancia para la realización de la soldadura.

La accesibilidad de la junta determina el tipo de soldadura. En recipientes con diámetros inferiores a 24 pulg no se debe aplicar soldadura manual. En los recipientes de diámetro mayor, sino tiene registro para hombre la última junta se debe cerrar desde el exterior. (MEGYESY, 1992)

2. Requisitos de norma

De acuerdo al tipo de junta, las normas establecen requisitos basados en el servicio, el material y la ubicación de la soldadura. Los procesos de soldadura que pueden aplicarse en la construcción de recipientes están restringidos también por la norma como se describe en el párrafo UW-27. (MEGYESY, 1992)

Las normas se presentan bajo los siguientes títulos y tablas.

- Tipos de juntas soldadas (juntas permitidas por la norma, su eficiencia y las limitaciones de sus aplicaciones)
- Diseño de juntas soldadas (tipos de juntas en recipientes para varios servicios y con ciertas condiciones de diseño) (UW-2, UW-3). Las juntas soldadas, se deben diseñar y construir en relación a los grados de riesgo de las sustancia que contiene, y su eficiencia no debe ser menor de:
 - a) 1,0 para sustancias con grado de riesgo a la salud de 4 o 3.
 - b) 1,0 para sustancias con un o más grado de riesgo (inflamabilidad, reactividad o especial) de 4.
 - c) 0,85 para sustancias con grados de riesgo de 3, 2, o 1, excepto lo indicado en a).
 - d) 0,7 para sustancias con grados de riesgo 0,28

- Eficiencias de junta y reducciones de esfuerzo (eficiencia de las juntas en ciertos puntos y esfuerzos permisibles para usarse en cálculos de componentes de recipientes, la eficiencia de la soldadura es el grado de confiabilidad que se tiene en las juntas dependiendo del tipo y grado de pruebas).

3. Economía de la soldadura.

Si los factores anteriores permiten la libre elección, la economía es el factor decisivo.

Se pueden encontrar varias formas de realizar una junta que dependiendo de la forma este puede resultar económica. La soldadura de baja calidad hace necesaria la utilización de placas de mayor espesor para el recipiente. El que sea menos costosa utilizar soldadura de mayor resistencia y la placa más delgada o lo contrario, depende del tamaño del recipiente, del equipo de soldadura, etc. Esto se debe decidirse en cada caso particular. (MEGYESY, 1992)

EFICIENCIA DE SOLDADURAS VALORES DE "E"		NORMAS		
		FIGURA No. 1		
TIPOS DE UNIONES NORMA UW-12		EFICIENCIA DE LA UNION CUANDO LA JUNTA ESTA RADIOGRAFIADA		
		AL 100 %	POR PUNTOS	SIN
	SOLDADURA A TOPE UNIDA CON SOLDADURA POR AMBOS LADOS, O BIEN POR OTRO METODO CON LO CUAL SE OBTENGA LA MISMA CANTIDAD DEL METAL DE APORTE EN AMBOS LADOS DE LA SUPERFICIE SOLDADA. SI SE USA LA SOLERA DE RESPALDO, DEBERA QUITARSE DESPUES DE APLICAR LA SOLDADURA Y ANTES DE RADIOGRAFIAR.	1.00	0.85	0.70
	SOLDADURA SIMPLE A TOPE CON SOLERA DE RESPALDO LA CUAL PERMANECERA EN EL INTERIOR DEL RECIPIENTE.	0.90	0.80	0.65
	UNION SIMPLE POR UN SOLO LADO SIN SOLERA DE RESPALDO	---	---	0.60
	UNION TRASLAPADA CON DOBLE FILETE	---	---	0.55
	UNION TRASLAPADA CON FILETE SENCILLO Y TAPON DE SOLDADURA	---	---	0.50
	UNION TRASLAPADA CON FILETE SENCILLO SIN TAPON DE SOLDADURA	---	---	0.45

Figura 4-5. Eficiencia de soldadura.

Fuente: (LEON ESTRADA, 2001)

En la construcción es importante la correcta selección de electrodos y métodos de soldadura según los materiales a soldar, así como la condición de la junta ya sea de cierre (SAW), cordón de raíz (TIG), relleno (SMAW y FCAW), etc. Además se deberá contar con sus respectivos WPS, PQR y WPQ.

- **SAW.** Proceso en el cual un alambre desnudo es alimentado hacia la pieza, mientras el arco se mantiene sumergido en una masa de fundente provisto desde una tolva que se desplaza por delante del electrodo.
- **FCAW.** Soldadura de arco con núcleo de fundente, conocida como MIG tubular, es un proceso de soldadura que aprovecha el arco eléctrico entre un electrodo continuo de metal de aporte y el metal base. Este proceso emplea un fundente que va al interior del alambre conocido como tubular, sin embargo de igual forma puede ir con o sin ayuda de una protección externa gaseosa.
- **TIG.** Sistema de soldadura al arco con protección gaseosa, que utiliza el intenso calor de un arco eléctrico generado entre un electrodo de tungsteno no consumible y la pieza a soldar, donde puede o no utilizarse metal de aporte.
- **SMAW.** Proceso en que se unen dos metales mediante una fusión localizada, producida por un arco eléctrico entre un electrodo metálico y el metal base que se desea unir. (INDURA, 2007). Revisar ANEXO D

- ***Selección del electrodo adecuado***

Para escoger el electrodo adecuado es necesario analizar las condiciones de trabajo en particular y luego determinar el tipo y diámetro de electrodo que más se adapte a estas condiciones.

Este análisis es relativamente simple si el operador se habitúa a considerar los siguientes factores:

- Naturaleza del metal base
- Dimensiones de la sección a soldar
- Tipo de corriente que entrega la maquina a soldar
- En qué posición o posiciones se soldara
- Tipo de unión y facilidad de fijación de la pieza
- Si el depósito debe poseer alguna característica especial, como son: resistencia a la corrosión, gran resistencia a la tracción, ductilidad, etc.

- Si la soldadura debe cumplir condiciones de alguna norma o especificaciones especiales.

(INDURA, 2007)

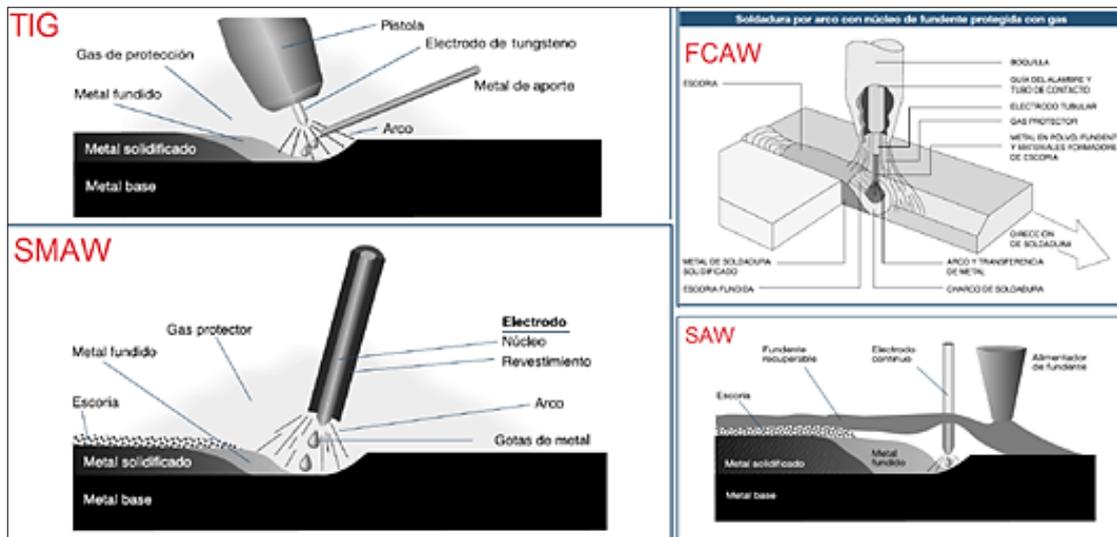


Figura 4-6. Tipos de soldadura.
Fuente: (INDURA, 2007)

La examinación de las juntas soldadas se lo realiza a través de ensayos no destructivos en los cuales se busca imperfecciones en la soldadura para garantizar la calidad y resistencia de la soldadura, los ensayos más utilizados son el ultrasonido y la radiografía esta última se realiza según los requerimientos ASME (UW-11) y la economía del diseño. Para el recipiente de GLP será FULL (radiografiada al 100%) en los cordones longitudinales circulares y transiciones cuerpo cabeza.

4.4.3. Cálculo de espesor de cuerpo y cabeza semiesférica.

- *Espesor de cilindros (cuerpo), según ASME sección VIII div. 1 UG-27*

En la mayoría de los casos el espesor requerido por las formulas del UG-27, basadas en el esfuerzo circunferencial gobiernan el espesor requerido sobre las formulas basadas en los esfuerzos longitudinales.

El recipiente del autotanque posee cuatro cilindros unidos a través de soldadura para formar dicho recipiente, para el cálculo del espesor de estos cilindros se aplican las siguientes formulas según sea el caso:

Esfuerzos Circunferenciales: cuando el espesor no excede $\frac{1}{2}$ del radio interno ($0.5R$), se debe aplicar la siguiente fórmula.

$$t_{cil} = \frac{P * R}{SE - 0,6P} \quad \text{Ec. (48)}$$

$$t_{cil} = \frac{250 \text{ lb/in}^2 * 36,935 \text{ in}}{20000 \text{ lb/in}^2 * 1 - 0,6 * 250 \text{ lb/in}^2}$$

$$t_{cil} = 0,4651 \text{ in (11,8154 mm)}$$

Se selecciona el espesor superior comercial.

$$\Rightarrow t_{nominal} = \frac{1}{2} \text{ in (12,70 mm)}$$

Esfuerzos longitudinales: Cuando el espesor del recipiente no supera $\frac{1}{2}$ del radio interno, se debe aplicar la siguiente ecuación.

$$t_{cil} = \frac{P * R}{2SE - 0,4P} \quad \text{Ec. (49)}$$

$$t_{cil} = \frac{250 \text{ lb/in}^2 * 36,935 \text{ in}}{2(20000 \text{ lb/in}^2 * 1) - 0,4 * 250 \text{ lb/in}^2}$$

$$t_{cil} = 0,2303 \text{ in (5,8496 mm)}$$

Se selecciona el espesor superior comercial.

$$\Rightarrow t_{nominal} = \frac{5}{16} \text{ in (7,9375 mm)}$$

Para cuerpos cilíndricos de pared delgada sometidos a presión, los esfuerzos circunferenciales son aproximadamente el doble de los esfuerzos longitudinales, por tal motivo se selecciona el espesor calculado según el esfuerzo circunferencial. (ASME, 2010)

- *Cálculo de la presión de trabajo máxima admisible (MAWP), según ASME sección VIII div. 1 UG-27*

$$MAWP_{cil} = \frac{S * E * t}{R + 0,6t} \quad \text{Ec. (50)}$$

$$MAWP_{cil} = \frac{20000 \text{ lb/in}^2 * 1 * 0,5 \text{ in}}{36,935 \text{ in} + 0,6(0,5 \text{ in})}$$

$$MAWP_{cil} = 268,56 \text{ psi}$$

Donde:

t_{cil} = Espesor del cilindro

$MAWP_{cil}$ = Presión de trabajo máxima admisible del cilindro

P = Presión de diseño

R = Radio interno del recipiente

S = Esfuerzo máximo admisible del material

E = Eficiencia de la soldadura (Radiografía Full)

(ASME, 2010)

- ***Espesor de cabezas semiesféricas, según ASME sección VIII div. 1 UG-32 (literal f)***

El recipiente del autotank posee dos cabezas (tapas) semiesféricas unidas a través de soldadura al cuerpo cilíndrico, para el cálculo del espesor de estas cabezas se aplica la siguiente fórmula:

$$t_{cabezas} = \frac{P * L}{2SE - 0,2P} \quad \text{Ec. (51)}$$

$$t_{cabezas} = \frac{250 \text{ lb/in}^2 * 36,935 \text{ in}}{2 * (20000 \text{ lb/in}^2 * 1) - 0,2 * 250 \text{ lb/in}^2}$$

$$t_{cabezas} = 0,2328 \text{ in (5,9132 mm)}$$

Se selecciona el espesor superior comercial.

$$\Rightarrow t_{nominal} = \frac{5}{16} \text{ in (7,9375 mm)}$$

(ASME, 2010)

- *Cálculo de la presión de trabajo máxima admisible (MAWP), según ASME sección VIII div. 1 UG-32 (literal f)*

$$MAWP_{cs} = \frac{2 * S * E * t}{R + 0,2t} \quad \text{Ec. (52)}$$

$$MAWP_{cs} = \frac{2 * 20000 \text{ lb/in}^2 * 1 * 0,3125 \text{ in}}{36,935 \text{ in} + 0,2(0,3125 \text{ in})}$$

$$MAWP_{cs} = 337,86 \text{ psi}$$

Donde:

t_{cs} = Espesor de cabezas semiesféricas

$MAWP_{cs}$ = Presión de trabajo máxima admisible de cabezas semiesféricas

P = Presión de diseño

R = L = Radio esferico interno

S = Esfuerzo máximo admisible del material

E = Eficiencia de la soldadura (Radiografía Full)

(ASME, 2010)

4.4.4. Diseño de Bocas.

Son tuberías externas conectadas al recipiente, estas conexiones pueden ser soldadas, roscadas, bridadas (unidas mediante pernos). Las bocas en los recipientes a presión se utilizan para la entrada y salida de líquido, salida de vapor, drenaje, válvula de seguridad, indicador de nivel, termómetro, galga rotativa, manómetro.

La forma, tamaño, resistencia y diseño de aberturas terminadas de las bocas esta dado en la UG 36 de la subsección A de la norma ASME sección VIII Div. 1.

Espesor del cuello de boca. Excepto para el manhole, el espesor de la pared del cuello de la boca no deberá ser menor que el valor mayor de lo siguiente:

- Espesor calculado para cargas aplicables sobre el cuello de la boca
- Espesor de la cabeza o casco donde va estar conectada la boca

Manhole el tamaño óptimo está determinado en función del diámetro interno de recipiente para este caso el diámetro del manhole tiene un diámetro interno mínimo de 15 pulgadas, la ubicación más recomendable es en la cabeza o cerca de ella, el espesor del cuello del manhole no debe ser menor que el espesor de la cabeza.

En el Anexo E, se detallan los detalles de bocas con y sin refuerzo.

- *Cálculo de BOCA C2*

A continuación se muestra el cálculo de la BOCA C2 y un resumen de los resultados de todas las bocas.

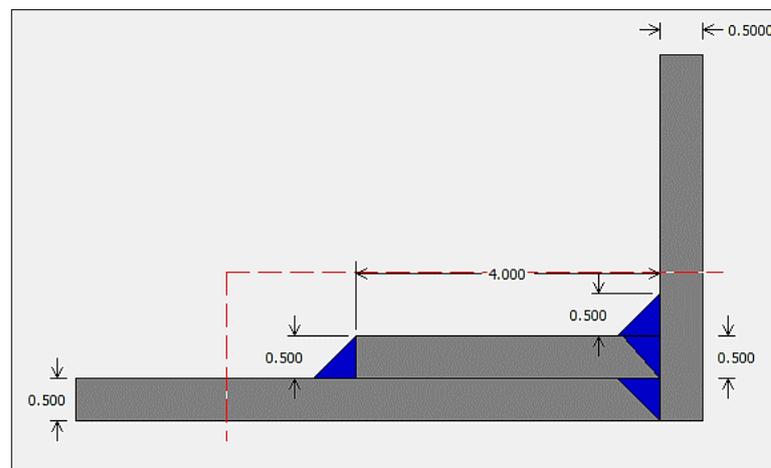


Figura 4-7. Bocas C2

Fuente. Autor

Donde:

S = Esfuerzo admisible a la tensión = 20000 psi

S_n = Esfuerzo admisible en la boquilla = 17100 psi

S_p = Esfuerzo admisible de la placa de refuerzo = 20000

d = Diámetro de Boca = 12,00 in

t = Espesor del cuerpo del recipiente = 0,500 in

t_r = Espesor requerido de Boca = 0,4917 in

t_n = Espesor nominal de Boca = 0,500 in

F = Factor para el cálculo del área de refuerzo = 1

E_1 = Eficiencia conjunta entre el recipiente y la Boca = 1

Tl_{wp} = Normal a la Pared del recipiente (Limite de espesor) = 1,250 in

trn_i = Espesor mínimo requerido de boca. (bajo presión interna) = 0,0885 in

trn_e = Espesor mínimo requerido de boca. (bajo presión externa) = 0,0312 in

Wo = Tamaño de pata de soldadura entre boca y placa de refuerzo/recipiente
= 0,5000 in

Wi = Tamaño de pata de soldadura de boca en el interior del recipiente
= 0,0000 in

can = corrosion admitible = 0,00 in

Wp = Tamaño de pata de soldadura entre placa de refuerzo y recipiente
= 0,5000 in

Dp = Diámetro de placa de refuerzo del recipiente = 21,0000 in

DL = Límite límite de refuerzo paralelo al la pared del recipiente (Diámetro límite)
= 24,0000 in

Nozzle OD = Diámetro exterior de la boca = 13,0000 in

te = Espesor de la placa de refuerzo = 0,5000 in

- **Espesor Mínimo requerido de Boca (trn). (UG-37(a) presión interna)**

$$trn_i = \frac{P * R}{S * E - 0,6 * P} \Rightarrow \text{segun UG - 27(c)(1)} \quad \text{Ec. (53)}$$

$$trn_i = \frac{250 \text{ lb/in}^2 * 6 \text{ in}}{17100 \text{ lb/in}^2 * 1 - 0,6 * 250 \text{ lb/in}^2}$$

$$trn_i = 0,0885 \text{ in}$$

- **Espesor mínimo requerido de boca. (UG-28 presión externa)**

$$trn_e = 0,0312 \text{ in}$$

- **Factores de reducción de resistencia de soldadura**

- Factor de reducción de resistencia a la soldadura (Fr1)

$$Fr1 = \min \left(1, \frac{Sn}{S} \right) \quad \text{Ec. (54)}$$

$$Fr1 = \min \left(1, \frac{17100 \text{ psi}}{20000 \text{ psi}} \right)$$

$$Fr1 = 0,855$$

- Factor de reducción de resistencia a la soldadura (Fr2)

$$Fr2 = \min\left(1, \frac{Sn}{S}\right) \quad \text{Ec. (55)}$$

$$Fr2 = \min\left(1, \frac{17100 \text{ psi}}{20000 \text{ psi}}\right)$$

$$Fr2 = 0,855$$

- Factor de reducción de resistencia a la soldadura (Fr4)

$$Fr4 = \min\left(1, \frac{Sp}{S}\right) \quad \text{Ec. (56)}$$

$$Fr4 = \min\left(1, \frac{20000 \text{ psi}}{20000 \text{ psi}}\right)$$

$$Fr4 = 1$$

- Factor de reducción de resistencia a la soldadura (Fr3)

$$Fr3 = \min(Fr2, Fr4) \quad \text{Ec. (57)}$$

$$Fr3 = \min(0,855, 1,0)$$

$$Fr3 = 0,855$$

Validación a través del cálculo de áreas en la Boca C2

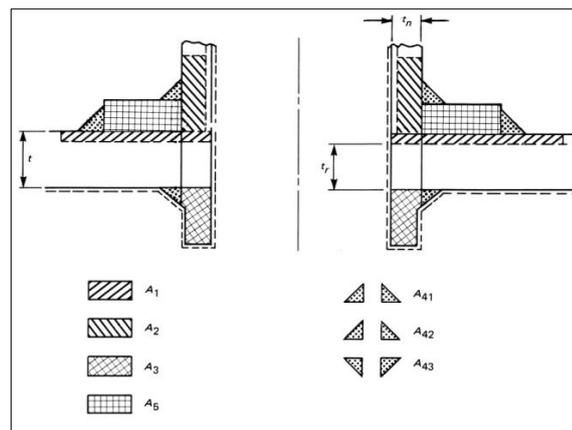


Figura 4-8. Identificación de áreas en bocas

Fuente: (ASME, 2010)

- Área requerida (A)

$$A = 0,5(d * t_r * F + 2 * t_n * t_r * F * (1 - Fr1)) \Rightarrow \text{Segun UG - 37(d) o UG - 39} \quad \text{Ec. (58)}$$

$$A = 0,5(12,0000 * 0,4917 * 1 + 2 * 0,5000 * 0,4917 * 1 * (1 - 0,86))$$

$$A = 2,986 \text{ in}^2$$

- Área disponible en Shell (A1)

$$A1 = d(E1 * t - F * tr) - 2 * tn(E1 * t - F * tr) * (1 - fr1)$$

Ec. (59)

$$A1 = 12,000 (1,00 * 0,5000 - 1,0 * 0,492) - 2 * 0,500 (1,00 * 0,5000 - 1,0 * 0,4917) * (1 - 0,855)$$

$$A1 = 0,098 \text{ in}^2$$

- Área disponible en la pared de la boquilla proyectada hacia fuera (A2)

$$A2 = (2 * Tlwp) * (tn - trn_e) * fr2 \quad \text{Ec. (60)}$$

$$A2 = (2 * 1,250) * (0,5000 - 0,0312) * 0,8550$$

$$A2 = 1,002 \text{ in}^2$$

- Áreas disponibles en soldaduras (A41 + A42 + A43)

$$A4 = A41 + A42 + A43 \quad \text{Ec. (61)}$$

$$A4 = Wo^2 * fr3 + \left(Wi - \frac{\text{can}}{0,707}\right)^2 * fr2 + Wp^2 * fr4$$

$$A4 = 0,5000^2 * 0,86 + (0,0000)^2 * 0,86 + 0,5000^2 * 1,00$$

$$A4 = 0,464 \text{ in}^2$$

- Área disponible del material de refuerzo (A5)

$$A5 = (\min(Dp, DL) - (\text{Nozzle OD})) * (\min(tp, Tlwp, te)) * fr4 \quad \text{Ec. (62)}$$

$$A5 = (21,0000 - 13,0000) * 0,5000 * 1,0000$$

$$A5 = 3,000 \text{ in}^2$$

- Según el código **ASME sección VIII división 1 (UG-37)**

$$\text{Si } A1 + A2 + A3 + A4 + A5 \geq A \Rightarrow \text{Pasa} \quad \text{Ec. (63)}$$

$$\text{Si } A1 + A2 + A3 + A4 + A5 \leq A \Rightarrow \text{No Pasa} \quad \text{Ec. (64)}$$

Entonces:

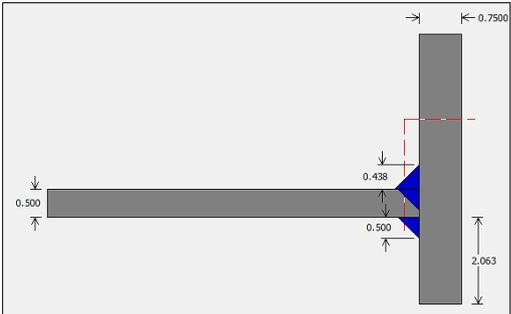
$$0,098 \text{ in}^2 + 1,002 \text{ in}^2 + 0 \text{ in}^2 + 0,464 \text{ in}^2 + 3,000 \text{ in}^2 \geq 2,986 \text{ in}^2$$

$$4,564 \text{ in}^2 \geq 2,986 \text{ in}^2 \Rightarrow \text{Si pasa}$$

(ASME, 2010)

- **Resumen de cálculo de bocas.**

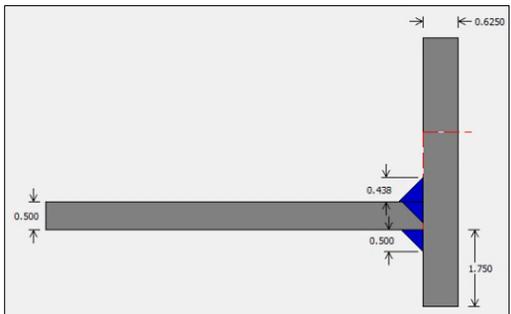
Tabla 4-10. Resumen del cálculo de la Boca1

BOCA 1 - Validación a través del cálculo de áreas		
		
Figura 4-9. Boca 1		
Fuente. Autor		
Área Requerida	A	0,861 in²
Área en el recipiente	A1	0,989 in ²
Área en la pared de la boca	A2	1,892 in ²
Área de la boca en el interior del recipiente	A3	1,875 in ²
Área en soldaduras A41 +A42 +A43	A4	0,441 in ²
Área en placa de refuerzo	A5	0,000 in ²
TOTAL ÁREA DE VALIDACIÓN (A1+A2+A3+A4+A5)	A_{total}	5,198 in²
Observación:	$A_{total} \geq A \Rightarrow$ Si pasa	

Realizado por: Autor

Fuente: autor

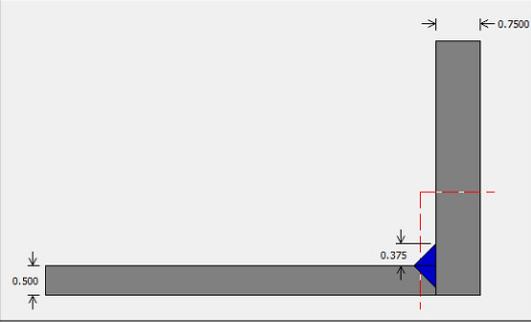
Tabla 4-11. Resumen del cálculo de la Boca 2

BOCA 2 - Validación a través del cálculo de áreas		
		
Figura 4-10. Boca 3		
Fuente. Autor		
Área Requerida	A	0,615 in²
Área en el recipiente	A1	0,707 in ²
Área en la pared de la boca	A2	1,590 in ²
Área de la boca en el interior del recipiente	A3	1,562 in ²
Área en soldaduras A41 +A42 +A43	A4	0,441 in ²
Área en placa de refuerzo	A5	0,000 in ²
TOTAL ÁREA DE VALIDACIÓN (A1+A2+A3+A4+A5)	A_{total}	4,301 in²
Observación:	$A_{total} \geq A \Rightarrow$ Si pasa	

Realizado por: Autor

Fuente: autor

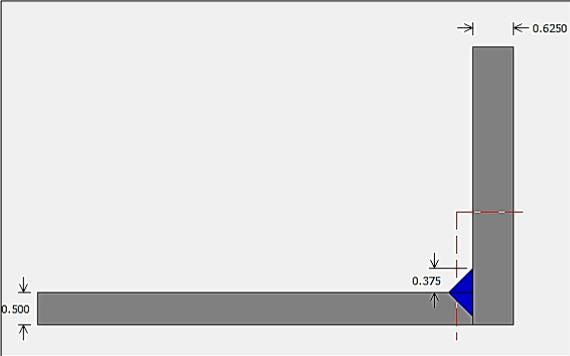
Tabla 4-12. Resumen del cálculo de la Boca 3

BOCA 3 - Validación a través del cálculo de áreas		
		
Figura 4-11. Boca 2		
Fuente. Autor		
Área Requerida	A	0,861 in²
Área en el recipiente	A1	0,029 in ²
Área en la pared de la boca	A2	1,849 in ²
Área de la boca en el interior del recipiente	A3	0,000 in ²
Área en soldaduras A41 +A42 +A43	A4	0,141 in ²
Área en placa de refuerzo	A5	0,000 in ²
TOTAL ÁREA DE VALIDACIÓN (A1+A2+A3+A4+A5)	A_{total}	2,019 in²
Observación:	$A_{total} \geq A \Rightarrow$ Si pasa	

Realizado por: Autor

Fuente: autor

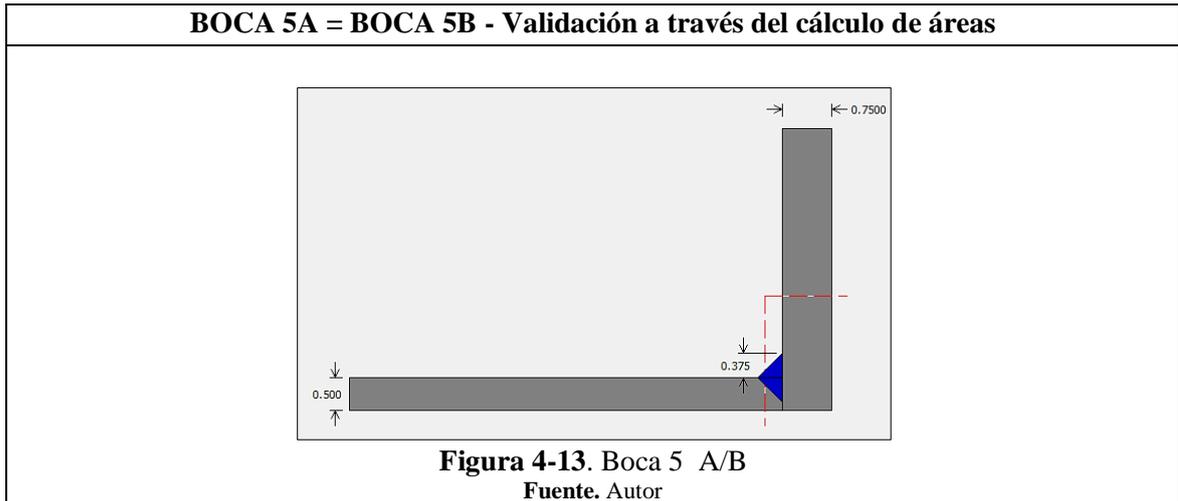
Tabla 4-13. Resumen del cálculo de la Boca 4

BOCA 4 - Validación a través del cálculo de áreas		
		
Figura 4-12. Boca 4		
Fuente. Autor		
Área Requerida	A	0,782 in²
Área en el recipiente	A1	0,023 in ²
Área en la pared de la boca	A2	0,667 in ²
Área de la boca en el interior del recipiente	A3	0,000 in ²
Área en soldaduras A41 +A42 +A43	A4	0,120 in ²
Área en placa de refuerzo	A5	0,000 in ²
TOTAL ÁREA DE VALIDACIÓN (A1+A2+A3+A4+A5)	A_{total}	0,810 in²
Observación:	$A_{total} \geq A \Rightarrow$ Si pasa	

Realizado por: Autor

Fuente: autor

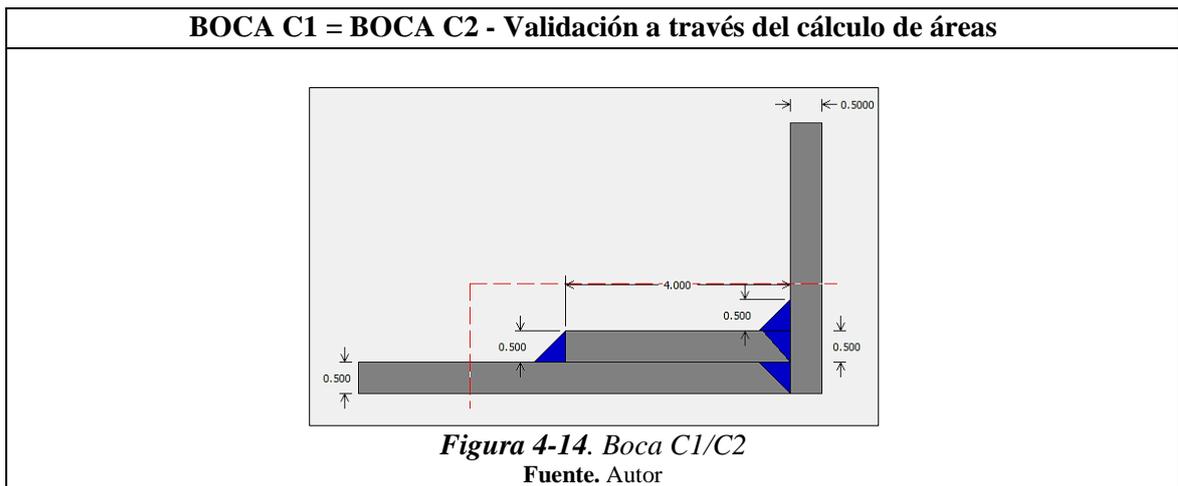
Tabla 4-14. Resumen del cálculo de la Boca 5 A/B



Área Requerida	A	0,914 in²
Área en el recipiente	A1	0,027 in ²
Área en la pared de la boca	A2	1,582 in ²
Área de la boca en el interior del recipiente	A3	0,000 in ²
Área en soldaduras A41 +A42 +A43	A4	0,12 in ²
Área en placa de refuerzo	A5	0,000 in ²
TOTAL ÁREA DE VALIDACIÓN (A1+A2+A3+A4+A5)	A_{total}	1,729 in²
Observación:	$A_{total} \geq A \Rightarrow$ Si pasa	

Realizado por: Autor
Fuente: autor

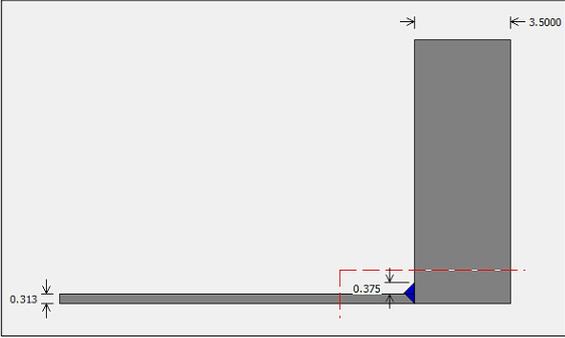
Tabla 4-15. Resumen del cálculo de la Boca C1/C2



Área Requerida	A	2,986 in²
Área en el recipiente	A1	0,098 in ²
Área en la pared de la boca	A2	1,002 in ²
Área de la boca en el interior del recipiente	A3	0,000 in ²
Área en soldaduras A41 +A42 +A43	A4	0,464 in ²
Área en placa de refuerzo	A5	3,000 in ²
TOTAL ÁREA DE VALIDACIÓN (A1+A2+A3+A4+A5)	A_{total}	4,564 in²
Observación:	$A_{total} \geq A \Rightarrow$ Si pasa	

Realizado por: Autor
Fuente: autor

Tabla 4-16. Resumen del cálculo del Manhole

MANHOLE - Validación a través del cálculo de áreas		
		
Figura 4-15. Manhole.		
Fuente. Autor		
Área Requerida	A	4,160 in²
Área en el recipiente	A1	1,465 in ²
Área en la pared de la boca	A2	5,292 in ²
Área de la boca en el interior del recipiente	A3	0,000 in ²
Área en soldaduras A41 +A42 +A43	A4	0,141 in ²
Área en placa de refuerzo	A5	0,000 in ²
TOTAL ÁREA DE VALIDACIÓN (A1+A2+A3+A4+A5)	A_{total}	6,897 in²
Observación:	$A_{total} \geq A \Rightarrow$ Si pasa	

Realizado por: Autor

Fuente: autor

- **Selección de brida para bocas.**

Se recomienda que las bocas de 1 1/4 pulgadas de diámetro y menores sean instaladas por medio de coples roscados y las bocas de 1 1/2 pulgadas de diámetro y mayores deben ser bridadas. De acuerdo a la forma de unir las bridad a los cuellos de las bocas existen los distintos tipos de bridas.

- Brida de cuello soldable (Welding Neck)
- Brida deslizable (Slip-On)
- Brida traslape (lap-Joint)
- Brida rocada (trnreaded)
- Brida de enchufe soldada (Socket Welding)
- Bridas de orificio
- Bridas ciegas (Blind)
- Bridas especiales

La brida de cuello soldable (Welding Neck) se prefiere para todas las condiciones severas de trabajo, ya sea que esto resulte de altas presiones o de temperaturas elevadas o menores de cero, ya sea también para condiciones de carga que sean sustancialmente constantes o que fluctúen entre límites amplios. Las bridas de cuello soldable se recomiendan para el manejo de fluidos explosivos, inflamables o costosos. Revisar Anexo F. (LEON ESTRADA, 2001)

4.4.5. Rompe olas (Baffles).

Es una pantalla o división interior no hermética de un recipiente que no permite el desplazamiento brusco del fluido durante su transportación. Los baffles son utilizados como miembros de refuerzo y como supresores del movimiento del fluido en dirección longitudinal del recipiente.

Los baffles deben ser soldados circunferencialmente al cuerpo del recipiente. La longitud de la soldadura nunca debe ser menor al 50% del perímetro del contorno del recipiente y el máximo espacio sin soldadura sobre esta unión no debe exceder el límite de 40 veces el espesor de la lámina del cuerpo del tanque.

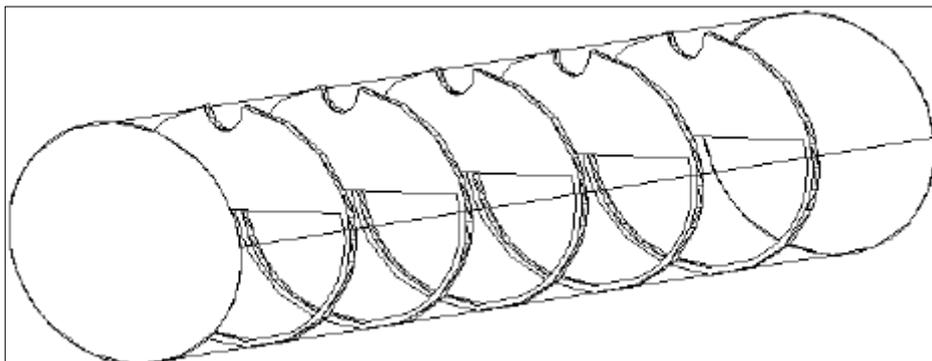


Figura 4-16. Baffle.

Fuente: (FAVELA GALLEGOS, y otros, 2006)

Las geometrías disponibles para los baffles son 3 cada uno de ellos presentan características beneficiosas según el porcentaje de fluido a transportar, la geometría más acta es la de tipo rb de 3 elementos por que presenta menor porcentaje de oleaje y el centro de gravedad del recipiente no se eleva demasiado que como con el de 5 elementos. (FAVELA GALLEGOS, y otros, 2006)

El material de los baffles es el mismo del recipiente SA-515-70 por que permitirá una adecuada soldadura y cumplir con las condiciones que establece la norma ASME y la estructura del baffle es SA-36.

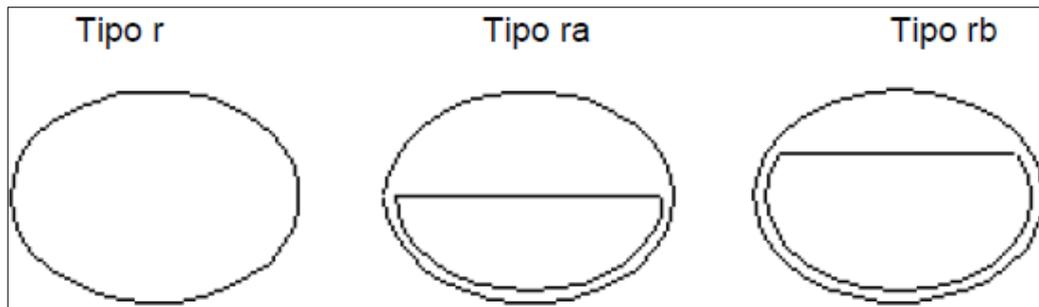


Figura 4-17. Tipos de Baffles.
Fuente: (FAVELA GALLEGOS, y otros, 2006)

4.4.6. Oreja de izaje.

Las orejas de izaje son elementos de sujeción de recipientes. Su función es dar los puntos de apoyo para que recipiente pueda ser elevado y de esta manera para colocarlo sobre el bastidor del autotanque. Las orejas de izaje por lo general son dos placas con orificios que se sueldan al recipiente para sujetarse al cuerpo cilíndrico del mismo.

En el código ASME no existe el marco teórico para el cálculo de las orejas de izaje. El siguiente procedimiento se basa en PRESSURE VESSEL HANDBOOK 2008 y ESCOE, 2008

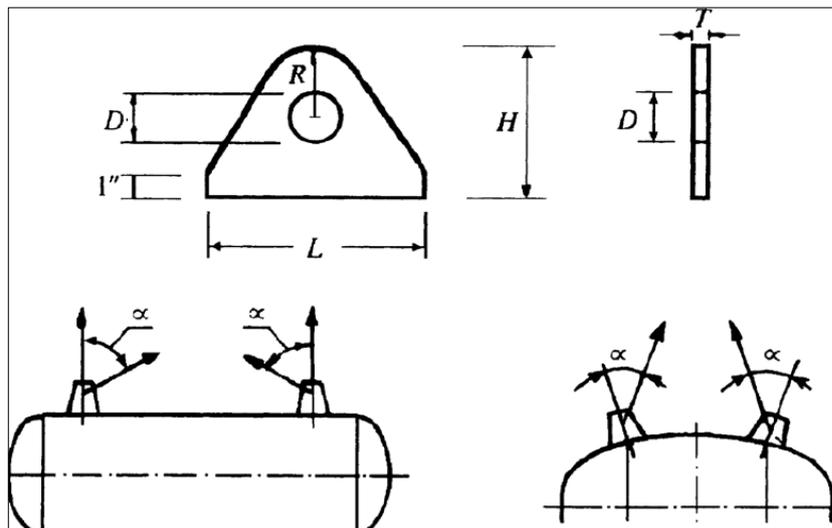


Figura 4-18. Oreja de izaje
Fuente: (MEGYESY, 2008)

El PRESSURE VESSEL HANDBOOK establece la geometría, las dimensiones, el material de las orejas de izaje, para aplicar este método se necesita el peso del recipiente vacío con todos sus accesorios y multiplicarlo por 1.5 por margen de seguridad. El

diseño por este método tiene algunas consideraciones: como el ángulo α es a 45° como máximo, el material debe tener una resistencia mínima de 70000 Psi.

- *Diseño de las orejas de izaje*

El material seleccionado para las orejas de izaje es el SA 516-70

El peso total de recipiente y accesorios con el margen de seguridad es de 22546,60 lbf con el peso obtenido aproximamos al inmediato superior de la tabla 4-17 que en este caso es 30000 lb y en esta tabla se obtiene el dimensionamiento de la las orejas de izaje.

En la tabla4-17 también especifica el espesor de la soldadura que tiene que tener las orejas de izaje.

Tabla 4-17. Dimensionamiento de orejas de izaje

PESO DEL RECIPIENTE	D (in)	T (in)	R (in)	H (in)	L (in)
12 000	1	1/2	1 1/2	5	10
20 000	1 1/8	3/4	2	6	10
30 000	1 3/8	1	2 1/8	6	10
50 000	1 3/8	1 1/4	2 1/2	7	12
70 000	2 1/8	1 1/4	3 1/2	8	12
100 000	2 1/2	1 1/2	4 1/2	9	16
150 000	3	1 3/4	5	10	16
200 000	4	2	6	12	18
250 000	4 1/4	2	6 1/2	13	18
300 000	4 1/2	2 1/2	7	14	20

Realizado por: Autor
Fuente: (MEGYESY, 2008)

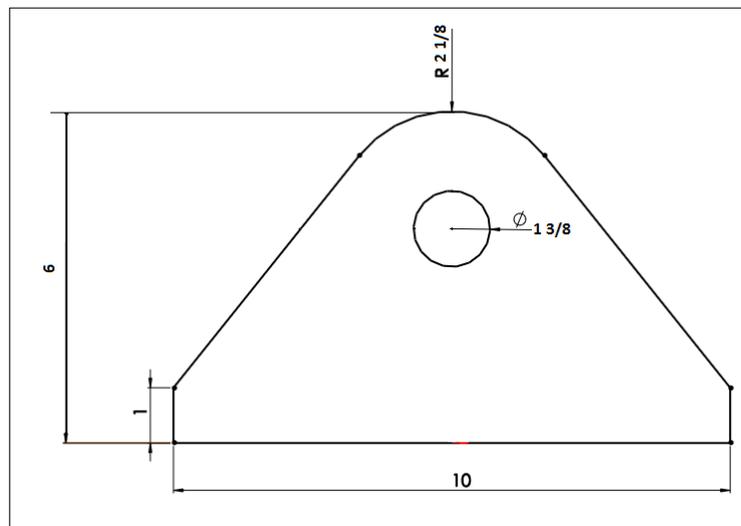


Figura 4-19. Oreja de izaje

Fuente. Autor

Mediante la siguiente formula se determina el espesor mínimo de las orejas de izaje. (MEGYESY, 1992)

$$t = \frac{P}{2S(R - \frac{D}{2})} \quad \text{Ec. (65)}$$

Donde

t = espesor mínimo requerido

P = carga en este caso 30000 lb

S = esfuerzo cortante permitido 20000 Psi

R y D = datos tomados de la tabla

$$t = \frac{30000}{2 * 20000(2,125 - \frac{1,3125}{2})}$$

$$t = 0,52 \text{ pulg}$$

Con esto se comprueba que el espesor por el método de PRESSURE VESSEL HANDBOOK es más conservador y se acoge ese espesor. (MEGYESY, 2008)

4.4.7. Resultados del Diseño del recipiente.

A continuación se muestra de forma resumida los resultados arrojados por los distintos procedimientos para el diseño del recipiente.

Tabla 4-18. Espesores de los cilindros y cabezas

Elemento	Material	Espesor mínimo calculado	Espesor nominal (seleccionado)	Diámetro interno (D _i)
Cabeza 1	SA-516 70	0,2328 in (5,9132 mm)	0,3125 in (7,9375 mm)	74,24 in (1885,8 mm)
Cilindro 1	SA-516 70	0,4651 in (11,8154 mm)	0,500 in (12,700 mm)	73,87 in (1876,3 mm)
Cilindro 2	SA-516 70	0,4651 in (11,8154 mm)	0,500 in (12,700 mm)	73,87 in (1876,3 mm)
Cilindro 3	SA-516 70	0,4651 in (11,8154 mm)	0,500 in (12,700 mm)	73,87 in (1876,3 mm)
Cilindro 4	SA-516 70	0,4651 in (11,8154 mm)	0,500 in (12,700 mm)	73,87 in (1876,3 mm)
Cabeza 2	SA-516 70	0,2328 in (5,9132 mm)	0,3125 in (7,9375 mm)	74,24 in (1885,8 mm)

Realizado por: Autor
Fuente: Autor

Tabla 4-19. Presión y temperatura de diseño

Elemento	Material	Presión de diseño	Temperatura de diseño	MAWP (psi)
Cabeza 1	SA-516 70	250 psi (1,72 MPa)	140 °F (60 °C)	337,861
Cilindro 1	SA-516 70	250 psi (1,72 MPa)	140 °F (60 °C)	268,565
Cilindro 2	SA-516 70	250 psi (1,72 MPa)	140 °F (60 °C)	268,565
Cilindro 3	SA-516 70	250 psi (1,72 MPa)	140 °F (60 °C)	268,565
Cilindro 4	SA-516 70	250 psi (1,72 MPa)	140 °F (60 °C)	268,565
Cabeza 2	SA-516 70	250 psi (1,72 MPa)	140 °F (60 °C)	337,861
Boca1	SA-105	250 psi (1,72 MPa)	140 °F (60 °C)	268,565
Boca2	SA-105	250 psi (1,72 MPa)	140 °F (60 °C)	268,565
Boca3	SA-105	250 psi (1,72 MPa)	140 °F (60 °C)	268,565
Boca4	SA-105	250 psi (1,72 MPa)	140 °F (60 °C)	270,746
Boca5A	SA-105	250 psi (1,72 MPa)	140 °F (60 °C)	270,746
Boca5B	SA-105	250 psi (1,72 MPa)	140 °F (60 °C)	270,746
C1	SA-234 WPB	250 psi (1,72 MPa)	140 °F (60 °C)	270,746
C2	SA-234 WPB	250 psi (1,72 MPa)	140 °F (60 °C)	270,746
Manhole	SA-516 70	250 psi (1,72 MPa)	140 °F (60 °C)	337,861

Realizado por: Autor

Fuente: Autor

4.5. Procedimiento de pintura.

Para un correcto procedimiento de pintura se debe contar con una preparación superficial adecuada, por lo general se aplica la norma SSPC – 10 (Steel Structures Painting Council Pittsburgh USA) para exteriores. Anexo G

Para este caso, se plantea un sistema de pintura que consta de tres capas compuesto de zinc inorgánico, epóxico y poliuretano con espesores de 3, 5 y 2 Mils respectivamente, considerado todos los espesores de pintura en seco. A continuación se muestra el cálculo de consumo pintura tomando en cuenta que la superficie total del recipiente es de 1481,09 ft² con un porcentaje de pérdida del 60%. Anexo I

- Primera capa

$$R_p = R_t - \frac{\%P * R_t}{100} \quad \text{Ec. (66)}$$

$$R_p = 348 - \frac{60 * 348}{100}$$

$$R_p = 139,2 \text{ ft}^2/\text{gls}$$

$$C = \frac{A}{R_p} \quad \text{Ec. (67)}$$

$$C = \frac{1481,09 \text{ ft}^2}{139,2 \text{ ft}^2/\text{gls}}$$

$$C = 10,64 \text{ gls}$$

- Segunda capa

$$R_p = R_t - \frac{\%P * R_t}{100} \quad \text{Ec. (68)}$$

$$R_p = 266,6 - \frac{60 * 266,6}{100}$$

$$R_p = 106,64 \text{ ft}^2/\text{gls}$$

$$C = \frac{A}{R_p} \quad \text{Ec. (69)}$$

$$C = \frac{1481,09 \text{ ft}^2}{106,64 \text{ ft}^2/\text{gls}}$$

$$C = 13,89 \text{ gls}$$

- Tercera capa

$$R_p = R_t - \frac{\%P * R_t}{100} \quad \text{Ec. (70)}$$

$$R_p = 441 - \frac{60 * 441}{100}$$

$$R_p = 176,4 \text{ ft}^2/\text{gls}$$

$$C = \frac{A}{R_p} \quad \text{Ec. (71)}$$

$$C = \frac{1481,09 \text{ ft}^2}{176,4 \text{ ft}^2/\text{gls}}$$

$$C = 8,39 \text{ gls}$$

Donde:

Rt = Recubrimiento teórico, en ft²/gls. (Anexo H)

Rp = Recubrimiento práctico, en ft² /gls.

%P = Porcentaje de pérdida.

C = Consumo, en gls.

A = Superficie total del recipiente, en ft².

El disolvente utilizado está en función de cada capa, para la capa 1 el porcentaje de disolvente esta entre 0-10% de la pintura según las condiciones de aplicación, para la capa 2 el porcentaje de disolvente esta entre 5-10% de la pintura según las condiciones de aplicación y para la capa 3 el porcentaje de disolvente esta entre 3-5% de la pintura utilizada, tomando en cuenta una técnica de aplicación de pintura por pistola de aire. Por lo tanto el volumen utilizado de disolvente para las tres capas es de 3 Gls.

CAPITULO V

5. DISEÑO DE BASTIDOR DEL AUTOTANQUE.

5.1. Normativas para el diseño de la estructura (bastidor) del autotanque.

5.1.1. Especificación AISC.

AISC son las siglas para el Instituto Americano de Construcción en Acero (American Institute of Steel Construction). Está compuesto por un comité que lo mantiene actualizado, periódicamente se publican nuevas ediciones.

Esta especificación se aplicara al diseño de sistemas estructurales en acero, además establece criterios para diseño, fabricación y montaje. Posee dos métodos de diseño

- Factores de Carga y Resistencia **LRFD** (Load and Resistance Factor Desing).
- Resistencias Admisibles **ASD** (Allowable Strength Desing).

(AISC, 2010)

5.1.2. Dimensionamiento del bastidor.

Para el dimensionamiento del bastidor se tiene como punto de partida el recipiente antes diseñado y las dimensiones máximas que establece el MTOP, el recipiente se encuentra apoyado sobre una estructura la cual se va estar apoyada sobre una placa giratoria y los ejes traseros.

El diseño está compuesto por el recipiente, King pin, estructura (bastidor), sistema de suspensión, ejes, patas telescópicas, llantas, etc.

En el recipiente se encuentra soldado con placas de refuerzo que permitirá soldar la estructura (bastidor) con el recipiente, estas placas de refuerzo son utilizadas para proteger al recipiente y así no incumplir disposiciones de la ASME Sección VIII Div II.

5.2. Determinación de cargas.

5.2.1. Cargas muertas.

Es el peso total de toda la estructura sin considerar el peso del producto a transportar. En la tabla de a continuación se detallan los pesos.

Tabla 5-1. Cargas muertas

Elementos	Peso (kg)
Cabezas y Cuerpo	6486,0
Baffles	280,5
Bocas	217,0
Bastidor	3191,1
King Pin	652,2
Escaleras Caja De Herramientas	148,7
Soporte Patas Telescópica	336,4
Guardachoque Luces Posteriores	95,0
Accesorios De Bocas	130,0
Sistema Eléctrico	45,35
Total	11582,25

Realizado por: Autor
Fuente: Autor

El peso total por cargas muertas 113583,12 N

5.2.2. Carga viva.

Para el diseño del chasis se considera como carga viva varios factores como el peso del producto, riesgo de accidentes, peso del producto al momento que hay un salto y cargas por aceleración y frenado, a partir de estos factores se selecciona el peso del producto más las cargas generadas por el peso del producto al momento que hay un salto.

En la siguiente tabla se detalla las cargas vivas

Tabla 5-2. Cargas vivas

Cargas vivas	Valor
Carga por aceleración y frenado	2034,31 N
Cargas contra riesgos de accidentes.	8433,30 N
Cargas generadas por el peso del producto al momento que hay un salto.	33733,21 N
Peso del producto	135070,55 N

Realizado por: Autor
Fuente: Autor

La carga viva a aplicarse en el bastidor es la sumatoria de las cargas verticales calculadas con anterioridad y presentes en la tabla anterior.

$$C_{viva} = F_{pp} + P_P \quad \text{Ec. (72)}$$

$$C_{viva} = 33733,21 \text{ N} + 135070,55 \text{ N}$$

$$C_{viva} = 168803,77 \text{ N}$$

5.2.3. Aplicación de cargas en el chasis.

La carga muerta y la carga viva se encuentran parcialmente distribuidas sobre toda la estructura (bastidor). Adicionalmente el chasis constara con un sistema de suspensión de dos ejes las cuales se encuentra ubicadas según las recomendaciones del fabricante.

5.3. Diseño de la estructura (Bastidor).

La estructura se encuentra diseñada bajo la especificación AISC por el método de diseño de factores de carga y resistencia LRFD.

El método LRFD consiste en, cuando la resistencia de diseño de cada componente estructural es mayor o igual a la resistencia requerida determinada de acuerdo con las combinaciones de carga LRFD.

En el método LRFD las cargas de trabajo se multiplican por ciertos factores de carga o seguridad que en su mayoría es 1. Las magnitudes de los factores de carga varían dependiendo el tipo de combinaciones de carga.

La estructura (bastidor) se diseña para que tenga una resistencia última de diseño capaz de resistir a los ciertos factores de carga o de seguridad. Esta resistencia se considera igual a la resistencia teórica del elemento estructural multiplicado por un factor de resistencia que normalmente es menor que 1.

$$Q_i \times \lambda_i \leq \phi \times R_n \quad \text{Ec. (73)}$$

$$R_U = Q_i \times \lambda_i \quad \text{Ec. (74)}$$

Dónde:

R_U = Resistencia LRFD

Q_i = Carga de trabajo

λ_i = Factor de carga o de seguridad en su mayoría > 1

ϕ = Factor de resistencia

R_n = Resistencia teórica

$\phi \times R_n$ = Resistencia de diseño

(AISC, 2010)

Las combinaciones usadas de carga consideradas en la especificación AISC son las siguientes:

1. $U = 1,4D$ Ec. (75)

2. $U = 1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ o } S \text{ o } R)$ Ec. (76)

3. $U = 1,2D + 1,6(Lr \text{ o } S \text{ o } R) + (0,5Lr \text{ o } 0,5W)$ Ec. (77)

4. $U = 1,2D + 1W + 0,5L + 0,5(Lr \text{ o } S \text{ o } R)$ Ec. (78)

5. $U = 1,2E + 1E + 0,5L + 0,2S$ Ec. (79)

6. $U = 0,9D + 1W$ Ec. (80)

7. $U = 0,9D + 1E$ Ec. (81)

Dónde:

U = Carga última

D = Carga muerta

L = Carga Viva

W = Carga del viento

S = carga de nieve

R = Carga de lluvia

E = Carga de sismo

L = Carga viva sobre el techo

(AISC, 2011)

En la siguiente tabla se especifica los valores del factor de carga o factor de seguridad de LRFD.

Tabla 5-3. Factor de carga o de seguridad LRFD

Factores de resistencia	Situaciones
1	Aplastamiento en áreas proyectantes de pasadores, fluencia del alma bajo cargas concentradas, cortante en tornillos en juntas tipo fricción.
0,9	Vigas sometidas a flexión y corte, filetes de soldadura con esfuerzos paralelos sección total de miembros a tensión.
0,85	Columnas, aplastamiento del alma, distancias al borde y capacidad de aplastamiento en agujeros.
0,8	Cortante en el área efectiva de soldaduras de ranura con penetración parcial.
0,75	Tornillos a tensión, soldaduras de tapón o muescas, fractura en la sección neta de miembros a tensión.
0,65	Aplastamiento en tornillos
0,6	Aplastamiento en cimentaciones de concreto

Realizado por: Autor
Fuente: (FRATELLI, 2003)

Para el diseño de la estructura se tienen como puntos de apoyo los dos ejes de la suspensión en donde se va a considerar como un solo punto de apoyo y el acople de la estructura (bastidor) con el tracto-camión (King pin) como otro apoyo.

El material seleccionado para la estructura es el SA 516-70 es el mismo que se usa en el recipiente y así permitirá una soldadura adecuada y cumplir con las condiciones que establece la norma ASME Sección VIII Div II.

La estructura (bastidor) está compuesto por vigas principales y vigas de amarre.

5.3.1. Vigas principales.

Para el análisis de la viga principal se toman en cuenta dos apoyos, uno representa a los dos ejes y el otro al King ping. A continuación se realiza el cálculo de reacciones en los apoyos.

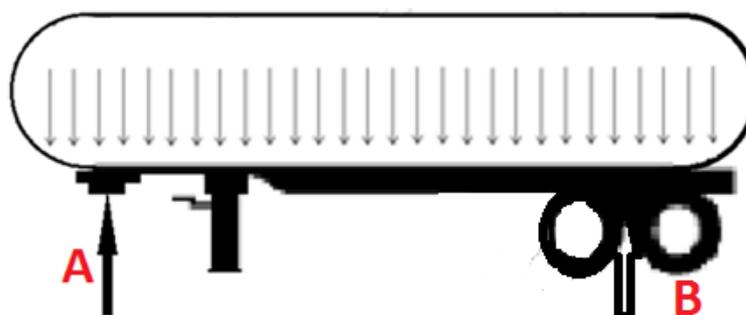


Figura 5-1. Ubicación de apoyos
Fuente. Autor

- **Determinación de las reacciones por la carga muerta.**

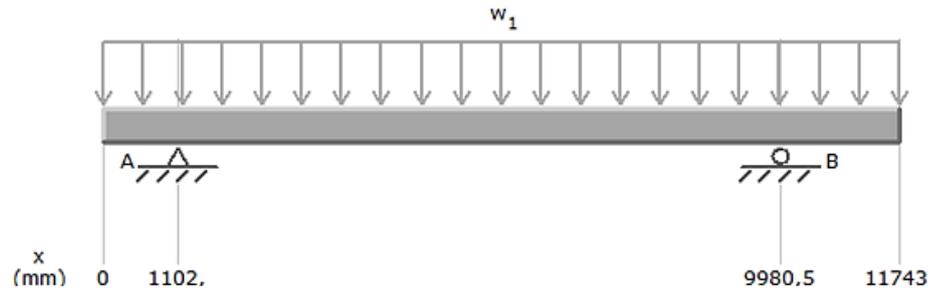


Figura 5-2. Diagrama de cuerpo libre en la viga principal

Fuente. Autor

$$w_1 = \frac{113583,123 \text{ N}}{11743 \text{ mm}} \quad \text{Ec. (82)}$$

$$w_1 = 9,672411053 \text{ N/mm}$$

$$+\uparrow \sum F_y = 0 \quad \text{Ec. (83)}$$

$$R_{Ay} + R_{By} = 113583,123 \text{ N}$$

$$+\curvearrowright \sum M_A = 0 \quad \text{Ec. (84)}$$

$$(10658,9 * 551) - (85876,5 * 4439,25) + (R_{By} * 8878,5) - (17047,67 * 9759,75) = 0$$

$$R_{By} = 61016,5 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = 52566,6 \text{ N}$$

- **Determinación de las reacciones por la carga viva.**

$$\text{Peso} = 168803,7729 \text{ N}$$

$$w_1 = \frac{168803,7729 \text{ N}}{11743 \text{ mm}} \quad \text{Ec. (85)}$$

$$w_1 = 14,37484228 \text{ N/mm}$$

$$+\uparrow \sum F_y = 0 \quad \text{Ec. (86)}$$

$$R_{Ay} + R_{By} = 168803,7729 \text{ N}$$

$$+\curvearrowright \sum M_A = 0 \quad \text{Ec. (87)}$$

$$(15841,1 * 551) - (127627,0 * 4439,25) + (R_{By} * 8878,5) - (25335,7 * 9759,75) = 0$$

$$R_{By} = 90680,81 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = 78122,96 \text{ N}$$

Tabla 5-4. Resumen de reacciones en los apoyos por carga viva y por carga muerta

	King Pin	Ejes
Carga muerta	52566,6 N	61016,5 N
Carga viva	78122,96 N	90680,81 N

Realizado por: Autor
Fuente: Autor

Como la estructura (bastidor) estará compuesta por dos vigas principales el valor de las reacciones en los apoyos por carga muerta y carga viva se divide para dos por el hecho que se considera que se distribuye el peso entre las dos vigas.

Tabla 5-5. Resumen de reacciones en cada viga principal

	King Pin	ejes
Carga muerta	26283,33 N	30508,23 N
Carga viva	39061,48 N	45340,41 N

Realizado por: Autor
Fuente: Autor

A partir de las reacciones obtenidas se procede a realizar el cálculo del máximo esfuerzo cortante y el máximo momento, para el cálculo se va a realizar por el método de áreas.

- **Cálculo de cortante y momento por carga muerta**

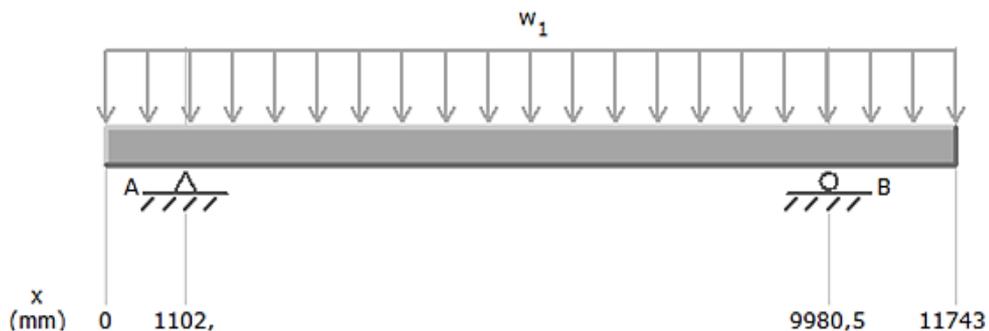


Figura 5-3. Carga distribuida en la estructura en la viga principal

Fuente: Autor

- **Construcción de grafica de cortante.**

Según la figura, que se muestra en la parte superior se observa que posee una carga distribuida la cual genera una línea inclinada hasta llegar al apoyo A con un valor de -5329,5 N donde la línea inclinada de la carga distribuida se cambia por una línea vertical debido al apoyo A, al valor de -5329,5 N se le suma el valor de R_{Ay} , el resultado es 20953,83 N. A partir del apoyo A continua la carga distribuida lo que genera una línea inclinada hasta llegar al apoyo B aquí el valor es -21984,42 N y la línea inclinada se convierte en línea vertical debido al apoyo B, el valor de -21984,42 N se suma el valor de la R_{By} , el resultado es 8523,81 N. Y finalmente después del apoyo B continua la carga distribuida la cual genera una línea inclinada de -8523,81 N y así se cierra la curva.

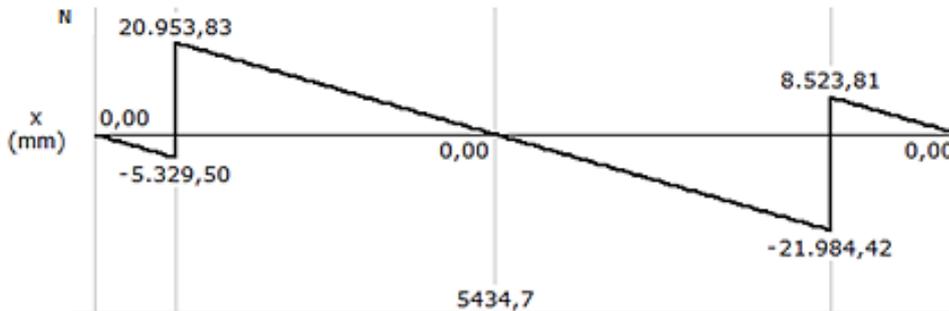


Figura 5-4. Diagrama de cortante por carga muerta en la viga principal
Fuente. Autor

- **Construcción de la gráfica de momento.**

Para la construcción de la grafica de momento se parte de la grafica de cortante, con el area que se genera en cada trinangulo dependiendo si el trinangulo queda arriba o a bajo sera positivo y negativo respectivamente.

Las areas que genera cada triangulo genera una parabola.

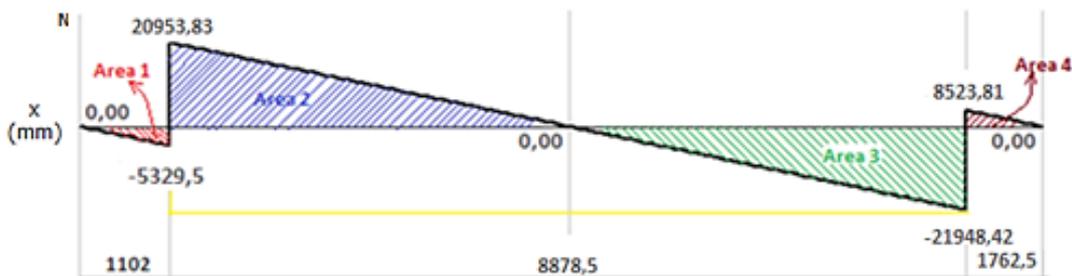


Figura 5-5. Identificación de áreas
Fuente. Autor

- **Cálculo de áreas**

$$\text{Área 1} = \frac{b \times h}{2} \quad \text{Ec. (88)}$$

$$\text{Área 1} = \frac{1102 \times -5329,5}{2}$$

$$\text{Área 1} = -2936554,5 \text{ N} - \text{mm}$$

Para el cálculo del Area 2 y Area 3 no se tiene la base para el cálculo de las mismas.

Para calcular la base de estos triangulos se realiza por relaciones de triangulos.

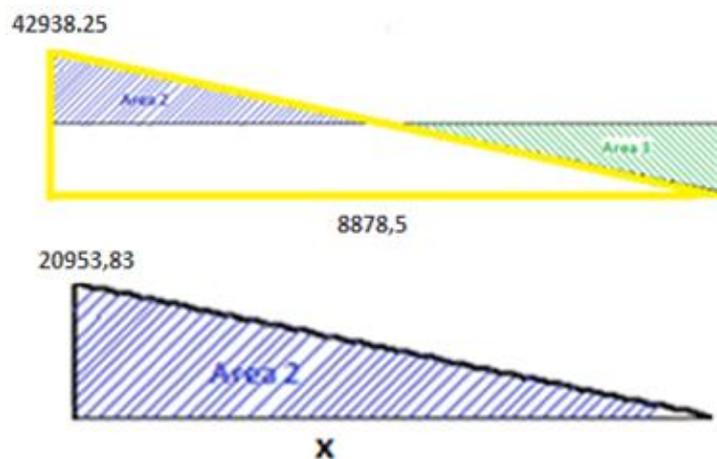


Figura 5-6. Relación de triángulos
Fuente. Autor

Cálculo de relacion de triangulos

$$\frac{8878,5}{42938,25} = \frac{x}{20953,83}$$

$$x = 4332,7 \text{ mm}$$

$$x_1 = 4545,8 \text{ mm}$$

$$\text{Área 2} = \frac{b \times h}{2}$$

$$\text{Área 2} = \frac{4332,7 \times 20953,83}{2}$$

$$\text{Área 2} = 45393329,62 \text{ N} - \text{mm}$$

$$\text{Área 3} = \frac{b \times h}{2}$$

$$\text{Área 3} = \frac{4545,8 \times -21984,42}{2}$$

$$\text{Área 3} = -49968388,22 \text{ N} - \text{mm}$$

$$\text{Área 4} = \frac{b \times h}{2} \quad \text{Ec. (89)}$$

$$\text{Área 4} = \frac{1762,50 \times 8523,81}{2}$$

$$\text{Área 4} = 7511607,563 \text{ N} - \text{mm}$$

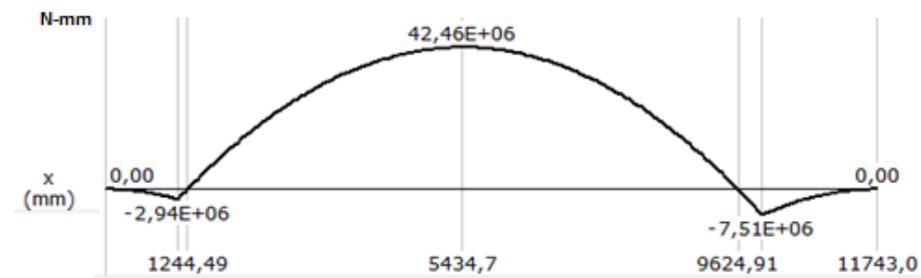


Figura 5-7. Diagrama de momento por carga muerta en la viga principal
Fuente. Autor

Acontinuacion se presenta una tabla que resumen el cortante maximo y momento maximo con su posicion

Tabla 5-6. Resumen de cortante y momentos máximos por carga muerta

	Cortante	Momento
Carga muerta	-21984,42 N	42456775,12 N-mm
Posición	9980,5 mm	5434,7 mm

Realizado por: Autor
Fuente: Autor

Cálculo de cortante y momento por carga viva

- Cortante

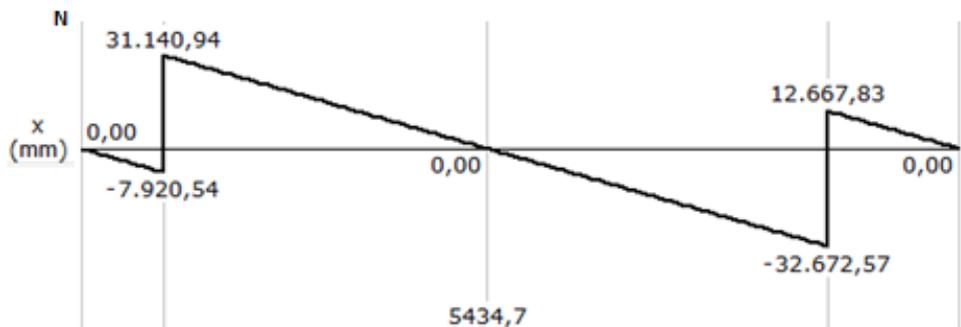


Figura 5-8. Diagrama de Cortante por carga viva en la viga principal
Fuente. Autor

- **Momento flector**

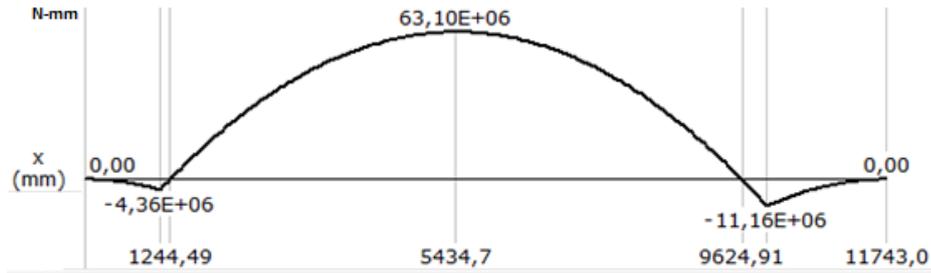


Figura 5-9. Diagrama de momento por carga viva
Fuente: Autor

Tabla 5-7. Resumen de cortante y momentos máximos por carga viva

	Cortante	Momento
Carga viva	-32672,57 N	63097957,83 N-mm
Posición	9980,5 mm	5434,7 mm

Realizado por: Autor
Fuente: Autor

En la especificación AISC 360-10 indica varias condiciones para el diseño que tiene que cumplir los perfiles. Para el diseño de la viga principal se utilizan los capítulos B, F y G.

En el capítulo B proporciona los requisitos para el diseño de la viga, en la sección B4.1 establece las dimensiones que tiene que cumplir el perfil. Los perfiles en L tienen que cumplir la relación ancho-espesor para las alas (Ver Anexo J). En las tablas del apéndice 10, indica las dimensiones máximas para el perfil en L para indicar si es compacta, no compacta o esbelta, el perfil se encuentra dentro del caso 12. (AISC, 2010)

Compacta. $\frac{b}{t} < \lambda_p$ Ec. (90)

No compacta. $\frac{b}{t} > \lambda_p < \lambda_r$ Ec. (91)

Esbelta. $\frac{b}{t} > \lambda_r$ Ec. (92)

$$\lambda_p = 0,54 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{Ec. (93)}$$

$$\lambda_r = 0,91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

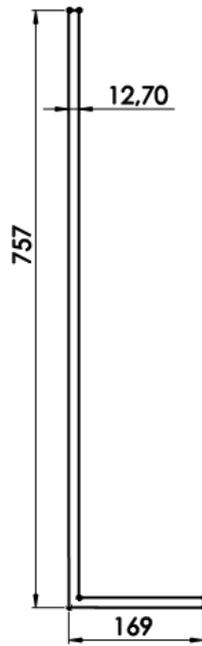


Figura 5-10. Perfiles en L utilizados en el diseño de la viga principal
Fuente. Autor

$$\frac{b}{t} = 59,606$$

$$\lambda_p = 17,076$$

$$\lambda_r = 28,77$$

$$59,606 > 28,77 \text{ Para el perfil 1} \quad \text{Ec. (94)}$$

Esbelta

En el capítulo F (AISC) es para el diseño de vigas a flexión, en la tabla F1.1 ubicamos el perfil en L el mismo que se encuentra en la sección F10, en esta sesión el análisis se enfoca en los estados de límite. (Ver Anexo K)

γ Fluencia

LTB Pandeo lateral torsional

LLB Pandeo local de ala

$\phi_B = 0.90$ para todos los estados de límite

- **Fluencia**

Para la aplicación de este estado de límite no existen restricciones

$$M_n = 1,5 * M_y \quad \text{Ec. (95)}$$

$$M_y = F_y * S_x$$

$$S_x = \frac{I_x}{C_y}$$

Dónde:

M_n = Momento teórico

F_y = Tensión mínima de fluencia del material

I_x = Momento de inercia

S_x = Módulo elástico de sección.

M_y = Momento de fluencia sobre el eje de flexión

C_y = Centro de gravedad respecto al eje y.

En el Anexo L proporciona las propiedades mecánicas del perfil.

Perfil 1

$$S_x = 2227181,877 \text{ mm}^3$$

$$M_y = 445436375,4 \text{ N} - \text{mm}$$

$$M_n = 668154563,1 \text{ N} - \text{mm}$$

- *Pandeo lateral torsional*

No se aplica este estado de límite por que la condición exige que no tiene que existir restricción continua al pandeo lateral torsional a lo largo de su longitud. La viga se encuentra arriostrada. (AISC, 2010)

- *Pandeo local de ala.*

No se aplica este estado de límite por que la condición exige que en el borde extremo del ala se encuentre en compresión. La viga se encuentra generando corte en su extremó.

En el capítulo G es para el diseño de vigas en corte, en la sección G4 se encuentra el perfil en L.

$\phi_B=0.90$ para todos los estado de limite

$$V_n = 0,6 * F_y * A_w * C_v \quad \text{Ec. (96)}$$

$$A_w = b * t \quad \text{Ec. (97)}$$

$$C_v = 1 \quad \text{Ec. (98)}$$

Dónde:

V_n = Corte teórico

A_w = Área del ala

C_v = Coeficiente de corte de ala

(AISC, 2010)

Perfil 1.

$$V_n = 0,6 * 200 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 757\text{mm} * 12,7\text{mm} * 1 \quad \text{Ec. (99)}$$

$$V_n = 1153668 \text{ N}$$

- ***Combinación de cargas muertas y vivas para corte.***

$$V_u = 1,2D + 1,6L \quad \text{Ec. (100)}$$

$$V_u = (1,2 * 21984,42 \text{ N}) + (1,6 * 32672,57 \text{ N})$$

$$V_u = 78657,416 \text{ N}$$

- ***Combinación de cargas muertas y vivas para momento.***

$$M_u = 1,2D + 1,6L \quad \text{Ec. (101)}$$

$$M_u = (1,2 * 42456775,12 \text{ N} - \text{mm}) + (1,6 * 63097957,83 \text{ N} - \text{mm})$$

$$M_u = 151904862,7 \text{ N} - \text{mm}$$

- ***Verificación de si va a fallar las vigas por corte y momento.***

$$\sqrt{\left(\frac{M_u}{\phi_b * M_n}\right)^2 + \left(\frac{V_u}{\phi_b * V_n}\right)^2} \leq 1 \quad \text{Ec. (102)}$$

Perfil 1

$$\sqrt{\left(\frac{151904862,7}{0,9 * 668154563,1}\right)^2 + \left(\frac{78657,416}{0,9 * 1153668}\right)^2} \leq 1$$

$$0,2637 \leq 1$$

Si cumple

5.3.2. Diseño de vigas de amarre.

Las vigas de amarre se encuentran empotradas de lado y lado a las vigas principales, la carga muerta y carga viva se aplica en las vigas de amarre como carga distribuida. El diseño de la viga de amarre se toma en cuenta que la carga viva y la carga muerta se divide para el número de vigas de amarre y se repite los mismo pasos para el diseño de la viga principal.

- *Determinación de la carga viva y muerta para cada viga de amarre.*

Numero de vigas 8

Tabla 5-8. Carga de la estructura y carga en una viga

	Carga en toda la estructura	Carga en cada viga de amarre	Carga distribuida en la viga de amarre
Carga muerta	45286,22855 N	5660,778569 N	5,350452334 N-mm
Carga viva	67303,01156 N	8412,876445 N	7,95167906 N-mm

Realizado por: Autor
Fuente: Autor

- *Determinación de reacciones en la carga muerta y carga viva*

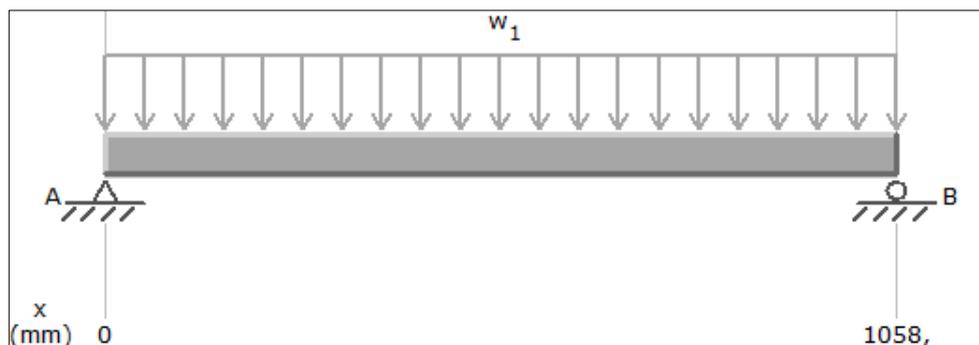


Figura 5-11. Diagrama de cuerpo libre en la viga de amarre

Fuente: Autor

Tabla 5-9. Reacciones en la viga de amarre por carga muerta y carga viva

	RA_y	RB_y
Carga muerta	2830,39 N	2830,39 N
Carga viva	4206,44 N	4206,44 N

Realizado por: Autor

Fuente: Autor

- **Construcción de cortante y momento para la carga muerta**

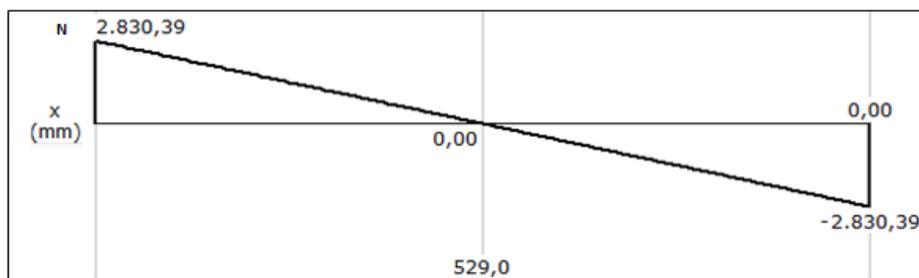


Figura 5-12. Diagrama de cortante por carga muerta en la viga de amarre

Fuente: Autor

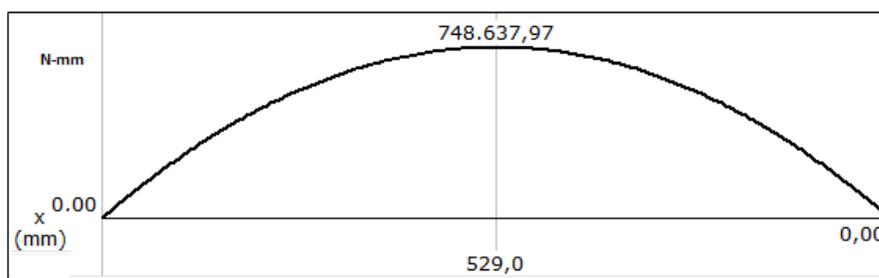


Figura 5-13. Diagrama de momento por carga muerta en la viga de amarre

Fuente: Autor

Tabla 5-10. Resumen de cortante y momentos máximos por carga muerta

	Cortante	Momento
Carga muerta	2830,39 N	748638,155 N-mm
Posición	0 – 1058 mm	529 mm

Realizado por: Autor

Fuente: Autor

- **Construcción de cortante y momento para la carga viva**

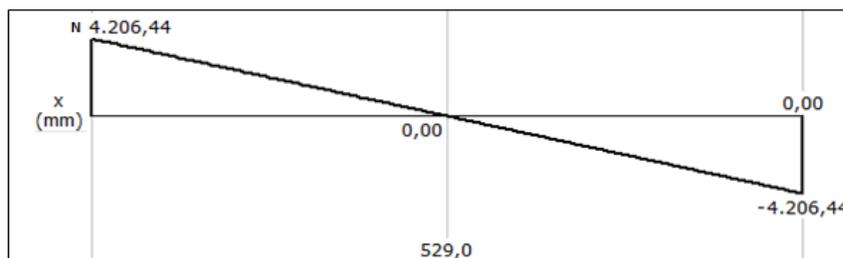


Figura 5-14. Diagrama de cortante por carga viva en la viga de amarre

Fuente: Autor

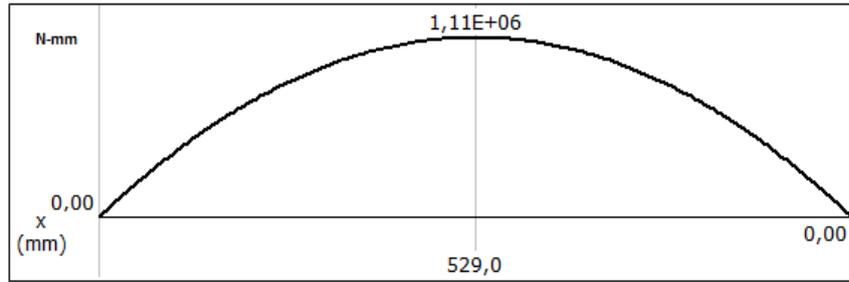


Figura 5-15. Diagrama de momento por carga viva en la viga de amarre
Fuente: Autor

Tabla 5-11. Resumen de cortante y momentos máximos por carga viva

	Cortante	Momento
Carga viva	4206,44 N	1112603,38 N-mm
Posición	0 - 1058 mm	529 mm

Realizado por: Autor
Fuente: Autor

- **Relación ancho-espesor para las alas.**

$$\text{Compacta. } \frac{b}{t} < \lambda_p \quad \text{Ec. (103)}$$

$$\text{No compacta. } \frac{b}{t} > \lambda_p < \lambda_r \quad \text{Ec. (104)}$$

$$\text{Esbelta. } \frac{b}{t} > \lambda_r \quad \text{Ec. (105)}$$

$$\lambda_p = 0,54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_r = 0,91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

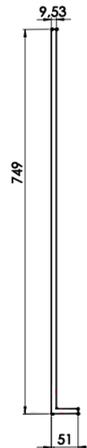


Figura 5-16. Perfil en L utilizado en la viga de amarre
Fuente: Autor

$$\frac{b}{t} = 78,59$$

$$\lambda_p = 17,076$$

$$\lambda_r = 28,77$$

78,59 > 28,77 Para el perfil 2

Esbelta

- *Diseño de la viga a flexión*

γ Fluencia

LTB Pandeo lateral torsional

LLB Pandeo local de ala

$\phi_B=0.90$ para todos los estado de limite

- *Fluencia*

Para la aplicación de este estado de límite no existes restricciones

$$M_n = 1,5 * M_y \quad \text{Ec. (106)}$$

En el Anexo M se proporcionan las propiedades mecánicas del perfil.

Perfil 2

$$S_x = 1098642,434 \text{ mm}^3$$

$$M_y = 219728486,9 \text{ N} - \text{mm}$$

$$M_n = 329592730,3 \text{ N} - \text{mm}$$

En el capítulo G es para el diseño de vigas en corte, en la sección G4 se encuentra el perfil.

$\phi_B=0.90$ para todos los estado de limite

$$V_n = 0,6 * F_y * A_w * C_v \quad \text{Ec. (107)}$$

$$A_w = b * t \quad \text{Ec. (108)}$$

$$C_v = 1 \quad \text{Ec. (109)}$$

Perfil 2.

$$V_n = 0,6 * 200 \frac{N}{mm^2} * 749mm * 9,53mm * 1$$

$$V_n = 856556,4 N$$

- *Combinación de cargas muertas y vivas para corte.*

$$V_u = 1,2D + 1,6L \quad \text{Ec. (110)}$$

$$V_u = (1,2 * 2830,39 N) + (1,6 * 4206,44 N)$$

$$V_u = 10126,772 N$$

- *Combinación de cargas muertas y vivas para momento.*

$$M_u = 1,2D + 1,6L \quad \text{Ec. (111)}$$

$$M_u = (1,2 * 748638,155 N - mm) + (1,6 * 10126,772 N - mm)$$

$$M_u = 2678531,194 N - mm$$

- *Verificación de si va a fallar las vigas por corte y momento.*

$$\sqrt{\left(\frac{M_u}{\phi_b * M_n}\right)^2 + \left(\frac{V_u}{\phi_b * V_n}\right)^2} \leq 1 \quad \text{Ec. (112)}$$

Perfil 2

$$\sqrt{\left(\frac{2678531,194}{0,9 * 329592730,3}\right)^2 + \left(\frac{10126,772}{0,9 * 856556,4}\right)^2} \leq 1$$

$$0,0159 \leq 1$$

Si cumple

5.4. Resumen de dimensiones de las vigas del bastidor

Tabla 5-12. Dimensiones de las vigas del bastidor

Elemento	material	Dimensiones			
		Base	Altura	Espesor	longitud
Perfil 1	SA-516-70	169 mm	757 mm	12,7 mm	4682 mm
Perfil 2	SA-516-70	51 mm	749 mm	12,7 mm	1058 mm

Realizado por: Autor
Fuente: Autor

CAPITULO VI

6. SELECCIÓN DE ACCESORIOS.

En este capítulo se procede a seleccionar los diferentes accesorios como son King pin, patas telescópicas, llantas y sistema de suspensión posterior adecuadas para la capacidad de carga del autotanco.

6.1. Selección de King Pin y quinta rueda.

6.1.1. King pin.

Es un elemento que establece la unión entre el vehículo tractor y el semirremolque. Estos elementos son diseñados para montarse sobre el semirremolque.

Para seleccionar el King pin es necesario determinar el valor **D** que es un criterio de la carga admisible del King pin. Se calcula según la siguiente fórmula.

$$D = g * \frac{0,6 * T * R}{T + R - U} \quad \text{Ec. (113)}$$

Dónde:

D = valor de tracción [KN]

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

R = peso total admisible del semiremolque [T]

T = peso total admisible del vehículo tracto incluido U [T]

U = carga vertical sobre la quinta rueda admisible [T]

El peso total admisible del semirremolque es la suma de la carga muerta y carga viva.

Tabla 6-1. Determinación de peso admisible del semirremolque.

Carga muerta	113583,123 N
Carga viva	168803,7729 N
Total	282386,8959 N [31,74 T]

Realizado por: Autor

Fuente: Autor

Peso total admisible del vehículo tracto incluido U es la suma del peso del tracto camión (Ver en el Anexo N el pesos del tracto camión) y las suma de las reacciones por carga muerta y carga viva en el King pin (R_{Ay})

Tabla 6-2. Determinación de peso admisible del vehículo tracto incluido U

Reacción por carga muerte en R_{Ay}	52566,6 N
Reacción por carga viva en R_{Ay}	78122,96 N
Total de reacciones	130689,56 N [14,69 T]
Peso de tracto camión	9,4 T
Total	24,09 T

Realizado por: Autor
Fuente: Autor

Carga vertical sobre la quinta rueda admisible es la suma de las reacciones en el King pin con la carga muerta y la carga viva. En la tabla de arriba se encuentra determinado el valor que es de 16,14 T

$$D = 9,81 * \frac{0,6 * 24,09 T * 31,74 T}{24,09 T + 31,74T - 14,69 N}$$

$$D = 109,4 \text{ KN}$$

A partir del valor de tracción D nos dirigimos a la tabla de cargas admisibles para King pin (ver en el Anexo O las cargas admisibles para King pin), donde el King pin seleccionado es de tipo KZ 1412 con un valor de D 162. Se seleccionó este King pin por que satisface el valor de tracción.

Tabla 6-3. Características del King pin.

Marca	Jost
Material	AISI 8630H
Tipo	KZ 14
Color	amarillo
Marca de homologación	E1 55R - 01 0147
Valor D	162 KN

Realizado por: Autor
Fuente: Autor

Ver en el Anexo P las características King pin seleccionado.

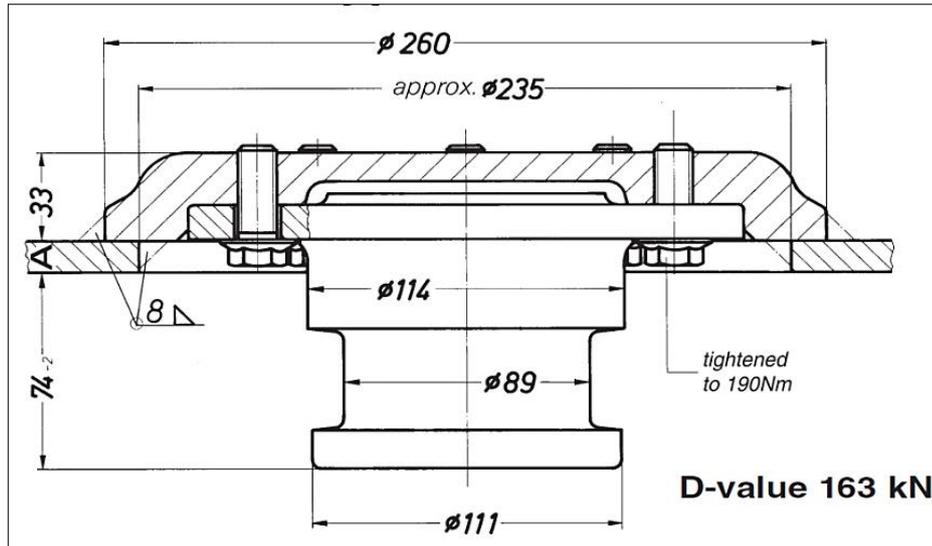


Figura 6-1. King pin
Fuente. Anexo P

6.1.2. Quita rueda.

Es un elemento de unión mecánica y establecen la unión entre el vehículo tractor y el semirremolque. Son diseñados para montarse sobre el vehículo tractor.

Para la selección de la quinta rueda es necesario el valor de tracción D que se calculó en el King pin

$$D = 109,4 \text{ KN}$$

A partir del valor de tracción D nos dirigimos a la tabla de cargas admisibles para quinta rueda (ver en el Anexo Q las cargas admisibles quinta rueda), donde la quinta rueda seleccionada es de tipo JSK 38 C1-2 con un valor de D 170. Se seleccionó esta quinta rueda por que satisface el valor de tracción.

Tabla 6-4. Características de la quinta rueda.

Marca	Jost
Material	AISI 8630H
Tipo	JSK 38C
Marca de homologación	55R-01 0472
Valor D	170 KN

Realizado por: Autor
Fuente: Autor

Ver en el Anexo R las características de la quinta rueda

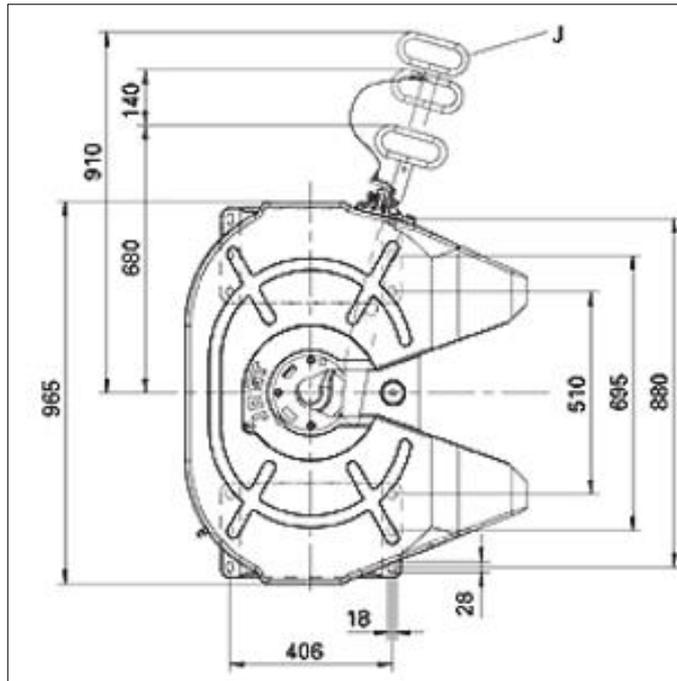


Figura 6-2. Quinta rueda
Fuente. Anexo R

6.2. Selección de Patas telescópicas.

Las patas telescópicas, también conocidas como patas de apoyo son elementos de vital importancia, ya que su función es soportar el peso del semirremolque cuando este se encuentre estacionado y desconectado el King pin de la quinta rueda, a más de eso permite nivelar la altura del semirremolque para volver a conectar el King pin con la quinta rueda.



Figura 6-3. Patas telescópicas
Fuente. Anexo S

Las patas telescópicas existen en distintas configuraciones que varían según la capacidad de carga y elevación máxima y mínima, para este particular caso se seleccionó lo siguiente:

Tabla 6-5. Especificaciones Técnicas

Marca	Ampro
Modelo	FW280002T
Capacidad	28 000kg
Peso del conjunto	98 kg
Carrera	480 mm
Longitud mínima	844mm
Longitud máxima	1324mm

Realizado por: Autor
Fuente: Autor

Ver Anexo S

6.3. Selección de llantas.

Los neumáticos seleccionados deben cumplir principalmente con la capacidad de carga necesaria para soportar el peso del semirremolque con el recipiente cargado a su máxima capacidad.



Figura 6-4. Neumático Para camión M729
Fuente: Anexo T

Basado en el cálculo de la reacción en las ruedas del semirremolque, el cual nos dio un valor de 151697,31 N (15468,82 Kg, 17,05 T), tomando en cuenta que el semirremolque posee un total de 8 llantas (n), se calcula el peso que va a soportar cada neumático.

$$\text{Carga}_{\text{por neumático}} = \frac{R_B}{n} \quad \text{Ec. (114)}$$

$$\text{Carga}_{\text{por neumático}} = \frac{15468,82 \text{ Kg}}{8}$$

$$\text{Carga}_{\text{por neumático}} = 1933,60 \text{ kg}$$

Tomando en cuenta el cálculo de capacidad de carga por rueda se seleccionó el neumático de las siguientes características:

Tabla 6-6. Especificaciones técnicas del neumático.

Marca	Bridgestone	
Aplicación	Neumático Para camión	
Modelo	R294	
Nomenclatura	255/70 R 22.5	
Índice de carga	Código: 137	Capacidad/: 2300kg (por llanta)
Índice de velocidad	Código: M	Velocidad máxima: 130 km/h

Realizado por: Autor

Fuente: Autor

$$\text{Cap. Carga Neum.} > \text{Carga}_{\text{por neumático}} \quad \text{Ec. (115)}$$

$$2300 \text{ kg} > 1933,60 \text{ kg} \Rightarrow \text{Si cumple}$$

Ver Anexo T

6.4. Selección de sistema de suspensión.

Para la selección de la suspensión adecuada, se basa en el cálculo de la reacción en las ruedas, el cual nos arrojó un valor de 151697,31 N (15468,82 Kg, 17,05 T Tomando en cuenta que el número de ejes del semirremolque es 2 (n) se realiza el siguiente cálculo:

$$\text{Peso}_{\text{eje}} = \frac{R_B}{n} \quad \text{Ec. (116)}$$

$$\text{Peso}_{\text{eje}} = \frac{15468,82 \text{ Kg}}{2}$$

$$\text{Peso}_{\text{eje}} = 7734,41 \text{ kg}$$

Para ello se seleccionó lo siguiente

6.4.1. Suspensión.

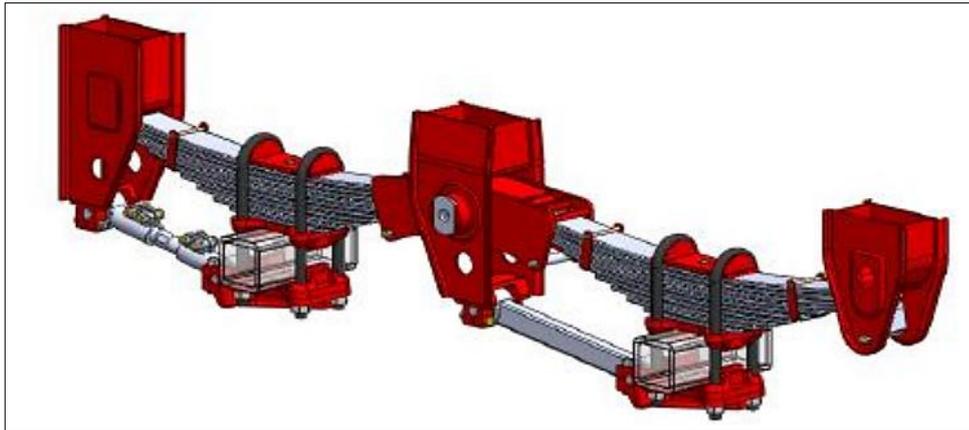


Figura 6-5. Suspensión. Mecánica Mod. Europa 10,5-11Tn
Fuente: Anexo U

Tabla 6-7. Especificaciones Técnicas

Marca	Schulz Ibérica
Modelo	213EMH430/130
Máxima capacidad por eje	13 000 Kg
Distancia entre ejes	1300 mm
Tipo de Ballesta	MULTIH. 10H 90x13

Realizado por: Autor
Fuente: Autor

$$\text{Capacidad}_{\text{eje}} > \text{Peso}_{\text{eje}} \quad \text{Ec. (117)}$$

$$13000 \text{ kg} > 7734,41 \text{ kg} \Rightarrow \text{Si cumple}$$

Ver Anexo U

6.4.2. Eje.

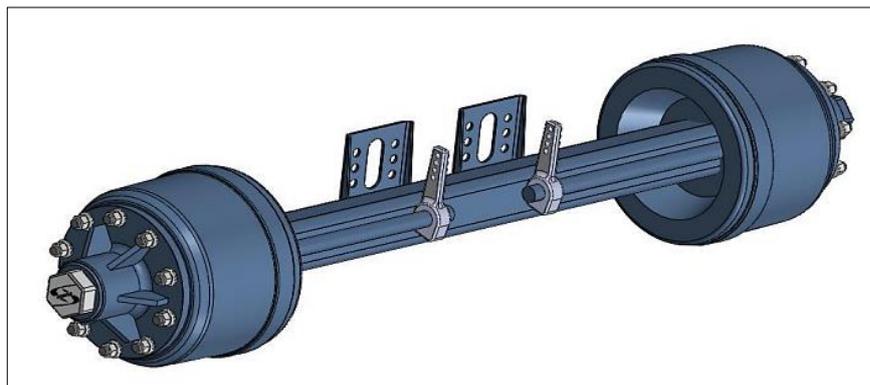


Figura 6-6. EJES SCHULZ: 420x220 / 420x180 R-22.5 Sencilla
Fuente: Anexo V

Tabla 6-8. Especificaciones Técnicas

Marca	Schulz Ibérica
Modelo	F2423S BII / GP
Máxima capacidad por eje	13000 Kg

Realizado por: Autor

Fuente: Autor

$$\text{Capacidad}_{\text{eje}} > \text{Peso}_{\text{eje}} \quad \text{Ec. (118)}$$

$$13000 \text{ Kg} > 7734,41 \text{ kg} \Rightarrow \text{Si cumple}$$

Ver Anexo V

En la siguiente tabla se presenta de una forma resumida los elementos seleccionados con su respectiva marca y modelo.

Tabla 6-9. Resumen de selección de elementos.

RESUMEN DE SELECCIÓN DE ELEMENTOS		
ELEMENTO	MARCA	MODELO
King pin	Jost	KZ 14 E1 55R - 01 0147
Quinta rueda	Jost	JSK 38C 55R-01 0472
Patas telescópicas	Ampro	FW280002T
Llantas	Bridgestone	R294 255/70 R 22.5
Sistema de suspensión posterior	Schulz Ibérica	213EMH430/130
Ejes posteriores	Schulz Ibérica	F2423S BII / GP

Realizado por: Autor

Fuente: Autor

6.5. Lista de materiales.

En la siguiente tabla se presenta los materiales necesarios para la fabricación del autotank de cabeza semiesférica, de 8000 GLS para transporte de GLP según el diseño es necesario tomar en cuenta que los elementos consumibles a seleccionar como electrodos, película radiográfica, pintura y demás varían según el fabricante.

Tabla 6-10. Lista de materiales

ITEM	Cant.	DIMENSIONES	Esp. Material	Observaciones	Peso
PLANCHAS					
1	2	PL.12,7 (1/2") x 2440mm x 12200 mm	SA-516-70	CUERPO, CHASIS	5935,4
2	1	PL. 9,53 (5/8") x 2440mm x 9000 mm	SA-516-70	CHASIS, KING PIN	1642,8
3	1	PL. 7.9 (5/16") x 2440mm x 7000 mm	SA-516-70	CABEZAS	1063,2
4	1	PL. 12,7 (1/2") x 2440mm x 7000 mm	SA-36	CHASIS	1702,8
5	1	PL. 19,05 (3/4") x 1500 mm x 1500 mm	SA-516-70	KING PIN	336,47
6	2	PL. 3,2 (1/8") x 1220mm x 2440 mm	SA-36	CAJAS	149,55
7	1	PL. 4,76 (3/16") x 2440mm x 1000 mm	SA-36	GUARDACHOQUE, BAFLES	91,17
8	1	PL. 6,35 (1/4") x 1830mm x 6000 mm	SA-36	BAFLES	547,33
9	3	PL. ANTIDESLIZANTE 3.2 x 1200 x 1000	SA-36		96,76
10	1	PL. 25.4 (1") x 300 x 300	SA-516-70		17,95
VÁLVULAS E INSTRUMENTOS					
11	2	VÁLVULA DE GLOBO ø3" FNPT.	REGO A 7517 AP	N1,N2	
12	1	VÁLVULA DE GLOBO ø2" FNPT.	PLUG ø2" FNPT.	N3	
13	2	VÁLVULA DE ALIVIO ø3" M.NPT.	REGO A 8436G	N5 A/B	
14	1	MANÓMETRO-CARATULA Ø2 1/2" CONEX. 1/4" MNPT.	REGO A8400	N7	
15	1	TERMÓMETRO	WIKA, DIAL 3", CONEXIÓN POSTERIOR DE 1/2"MNPT, RANGO (0-100°C), BULBO 6" TODO INOX, CON TERMOPOZO CONEX. AL INSTRUM. DE 1/2" FNPT, AL PROCESO 3/4" MNPT	N9	
16	2	ADAPTADOR ACME Ø 3" MNPT x 3.1/4" ACME.M	REGO	N1,N2	
17	1	ADAPTADOR ACME Ø 2" MNPT x 3.1/4" ACME.M	REGO	N3	
18	3	TAPA 3 1/4" ACME.F	REGO	N1,N2,N3	
EJES Y SUSPENSIÓN					
19	1	SUSPENSIÓN ARTILLERA 2 EJES SCHULZ IBÉRICA 2 EJES SCHULZ IBÉRICA CAP 13000 KG	AMPRO		

Realizado por: Autor

Fuente: Autor

Tabla 6-11. (Continuación) Lista de materiales

20	1	PAR DE PATAS EXTENSIBLES (TELESCÓPICAS) 60000 SERIES (80 TON DE CAPACIDAD ESTÁTICA).	AMPRO		
21	12	AROS 8.25 x 22.5 REFORZADO			
22	1	KING PIN ø31/2" EMPERNABLE JOST KZ-1412-01	JOST		
23	12	LLANTAS RADIALES (TUBULARES) 255/87 R22.5.	BRIDGESTONE		
24	12	VÁLVULAS L RADIAL 22.5			
25	2	GUARDAFANGOS POSTERIORES PARA 2 EJES CON SOPORTES SOLDABLES. PLÁSTICO REFORZADO			
BOCAS					
26	1	COUPLING Ø 3" 6000 # NPT	SA-105	N1	6,4
27	3	HALF COUPLING Ø 3" 6000 # NPT	SA-105	N2, N5 A/B	9
28	1	COUPLING Ø 2" 6000 # NPT	SA-105	N3	2,8
29	1	HALF COUPLING Ø 2" 6000 # NPT	SA-105	N4	1,4
30	1	CAP 18" XS THK 12.7	SA-234-WPB	CAP3	32
31	5	COUPLING Ø 1/4" 6000 # NPT	SA-105	CAP1, CAP3	0,55
32	1	COUPLING Ø 1" 6000 # NPT	SA-105	CAP3	0,9
33	1	CAP 12" XS THK 12.7	SA-234-WPB	CAP1	22
34	1	CAP 12" XS THK 12.7	SA-234-WPB	CAP2	22
35	1	HALF COUPLING Ø 1" 6000 # NPT	SA-105	CAP1	0,45
36	1	HEX PLUG Ø MNPT 6000# MNPT	SA-105	N4	1
MANHOLE Ø18"					
37	1	PL. 51 (2") x 700mm x 700 mm (RETAZO)	SA-516-70N	MANHOLE	29
38	1	PL.76.2(3") x 700 x 700 (RETAZO)	SA-516-70N	MANHOLE	293,1
39	20	PERNO Ø1-1/8" x 6.1/4" W/2 ARANDELA	SA-193-B7 / SA-194-2H CADMIUM PLATED	MANHOLE	25,2
40	1	EMPAQUE 1/8" x 1500 x 1500	NONASBESTOS	MANHOLE	2
TUBO					
41	1	TUBO Ø3NPS SCH.80 SMLS x 4000 ASME B.36.10	SA-106-B	N1,N2	60

Realizado por: Autor

Fuente: Autor

Tabla 6-12. (Continuación) Lista de materiales

42	1	TUBO Ø2NPS SCH.80 SMLS x 4000 ASME B.36.10	SA-106-B	N3	28
43	1	TUBO Ø1/4" x 9000	COBRE		3,76
44	2	UNION UNIVERSAL Ø 1/2" NPT B62 CTE	BRONCE		0,2
45	1	CODO Ø 1/2" M.NPT B65	BRONCE		
46	9	CONECTOR DERECHO Ø 1/4" NPT x 1/2" TUB. B68 CTE	BRONCE		0,9
47	2	TE Ø 1/2" NPT B64	BRONCE		0,12
ACCESORIOS					
48	1	MANGUERA REFORZADA PARA GLP Ø 1/2" x 4000	PLÁSTICO		0,06
49	2	TRIÁNGULOS DE SEGURIDAD REFLECTIVOS			0,4
50	3	CERRADURAS CAJA DE VÁLVULAS Y HERRAMIENTAS	INOXIDABLE		0,6
51	3	PICAPORTES Ø3/8" x 8"	GALVANIZADO		0,9
52	10	BISAGRAS Ø5/8"			
53	2	BISAGRAS Ø3/8"			
SISTEMA ELÉCTRICO					
54	1	CINTA REFLECTIVA 3" x 20 m , ROJO & BLANCO REFLECTIVO	ADHESIVA		
55	22	MTS. CONDUCTO METÁLICO FLEXIBLE 1/2"	APPLETON		
56	50	MTS. . CONDUCTO METÁLICO FLEXIBLE 3/8"	APPLETON		
57	50	CONECTORES METÁLICOS FLEXIBLES 1/2" CAT. # CGB192-SG	CROUSE - HINDS		
58	10	CAJA CUBIERTA GUAX-1 1/2" TYP C	ILURAM		
59	2	CAJA CUBIERTA CPA-X-1 1/2"	ILURAM		
60	15	CAJA CUBIERTA PERFORADA ICR-1 1/2"	ILURAM		
61	4	FUSIBLES DE 12 AMP. 12 V TIPO CARTUCHO DE VIDRIO			
62	20	UNIONES 1/2" F.NPT UNF CAT # UNF105	CROUSE - HINDS		
63	1	TOMA CORRIENTE HEMBRA DE 7 POLOS (EXPLOSIÓN PROOF)			
64	45	MTS. ALAMBRES #16 AWG FLEXIBLE			
65	22	MTS. CABLE 7 x 16 AWG FLEXIBLE			
66	8	CUCUYAS ROJAS TYPE LED (EXPLOSIÓN PROOF)			
67	6	CUCUYAS AMARILLAS TYPE LED (EXPLOSIÓN PROOF)			

Realizado por: Autor

Fuente: Autor

Tabla 6-13. (Continuación) Lista de materiales

68	2	CONJUNTO DE LUCES POSTERIORES COMPLETO CON ARMAZON TYPE LED (EXPLOSIÓN PROOF)			
69	1	DISTRIBUIDOR DE CORRIENTE			
70	20	UNIONES PARA ALAMBRE #14-16 AWG			
71	30	TERMINALES TIPO OREJA #14-16 AWG AISLADO			
72	20	CORREAS PLÁSTICAS DE 3 mm. x 150 mm.			
73	1	CADENA GALVANIZADA ESLABON ϕ 1/4" x 1000			
PINTURA					
74	2	ROLLOS DE TYPE			
75	11	GLS. ZINC SILICATE			
76	15	GLS. EPOXY			
77	9	GLS. ALYPHATIC ACRYLIC POLYURETHANE			
79	3	GLS THINNER			
PERNOS					
80	30	PERNO ϕ 5/8" x 2" W/NUT & SPLIT WASHER (HOLE)	SA-307-B GALV.		8,2
81	20	PERNO ϕ 1/2" x 1-1/2" W/NUT, WASHER & SPLIT WASHER	SA-307-B GALV.		3,25
82	20	PERNO ϕ 3/8" x 2-1/2" W/NUT, WASHER & SPLIT WASHER	GALVANIZED		1,32
83	5	PERNO ϕ 1/4" x 1-1/2" W/NUT, WASHER & SPLIT WASHER	SA-307-B GALV.		0,1
84	9	PERNO ϕ 1/4" x 1" W/NUT, WASHER & SPLIT WASHER	SA-307-B GALV.		1,8
85	10	PERNO ϕ 5/8" x 2 1/2" W/NUT, WASHER & SPLIT WASHER	SA-307-B		2,5
86	5	PERNO ϕ 3/4" x 2 1/2" W/NUT, WASHER	SA-307-B		1,5
87	2	PERNO U ϕ 1/2" x 370 W/2N FOR ϕ 3"	GALVANIZED		0,74
88	2	PERNO U ϕ 3/8" x 250 W/2N FOR ϕ 2"	GALVANIZED		0,28
89	24	PERNO U ϕ 3/8" x 125 W/2N FOR ϕ 1"	GALVANIZED		1,68
90	32	TORNILLOS AUTOROSCANTES ϕ 1/8" x 3/4"	GALVANIZED		0,64
91	32	TORNILLOS AUTOROSCANTES ϕ 5/32" x 1"	GALVANIZED		0,96
92	24	ABRAZADERAS DE 1/2"	SA-36		

Realizado por: Autor
Fuente: Autor

Tabla 6-14. (Continuación) Lista de materiales

93	40	ABRAZADERA DE 1/4"	SA-36		97
FORMAS ESTRUCTURALES					
94	1	L 75 x 75 x 6 x 3000	SA-36		20,35
95	1	L 50 x 50 x 6 x 6000	SA-36		26,56
96	2,5	L 50 x 50 x 3 x 6000	SA-36		10,88
97	1	UPN 160 x 3000	SA-36		56,4
98	7	TUBO Ø1" ISO-L2 x 6000	SA-36		83,16
CONSUMIBLES					
99	150	FILM 1 FT WIDTH=100mm	STRUCTURIS-D7		
100	100	FILM 1 FT WIDTH=75mm	STRUCTURIS-D7		
101	150	KG ROD AWS ER70S-6 Ø1,2mm	SFA-5.18		1,15
102	170	KG ELECTRODO E-7018 Ø1/8"	SFA-5.1		1,15
103	170	KG ELECTRODO E-7018 Ø5/32"	SFA-5.1		1,15
104	150	KG ELECTRODO E-7018 Ø3/16"	SFA-5.1		1,15
105	150	KG ELECTRODO E-71T-1 Ø1.2mm	SFA-5.20		1,15
106	180	ALAMBRE KG AWS EM12K Ø3,2mm	SFA-5,17		1,15
107	200	ALAMBRE KG AWS EM12K Ø4,8mm	SFA-5,17		1,15
108	150	KG FLUX F7A0-EM12K (FUNDENTE INDURA H 400)	SFA-5,17		1,15
109	100	DISCO DE CORTE Ø7" x 1/4" x 7/8"			
110	150	DISCO DE CORTE Ø7" x 1/8" x 7/8"			
111	150	DISCO DE CORTE Ø4" x 1/8" x 7/8"			
112	150	DISCO DE CORTE Ø4 1/2" x 1/8" x 7/8"			
113	85	CABLE WHELL Ø6" x 1/2" X 5/8"			
114	1	PLACA DE IDENTIFICACIÓN ESPOCH	316 SS	FOTOGRAFADA	
115	1	PLACA DE IDENTIFICACIÓN ASME	316 SS	FOTOGRAFADA	
116	10	PERNO DE DRENAJE No 10 x1/4	304 SS		

Realizado por: Autor

Fuente: Autor

CAPITULO VII

7. VALIDACIÓN DE ELEMENTOS EN SOFTWARE CAE.

En el presente capítulo se realiza la validación de los principales elementos que constituyen el autotanque, para dicha validación se hace uso de herramientas computacionales como son los softwares Solidworks y Ansys Workbench. El fin de esta validación es asegurar mediante el uso de un factor de seguridad normado según el código ASME sección VIII div. 1

7.1. Detalle de las cargas a ser aplicadas.

Para realizar la validación del diseño, el modelado 3D de cada uno de los elementos a analizar se realizó en el software Solidworks, para luego ser exportado al software Ansys Workbench para ahí realizar el análisis y validación de cada elemento modelado.

Además se debe tener en cuenta las cargas a las cuales están sometidos los distintos elementos del autotanque.

Para ello se hace uso de las cargas antes calculadas, para someter el autotanque a la acción de estas.

- Carga hidrostática en el fondo del tanque: P_h
- Carga por riesgo de accidentes: $F_{ra} = 8433,3043 \text{ N}$
- Cargas generadas por el peso del producto al momento que hay un salto:
 $F_{pp} = 33733,2170 \text{ N}$
- Carga por aceleración y frenado: $F_{af} = 2034,3195 \text{ N}$
- Peso del tanque: $67045,95 \text{ N}$
- Peso del producto: $135070,5559 \text{ N}$

7.2. Análisis Cabezas semiesferas (Tapas) en ANSYS WORKBENCH.

Se toma en cuenta que las dos cabezas semiesféricas no son iguales, por lo que se realiza un análisis por separado para cada una de ellas. Además se debe tener en cuenta las cargas que actúan sobre estas, las cuales son las siguientes:

- Carga hidrostática en el fondo del tanque: P_h
- Carga por riesgo de accidentes: $F_{ra} = 8433,3043 \text{ N}$
- Carga por aceleración y frenado: $F_{af} = 2034,3195 \text{ N}$

7.2.1. Cabeza semiesférica delantera.

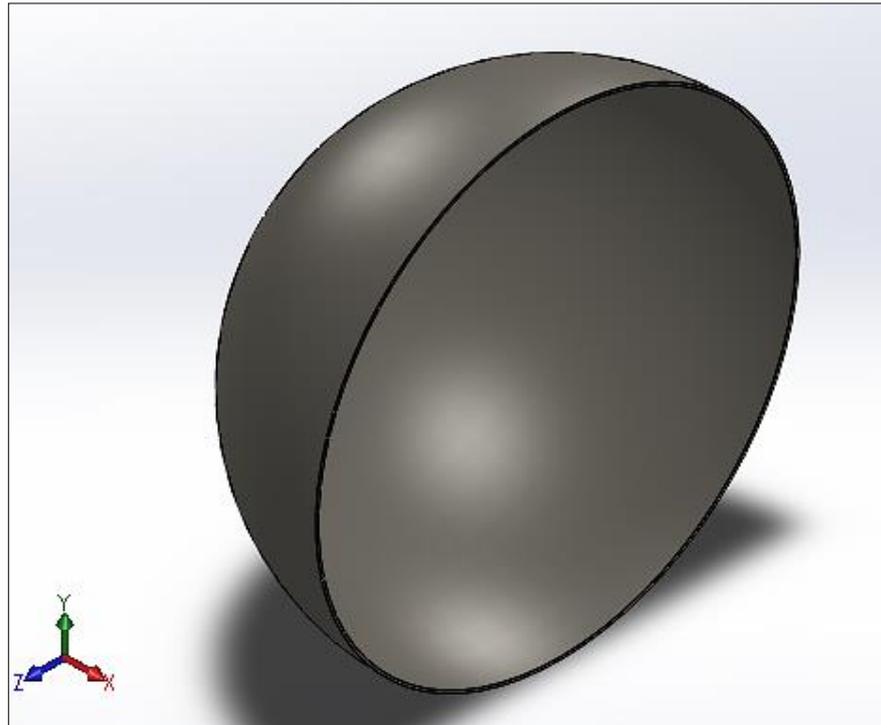


Figura 7-1. Cabeza semiesférica delantera

Fuente. Autor

- Mallado.

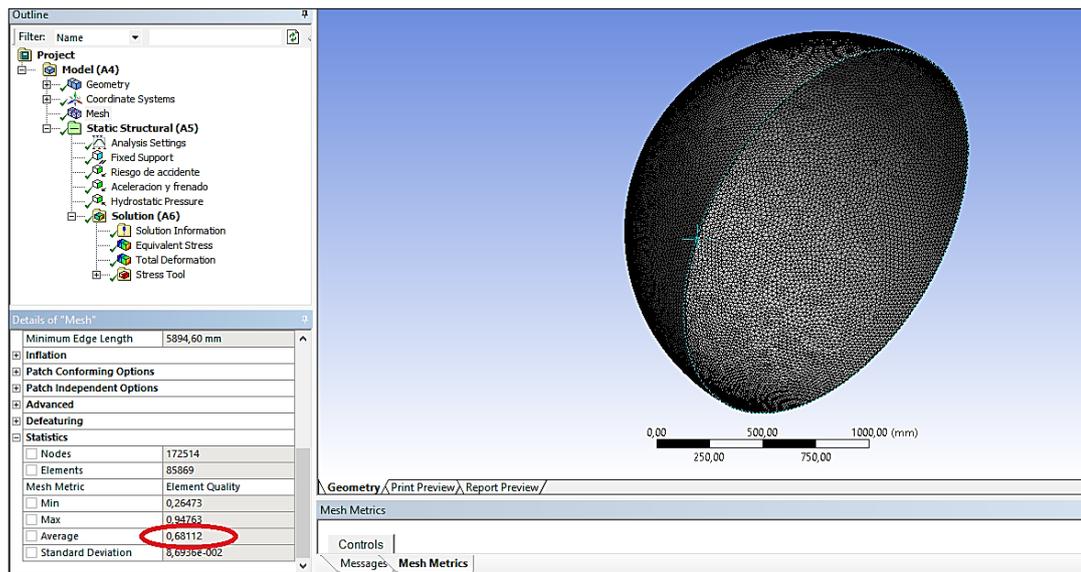


Figura 7-2. Valor promedio de Malla de la cabeza delantera

Fuente. Autor

Se observa en el mallado un valor promedio de 0,681, el cual nos da confiabilidad en la convergencia de resultados.

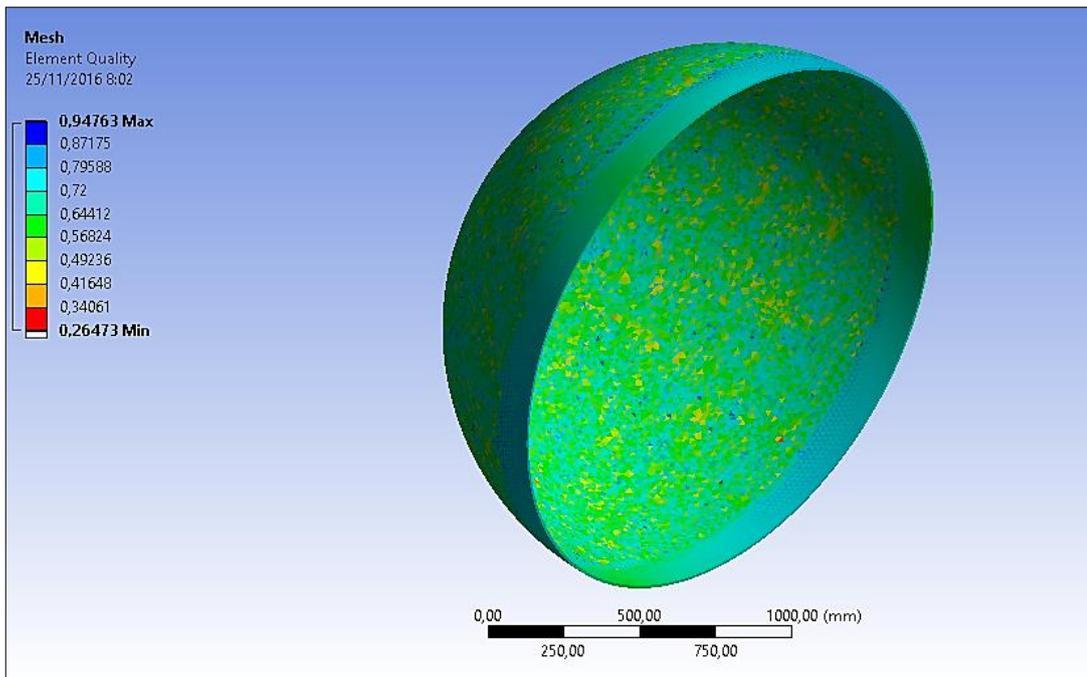


Figura 7-3. Malla - Element quality de la cabeza delantera
Fuente. Autor

Además se observa la calidad de mallado de una manera interactiva en una escala de colores.

- *Aplicación de cargas y soportes.*

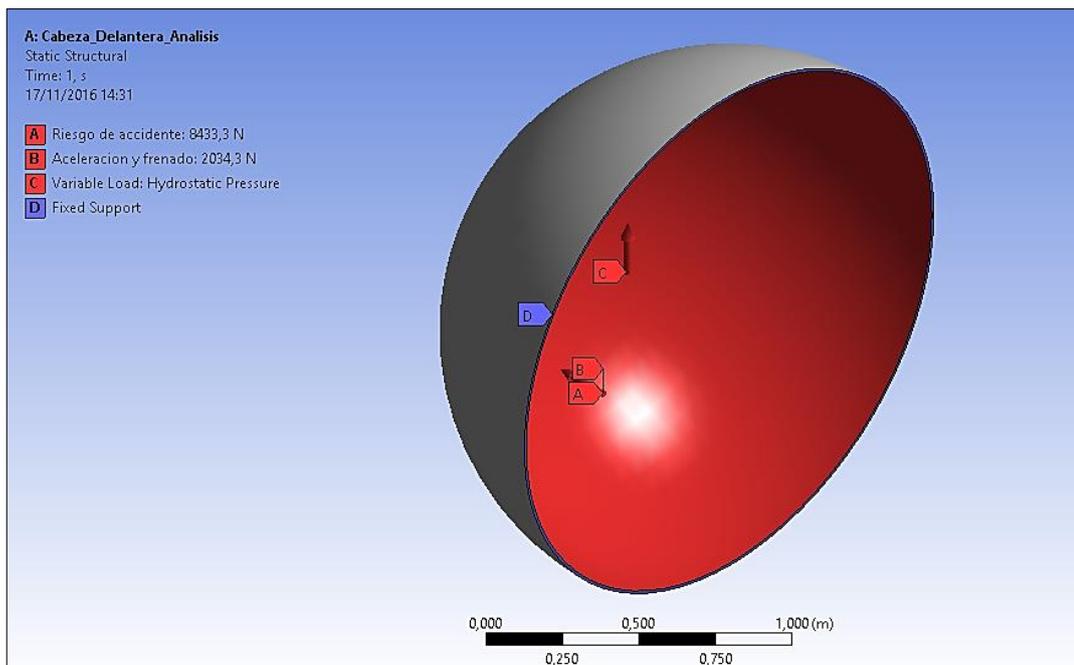


Figura 7-4. Aplicación de cargas de la cabeza delantera
Fuente. Autor

- *Aplicación de presión hidrostática generada por el fluido (GLP).*

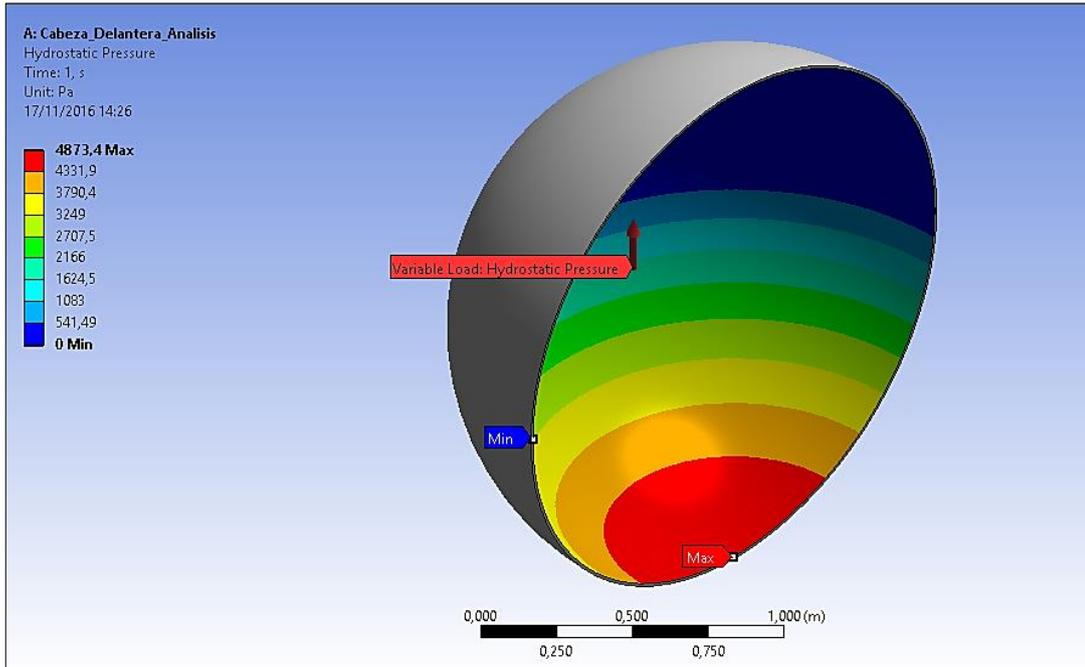


Figura 7-5. Aplicación de presión hidrostática de la cabeza delantera
Fuente. Autor

- *Análisis de esfuerzos.*

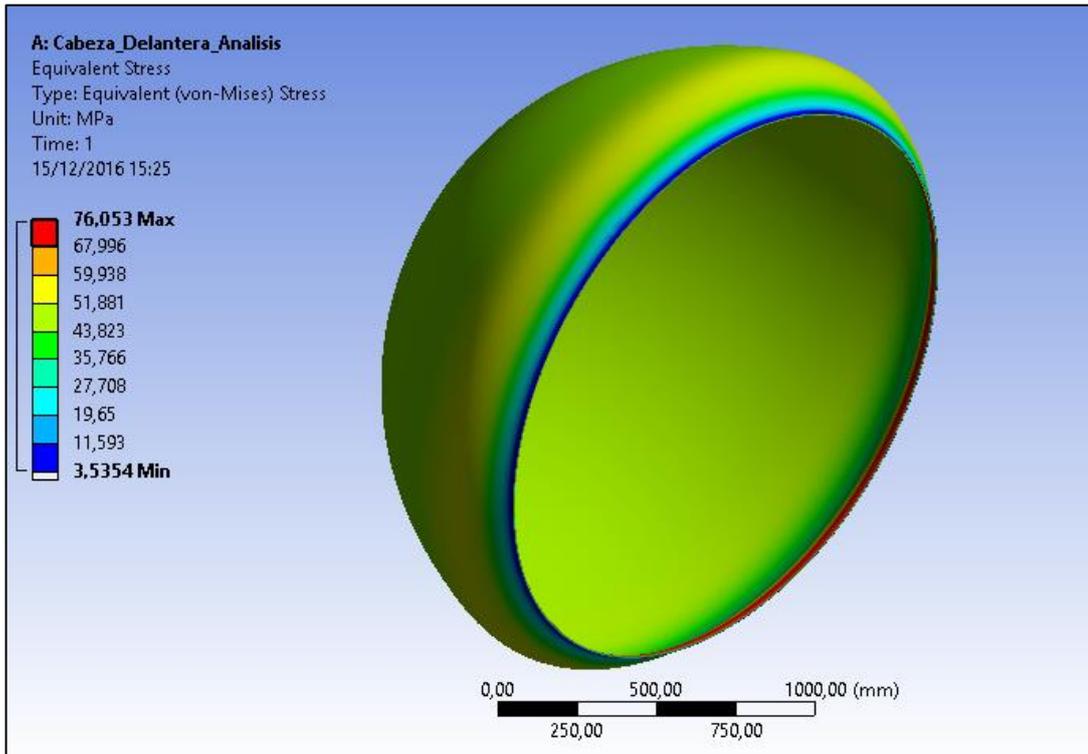


Figura 7-6. Análisis de esfuerzos de la cabeza delantera
Fuente. Autor

El esfuerzo máximo generado es de 76,053 MPa (11030,5 psi).

- *Analisis de deformacion.*

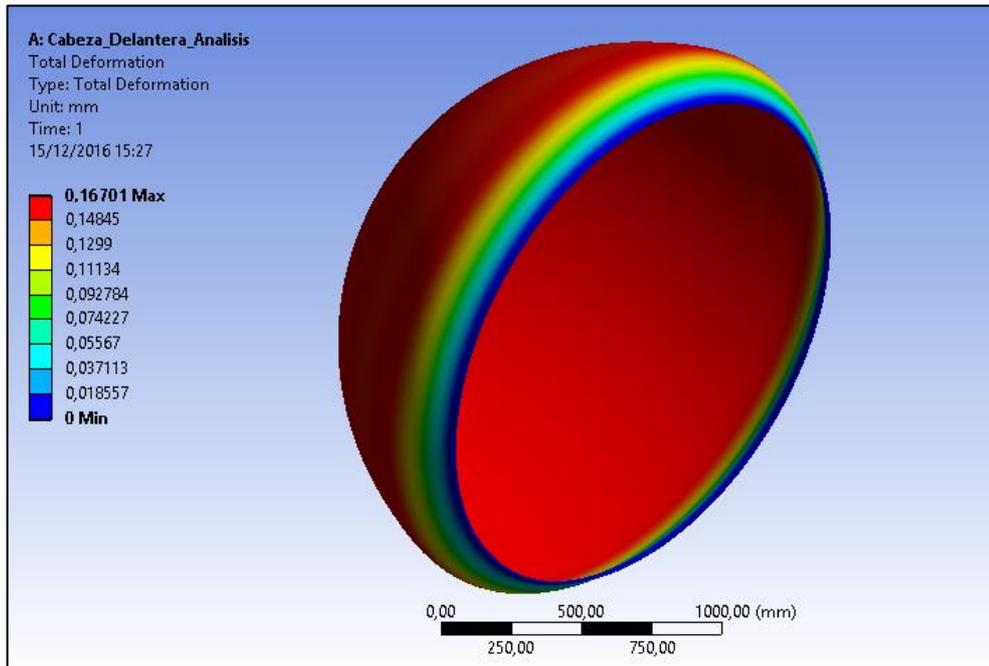


Figura 7-7. Análisis de deformación de la cabeza delantera
Fuente. Autor

La deformación máxima generada es de 0,167 mm (0,01 in).

- *Análisis de Factor de seguridad (Cabeza delantera).*

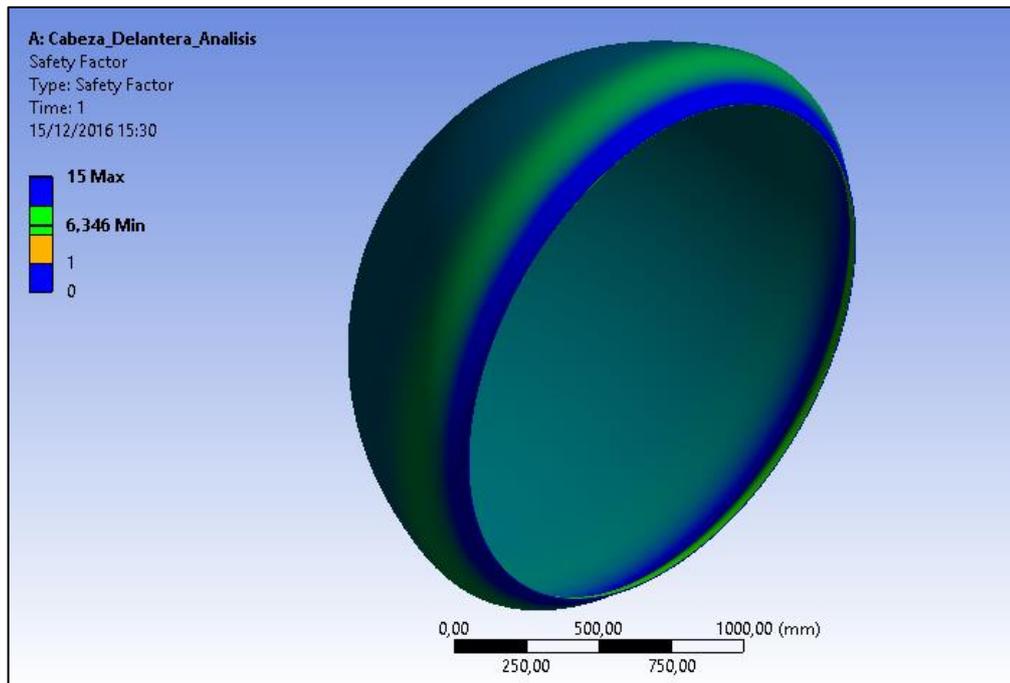


Figura 7-8. Análisis del factor de seguridad de la cabeza delantera
Fuente. Autor

El factor de seguridad es de 6,34.

7.2.2. Cabeza semiesférica posterior.

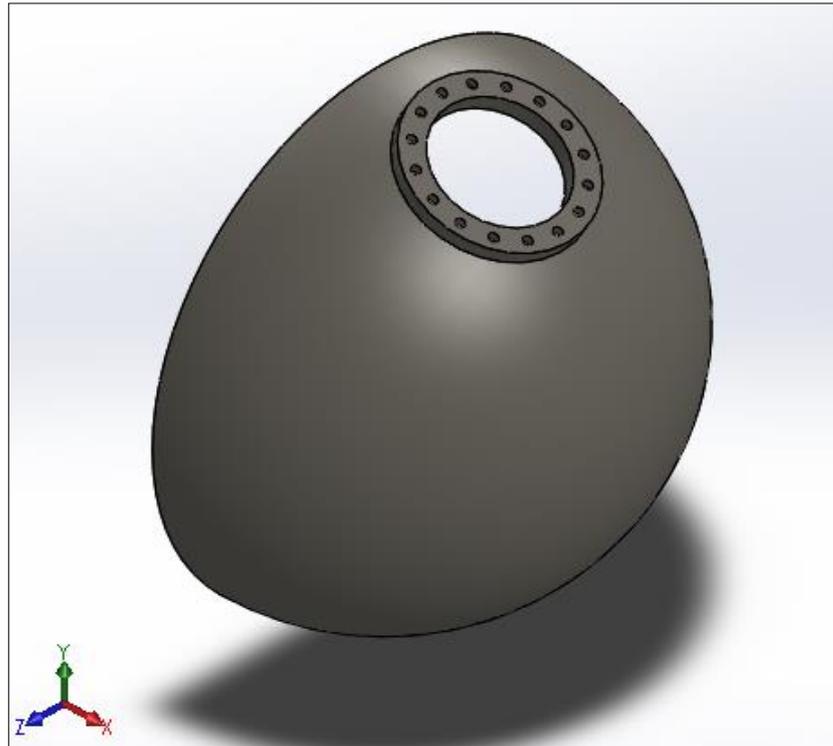


Figura 7-9. Cabeza semiesférica posterior

Fuente. Autor

- Mallado

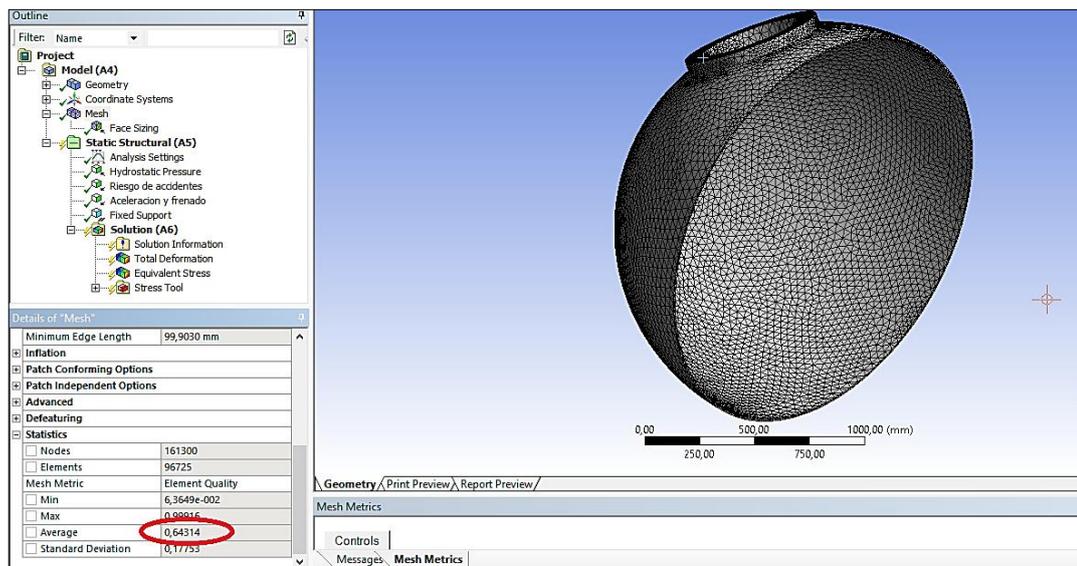


Figura 7-10. Valor promedio de Malla de la cabeza posterior

Fuente. Autor

Se observa en el mallado un valor promedio de 0,643, el cual nos da confiabilidad en la convergencia de resultados.

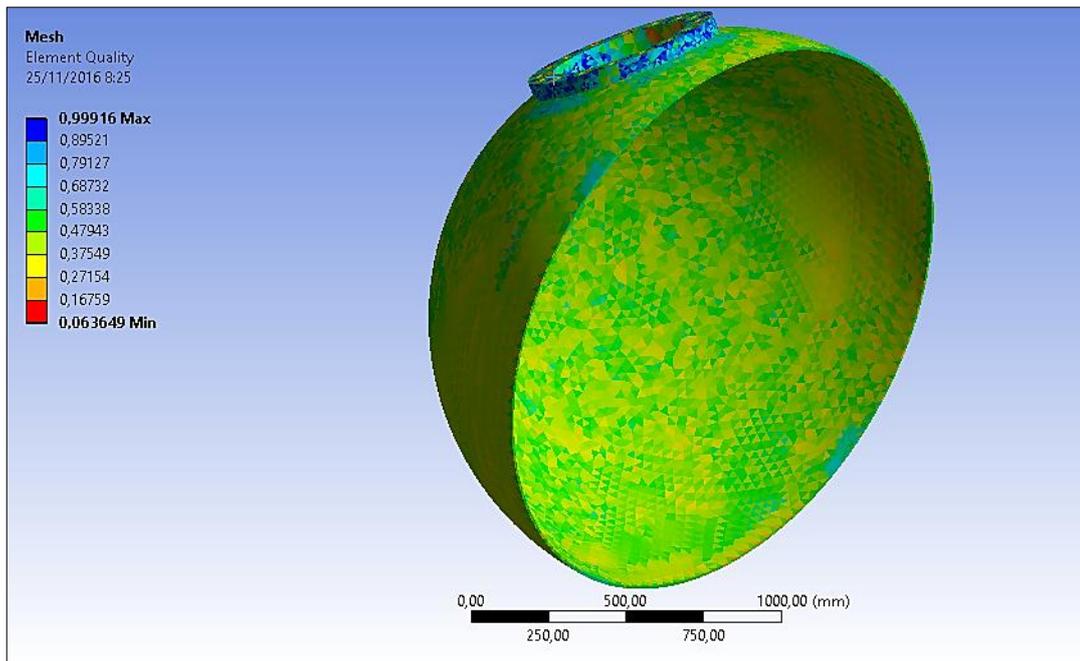


Figura 7-11. Malla - Element quality de la cabeza posterior
Fuente. Autor

Además se observa la calidad de mallado de una manera interactiva en una escala de colores.

- *Aplicación de cargas y soportes.*

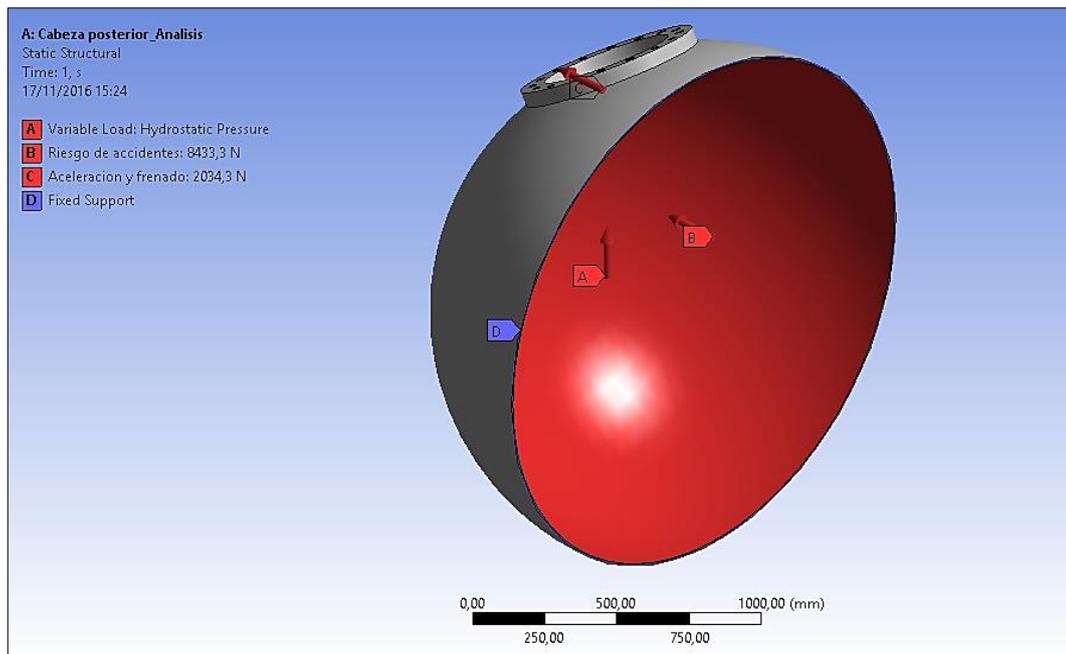


Figura 7-12. Aplicación de cargas y soportes de la cabeza posterior
Fuente. Autor

- *Aplicación de presión hidrostática generada por el fluido (GLP).*

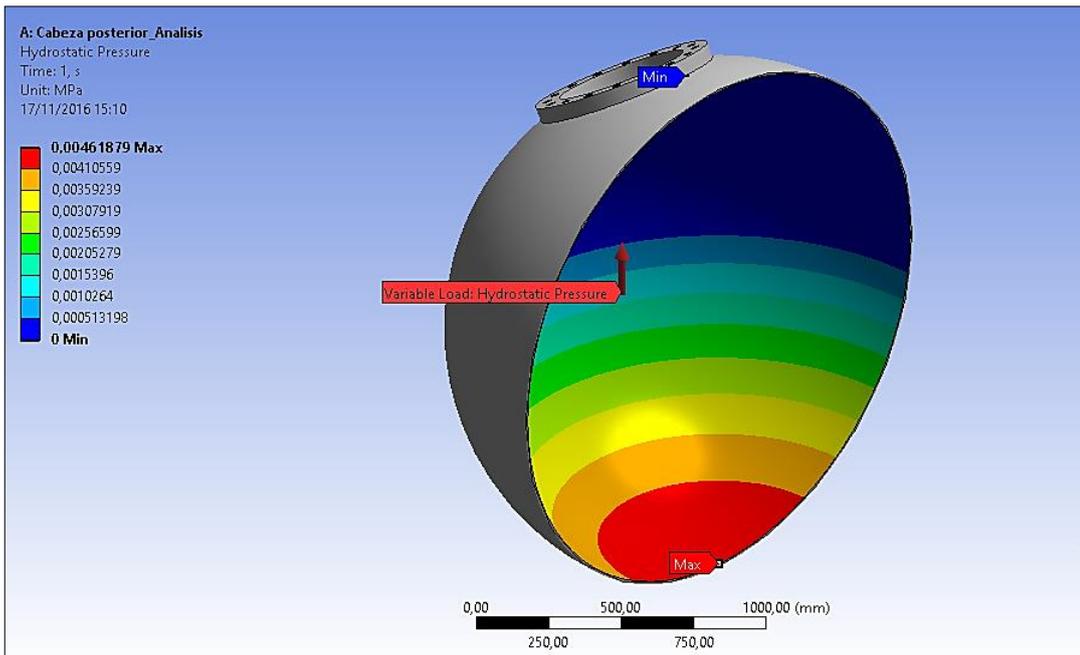


Figura 7-13. Aplicación de presión hidrostática de la cabeza posterior
 Fuente. Autor

- *Análisis de esfuerzos.*

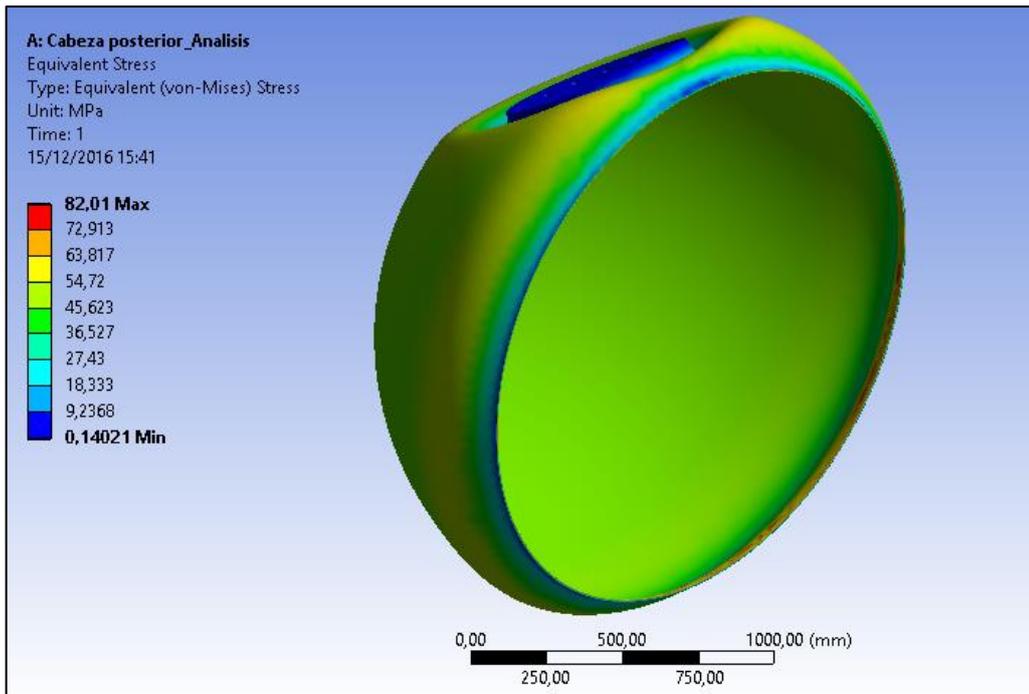


Figura 7-14. Análisis de esfuerzos de la cabeza posterior
 Fuente. Autor

El esfuerzo máximo generado es de 82,01 MPa (11894,5 psi)

- *Análisis de deformación.*

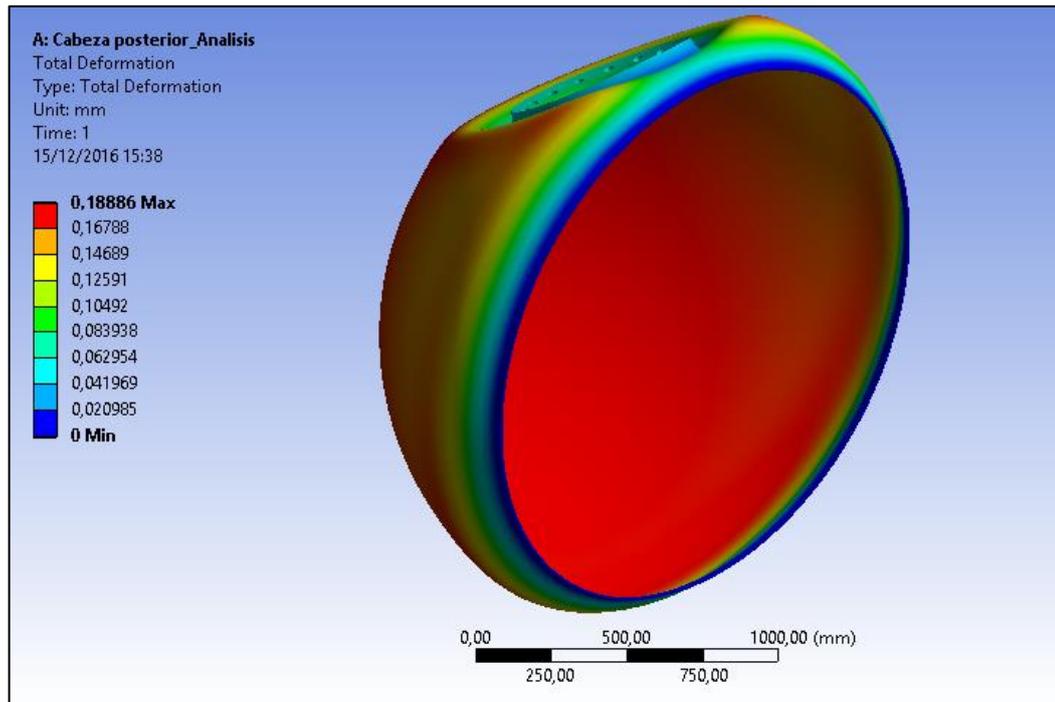


Figura 7-15. Análisis de deformación de la cabeza posterior

Fuente. Autor

La deformación máxima generada es de 0,188 mm (0,01 in).

- *Análisis de Factor de seguridad.*

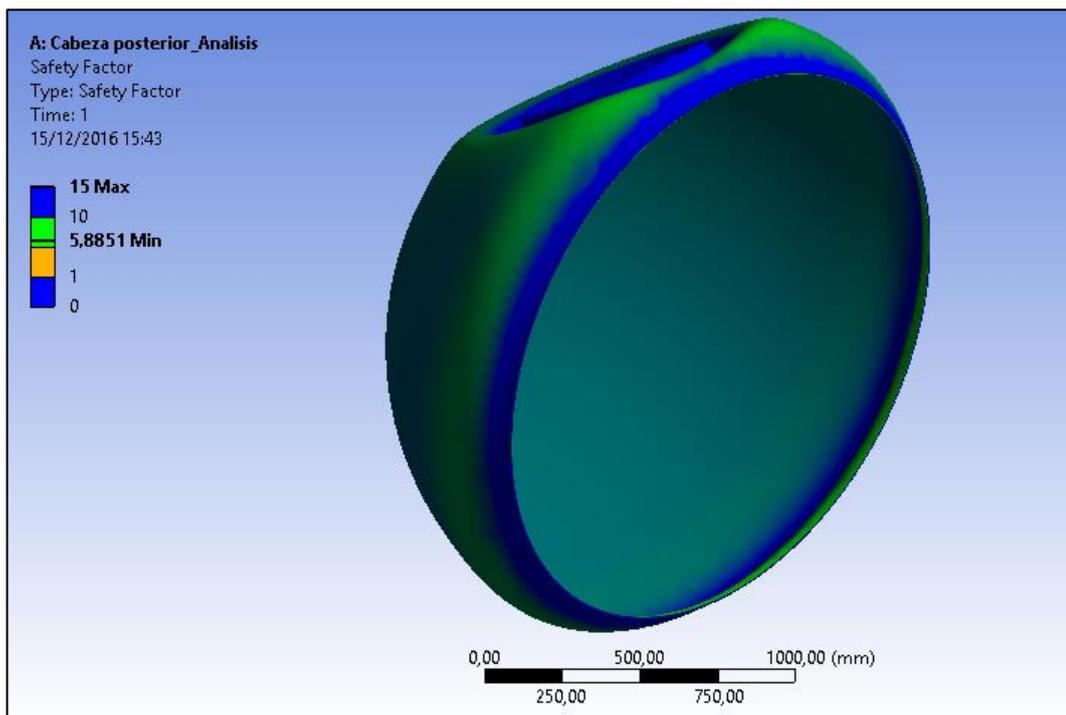


Figura 7-16. Análisis de factor de seguridad de la cabeza posterior

Fuente. Autor

El factor de seguridad es de 5,88.

7.3. Análisis Cuerpo cilíndrico en ANSYS WORKBENCH.

Se toman en cuenta las siguientes cargas para el análisis y simulación:

- Peso del producto: 135070,5559 N
- Carga hidrostática en el fondo del tanque: P_h
- Cargas generadas por el peso del producto al momento que hay un salto:
 $F_{pp} = 33733,2170 \text{ N}$

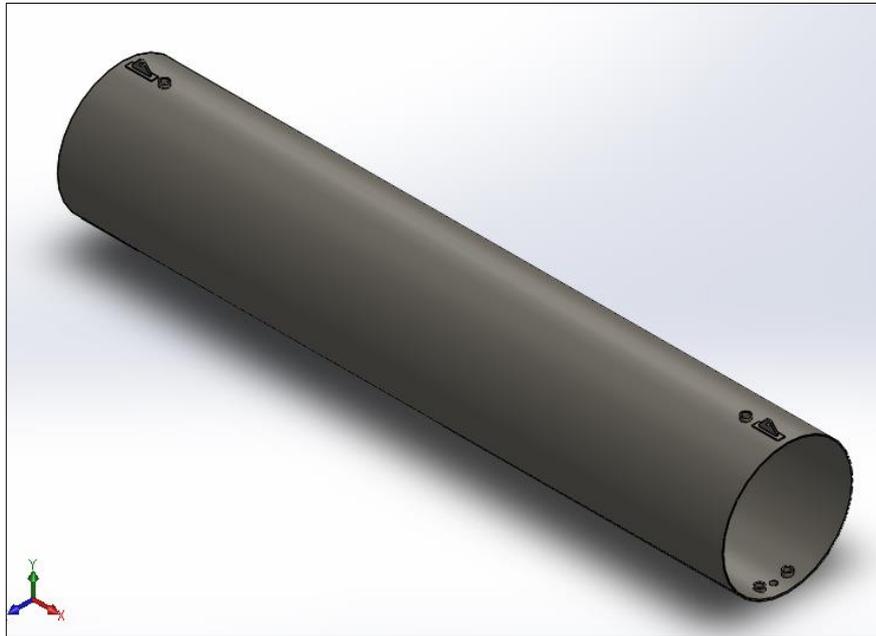


Figura 7-17. Cuerpo cilíndrico

Fuente. Autor

- Mallado

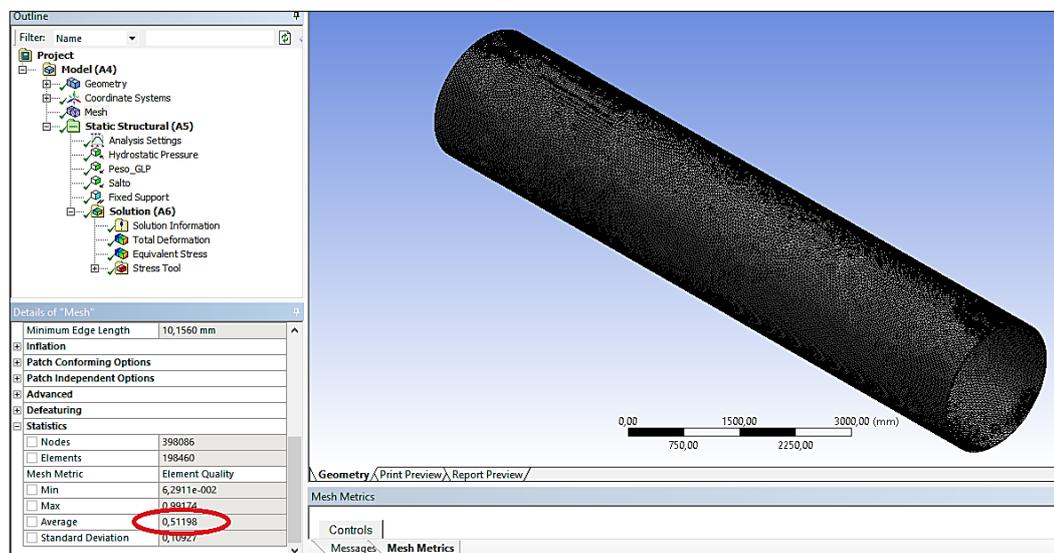


Figura 7-18. Valor promedio de malla del cuerpo cilíndrico

Fuente. Autor

Se observa en el mallado un valor promedio de 0,511, el cual nos da confiabilidad en la convergencia de resultados.

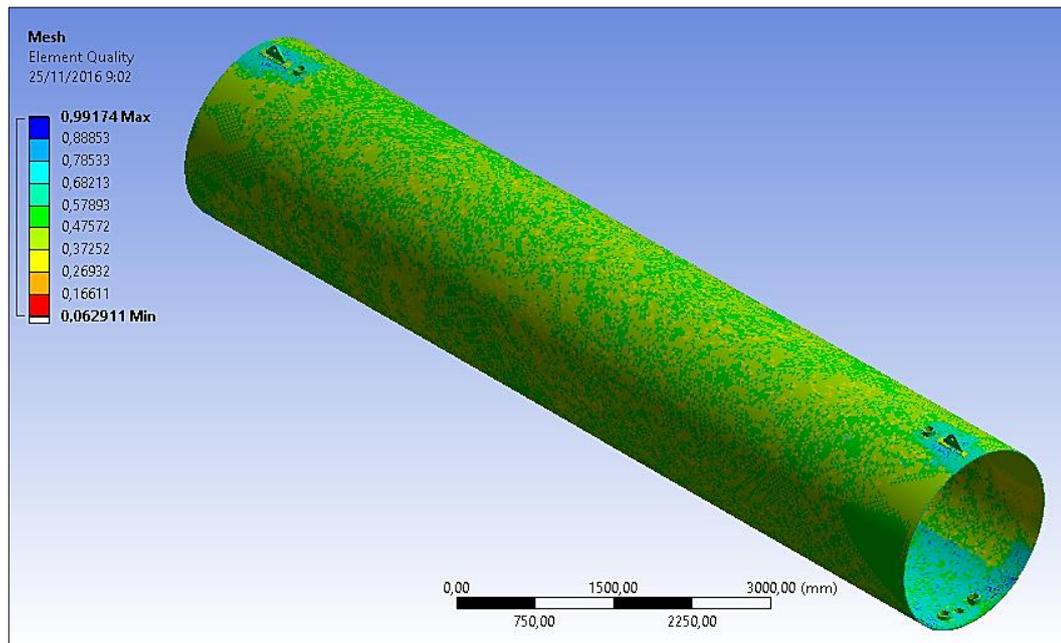


Figura 7-19. Malla - Element quality del cuerpo cilíndrico
Fuente. Autor

Además se observa la calidad de mallado de una manera interactiva en una escala de colores.

- *Aplicación de cargas y soportes.*

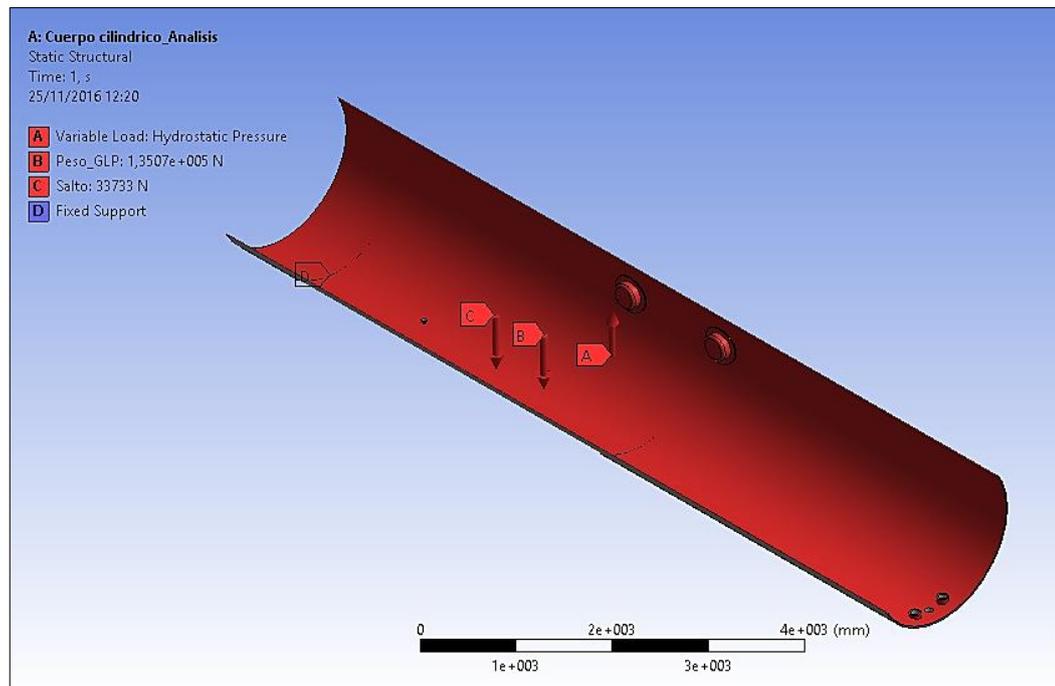


Figura 7-20. Aplicación de cargas y soportes del cuerpo cilíndrico
Fuente. Autor

- *Aplicación de presión hidrostática generada por el fluido (GLP).*

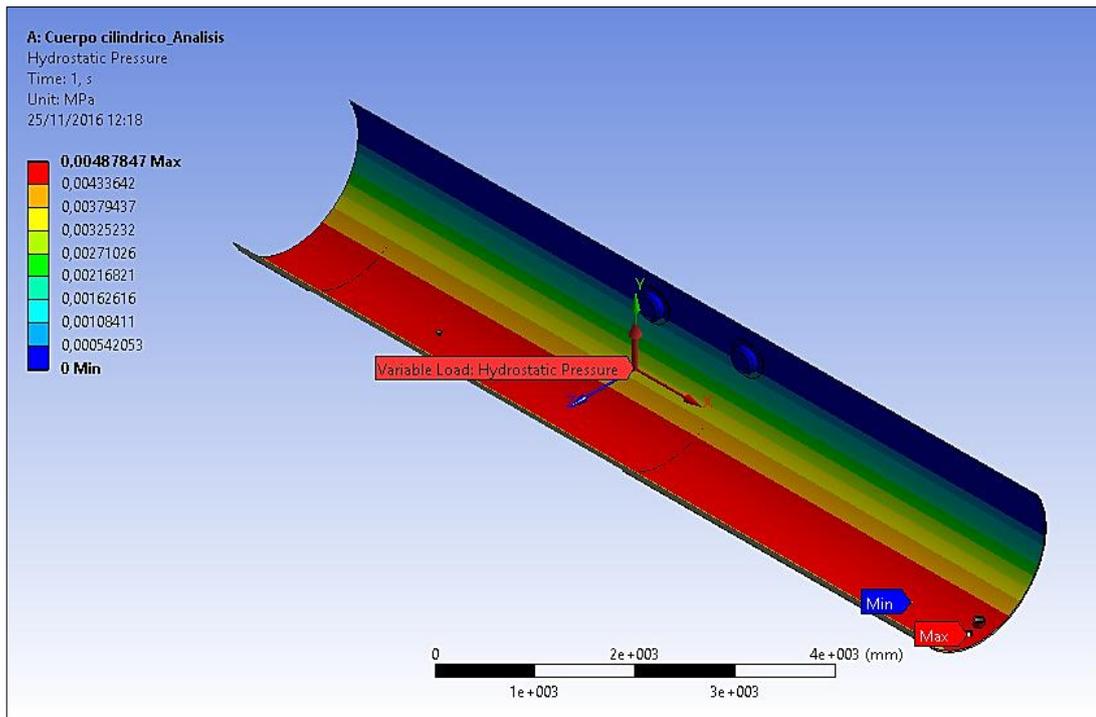


Figura 7-21. Aplicación de presión hidrostática del cuerpo cilíndrico
Fuente. Autor

- *Análisis de esfuerzos.*

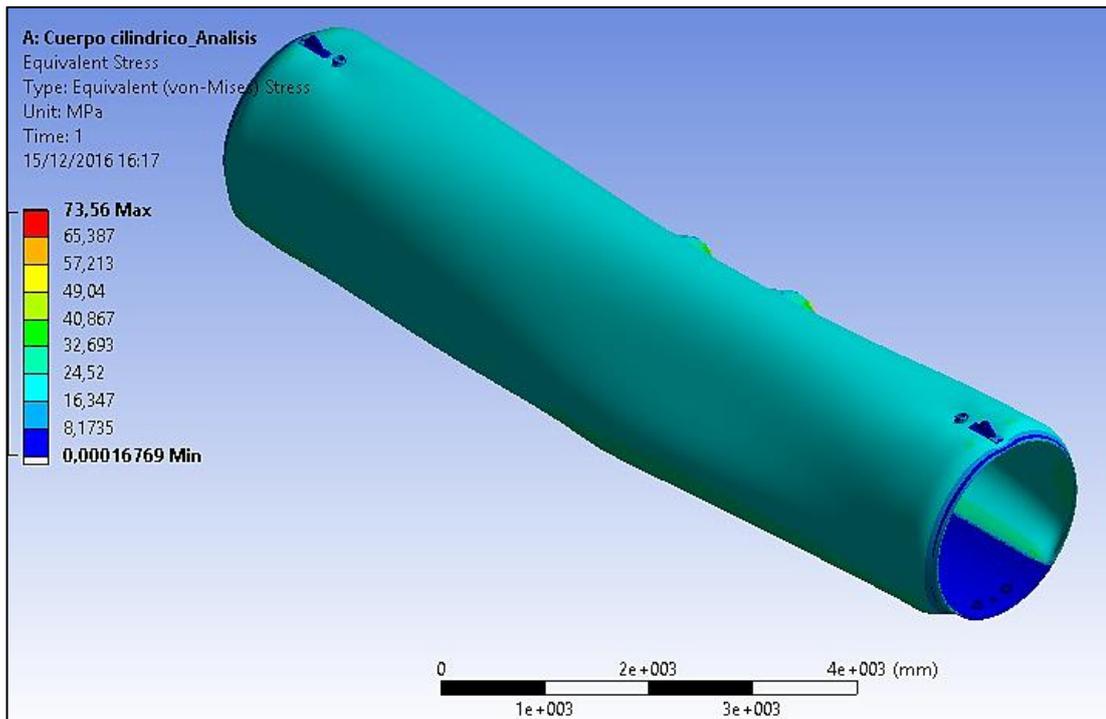


Figura 7-22. Análisis de esfuerzos del cuerpo cilíndrico
Fuente. Autor

El esfuerzo máximo generado es de 73,56 MPa (10668,9 psi).

- *Análisis de deformación.*

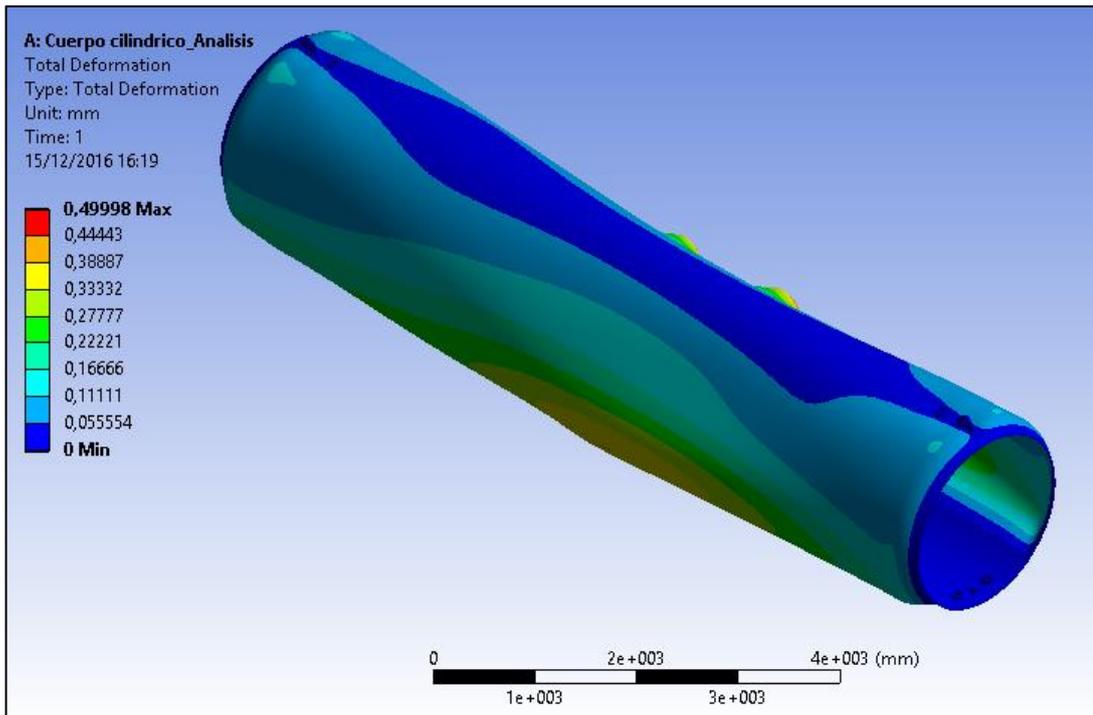


Figura 7-23. Análisis de deformación del cuerpo cilíndrico

Fuente. Autor

La deformación máxima generada es de 0,5 mm (0,02 in).

- *Análisis de Factor de seguridad.*

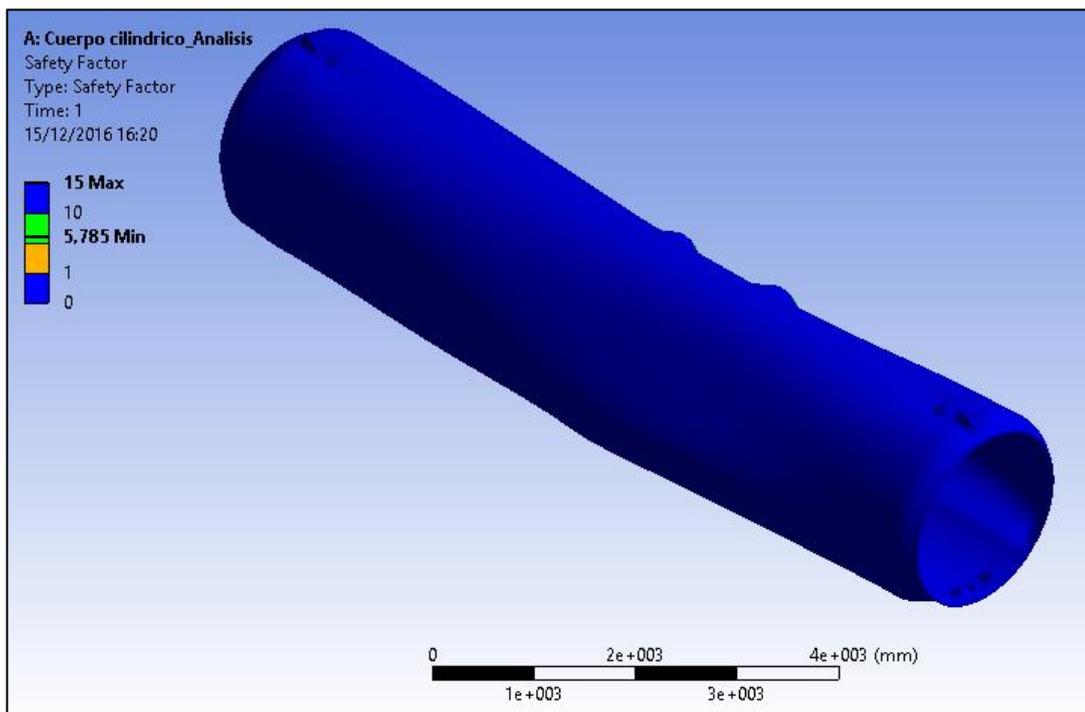


Figura 7-24. Análisis de factor de seguridad del cuerpo cilíndrico

Fuente. Autor

El factor de seguridad es de 5,78.

7.4. Análisis del Bafle en ANSYS WORKBENCH.

Para el análisis de Bafles se debe tener en cuenta que estos dividen al recipiente en 4 partes, por ello las cargas que se aplican sobre su superficie deben dividirse entre 4.

Las cargas que actúan sobre los bafles son las Carga por riesgo de accidentes y Carga por aceleración y frenado.

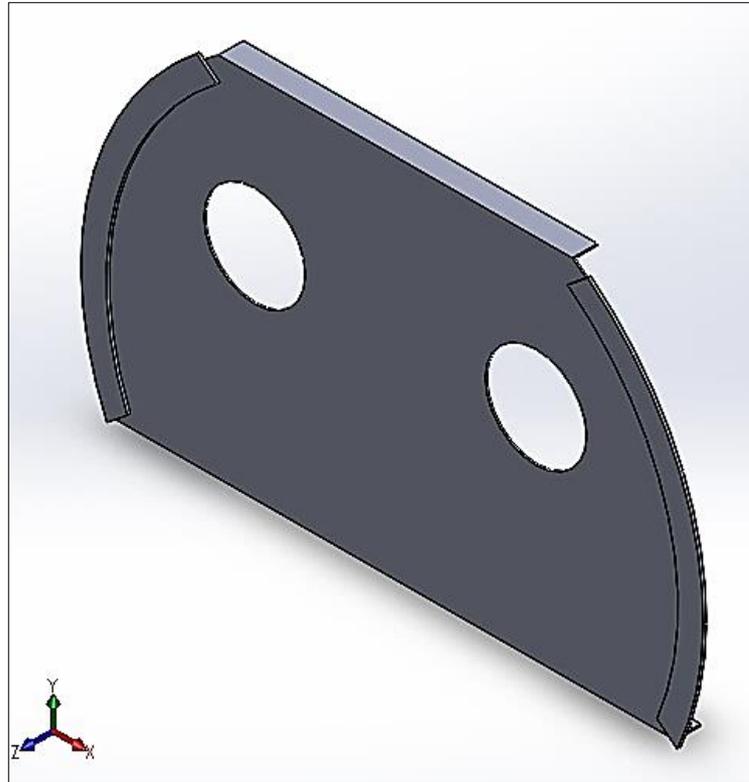


Figura 7-25. Bafles
Fuente. Autor

Entonces:

- Cargas por riesgo de accidentes para cada bafle.

$$\Rightarrow \frac{F_{ra}}{4} \Rightarrow \frac{8433,3043 \text{ N}}{4} \Rightarrow 2108,3260 \text{ N} \quad \text{Ec. (119)}$$

- Carga por aceleración y frenado para cada bafle.

$$\Rightarrow \frac{F_{af}}{4} \Rightarrow \frac{2034,3195 \text{ N}}{4} \Rightarrow 508,5799 \text{ N} \quad \text{Ec. (120)}$$

- Total de carga que actúan sobre cada bafle.

$$\Rightarrow 2108,3260 \text{ N} + 508,5799 \text{ N} = 2616,9059 \text{ N} \quad \text{Ec. (121)}$$

- **Mallado**

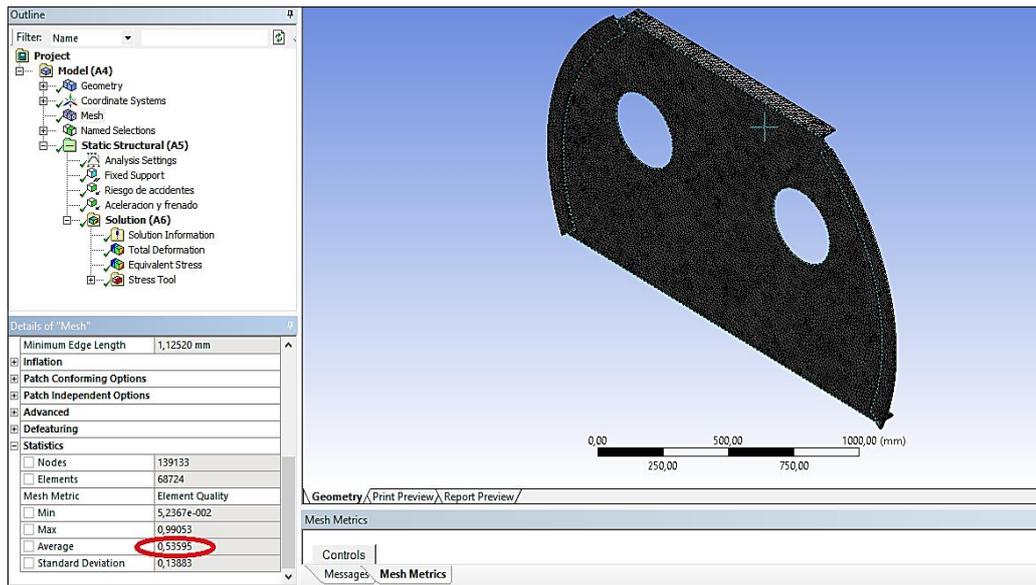


Figura 7-26. Valor promedio de malla de bafles

Fuente. Autor

Se observa en el mallado un valor promedio de 0,535, el cual nos da confiabilidad en la convergencia de resultados.

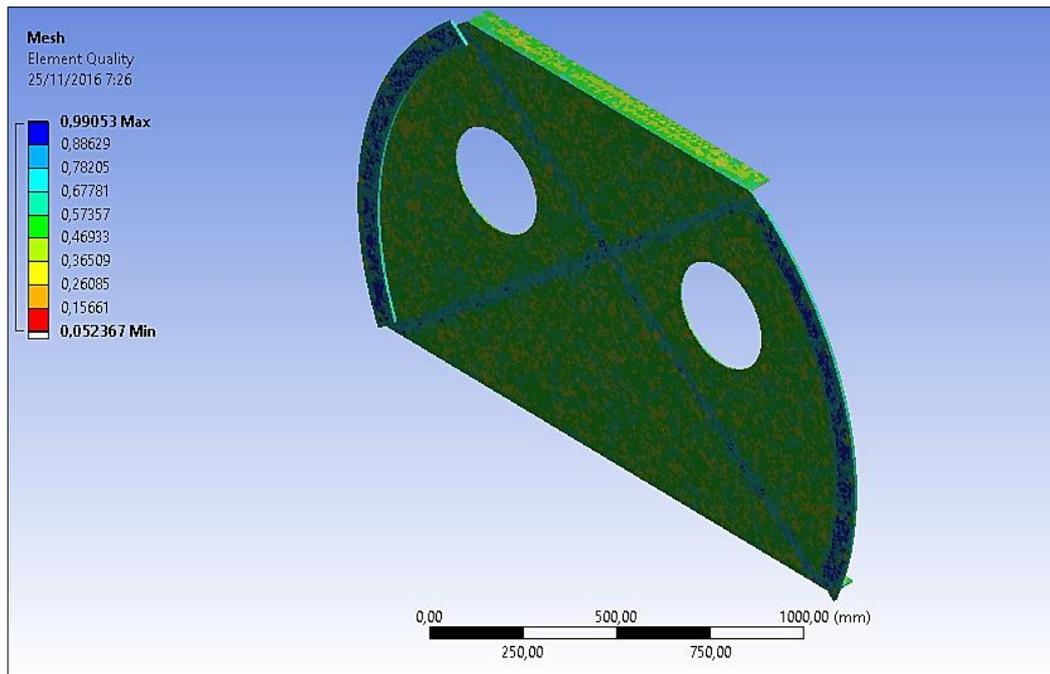


Figura 7-27. Malla - Element quality de bafles

Fuente. Autor

Además se observa la calidad de mallado de una manera interactiva en una escala de colores.

- *Aplicación de cargas y soportes.*

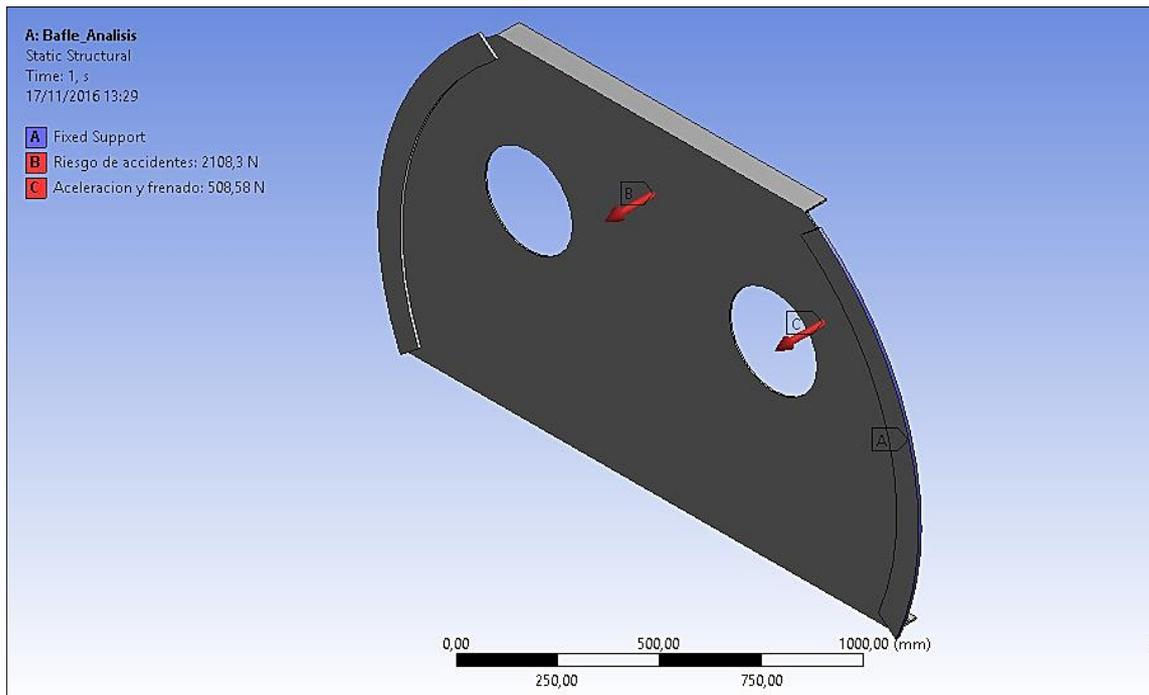


Figura 7-28. Aplicación de cargas y soportes de baffles
Fuente. Autor

- *Analisis de esfuerzos.*

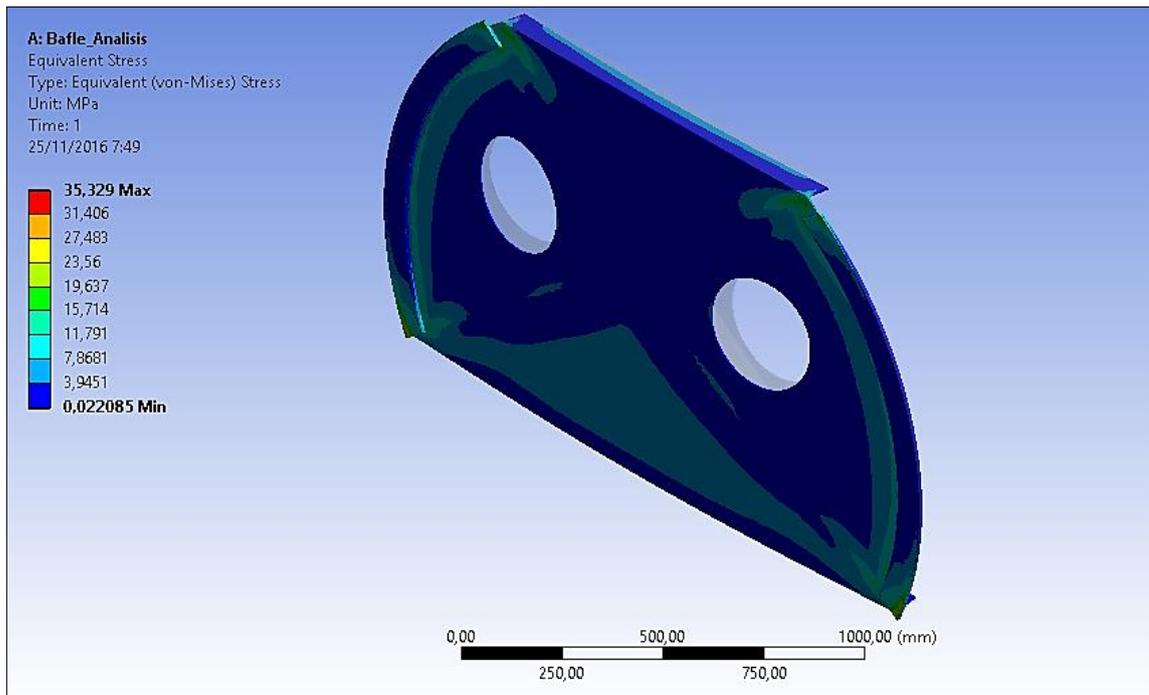


Figura 7-29. Análisis de esfuerzos de baffles
Fuente. Autor

El esfuerzo generado es de 35,329 MPa (5124 psi).

- *Análisis de Deformación.*

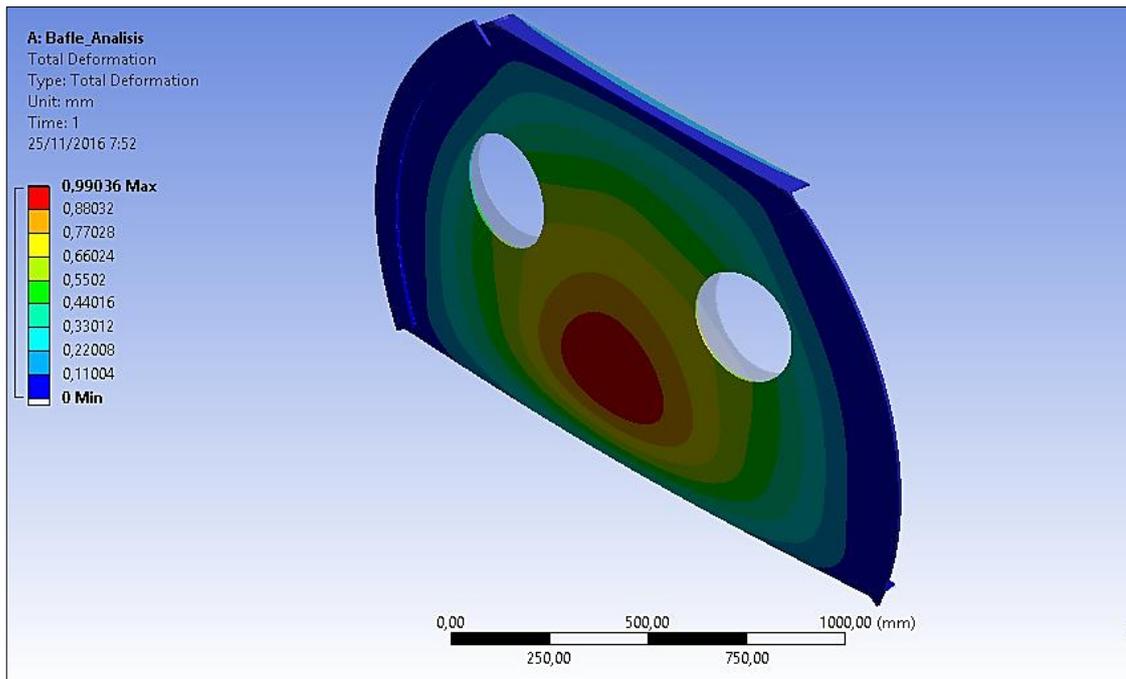


Figura 7-30. Análisis de deformación de baffles

Fuente. Autor

La deformación máxima generada es de 0,99 mm (0,04 in).

- *Análisis de Factor de seguridad.*

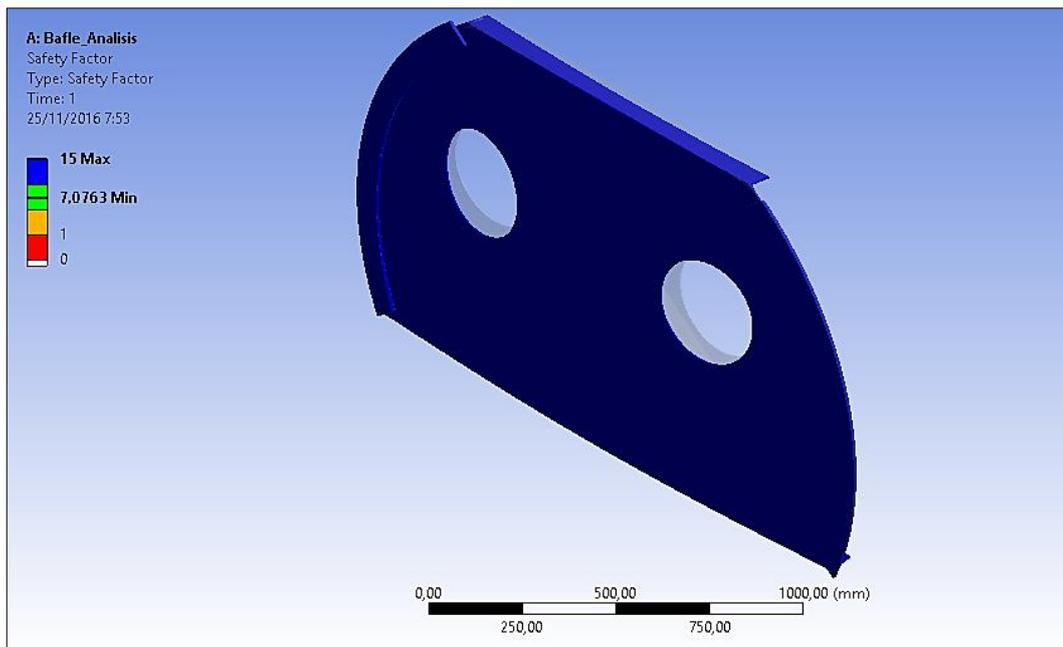


Figura 7-31. Análisis de factor de seguridad de baffles

Fuente. Autor

El factor de seguridad es de 7,07.

7.5. Análisis de orejas de izaje en ANSYS WORKBENCH.

Para el análisis de las orejas de izaje se debe tener en cuenta que son dos, lo cual divide las cargas que sufren estas para dicho número.

La única carga que actúa sobre las orejas de izaje es el peso del recipiente, ya que la función de este elemento es para montaje y desmontaje del recipiente.

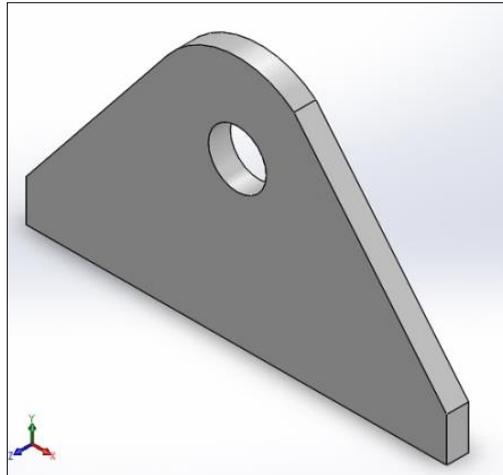


Figura 7-32. Oreja de izaje
Fuente. Autor

Entonces:

$$- \frac{\text{Peso del tanque}}{2} = 33522,975 \text{ N} \quad \text{Ec. (122)}$$

- **Mallado**

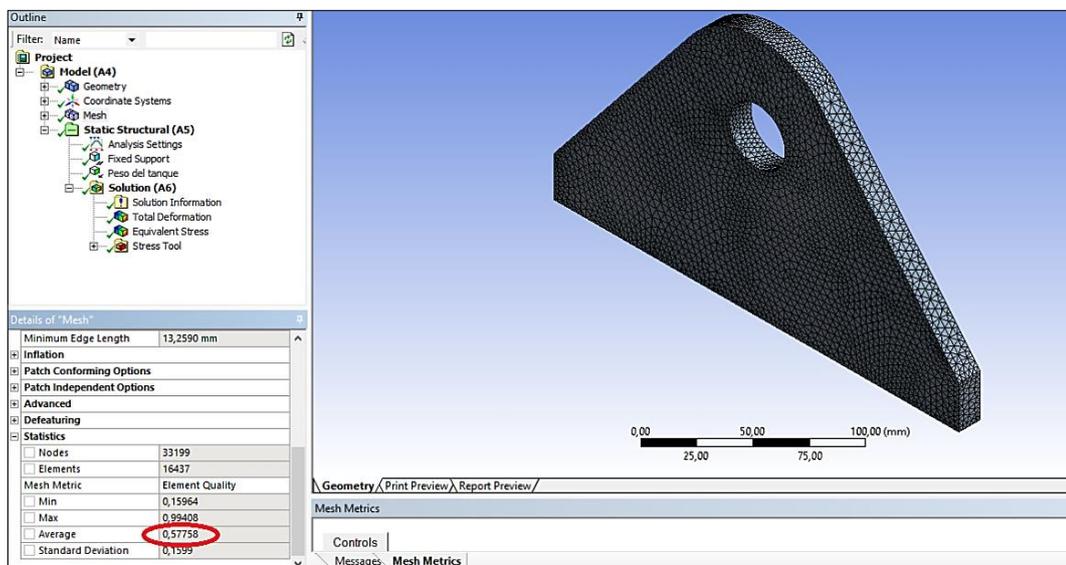


Figura 7-33. Valor promedio de Malla de las orejas de izaje
Fuente. Autor

Se observa en el mallado un valor promedio de 0,577, el cual nos da confiabilidad en la convergencia de resultados.

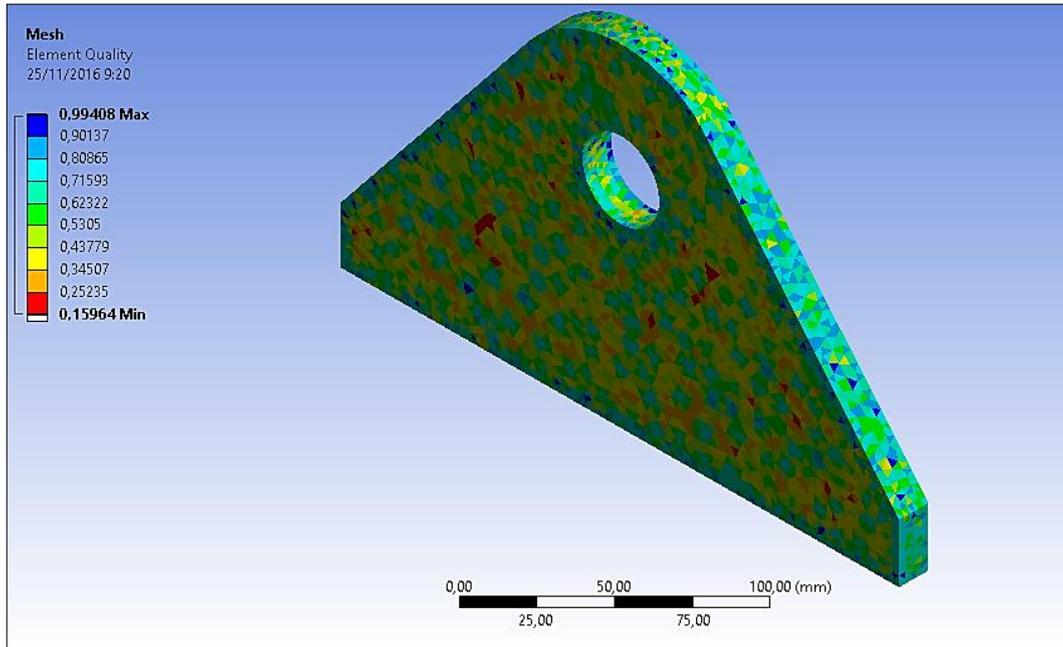


Figura 7-34. Malla - Element quality de las orejas de izaje
Fuente. Autor

Además se observa la calidad de mallado de una manera interactiva en una escala de colores.

- *Aplicación de cargas y soportes.*

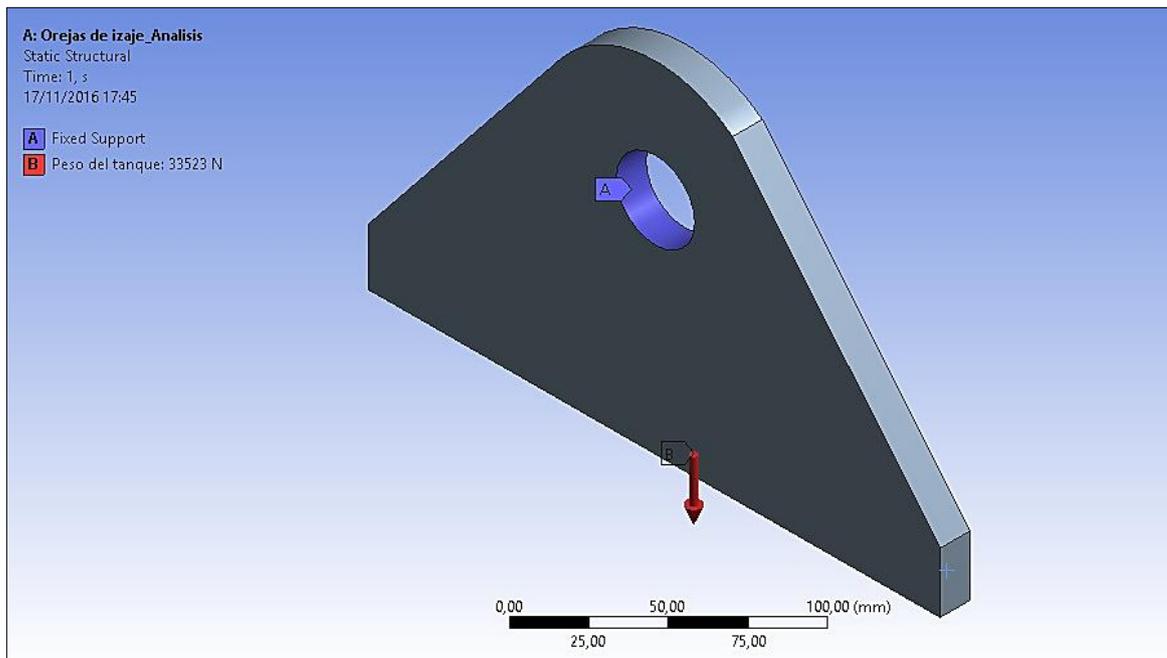


Figura 7-35. Aplicación de cargas de las orejas de izaje
Fuente. Autor

- *Analisis de esfuerzos.*

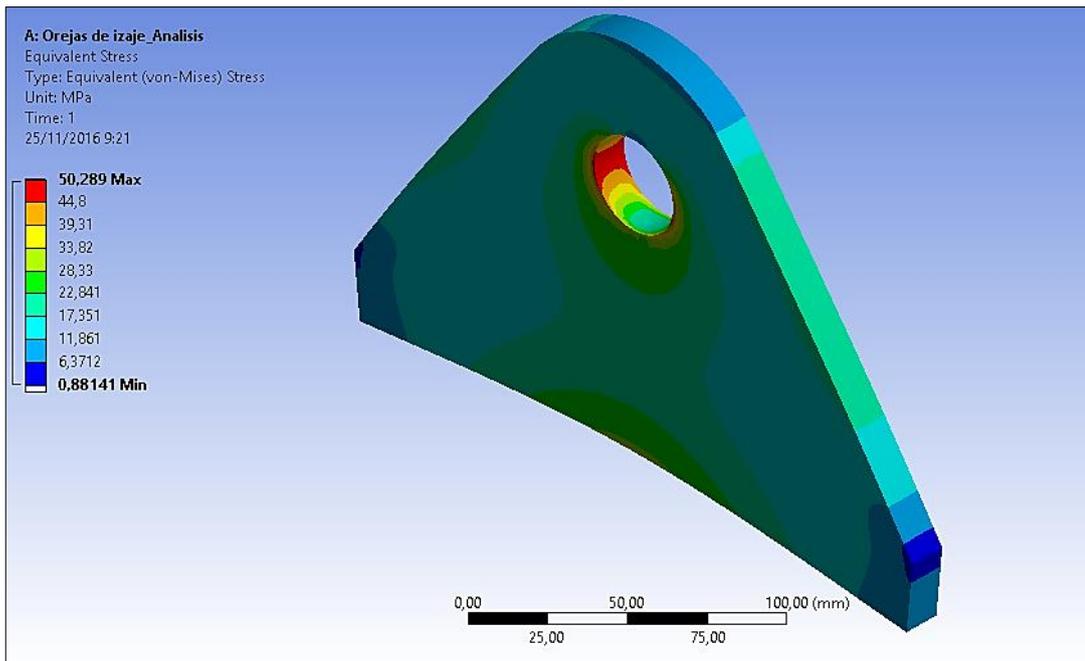


Figura 7-36. Análisis de esfuerzos de las orejas de izaje
Fuente. Autor

El esfuerzo máximo generado es de 50,28 MPa (7292,5 psi).

- *Análisis de Deformación.*

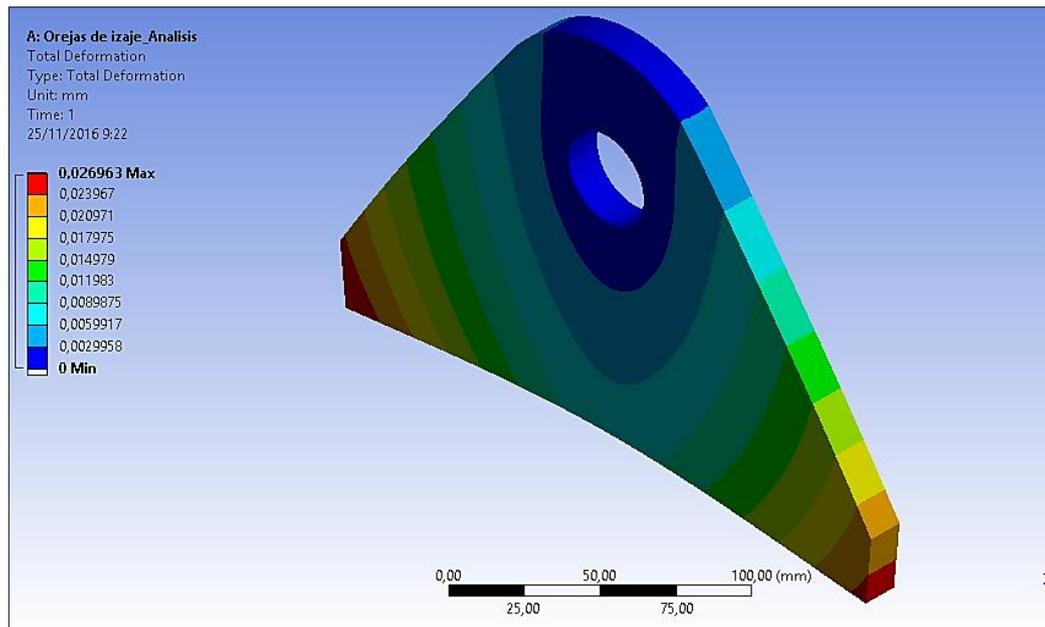


Figura 7-37. Análisis de deformación de las orejas de izaje
Fuente. Autor

La deformación máxima generada es de 0,027 mm (0,001 in).

- **Análisis de Factor de seguridad.**

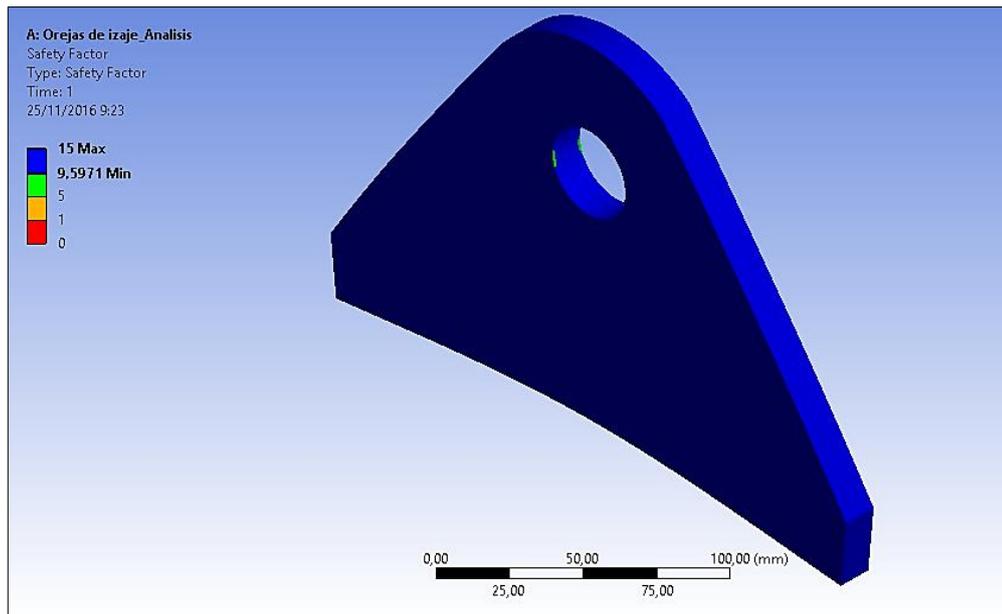


Figura 7-38. Análisis de factor de seguridad de las orejas de izaje
Fuente. Autor

El factor de seguridad es de 9,59.

7.6. Análisis del recipiente en ANSYS WORKBENCH.

Para este caso se hace uso de cada carga aplicada en cada uno de los elementos antes analizados.

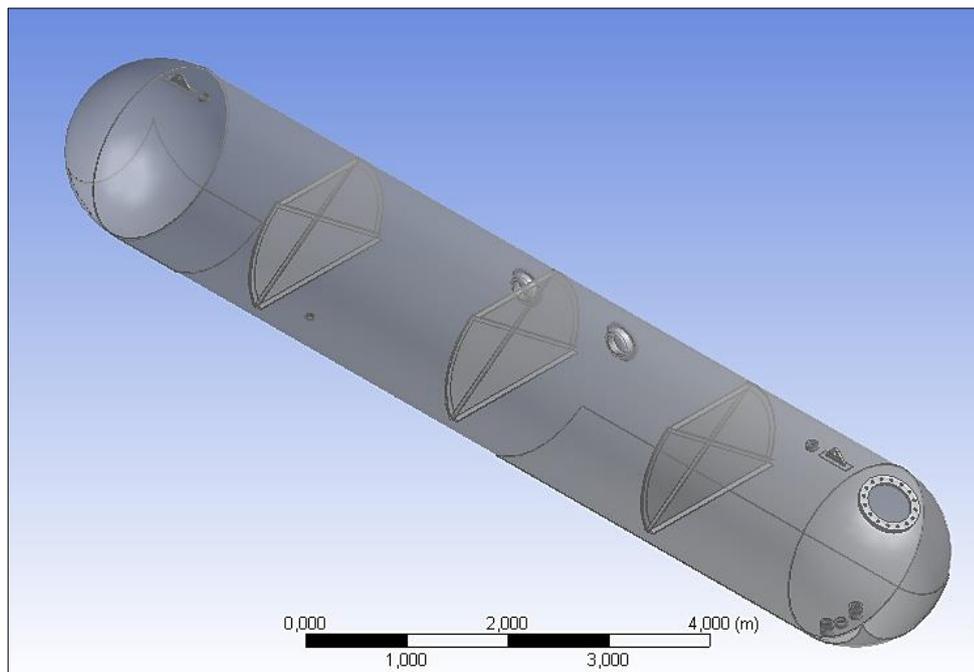


Figura 7-39. Recipiente
Fuente. Autor

Mallado

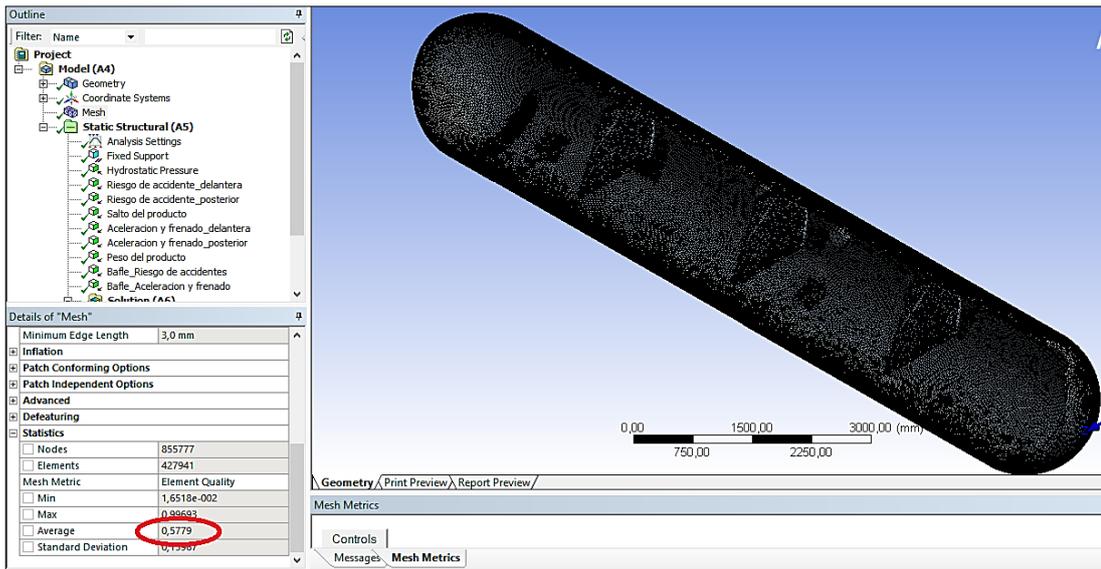


Figura 7-40. Valor promedio de Malla del recipiente

Fuente. Autor

Se observa en el mallado un valor promedio de 0,577, el cual nos da confiabilidad en la convergencia de resultados.

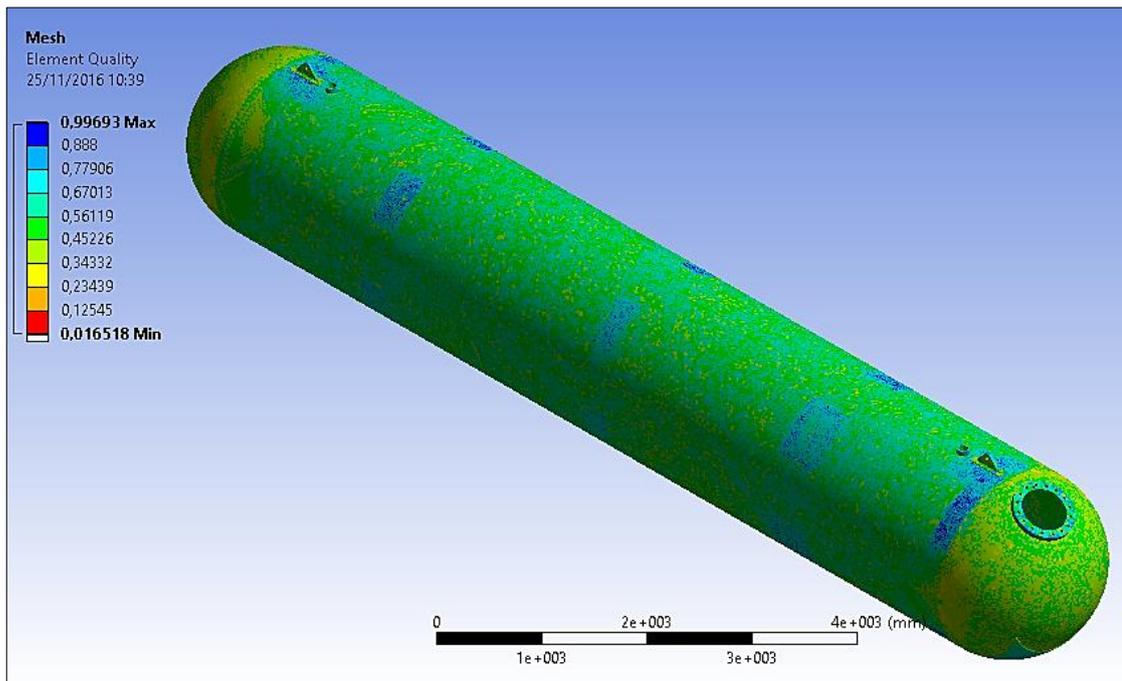


Figura 7-41. Malla - Element quality del recipiente

Fuente. Autor

Además se observa la calidad de mallado de una manera interactiva en una escala de colores.

- *Aplicación de presión hidrostática generada por el fluido (GLP).*

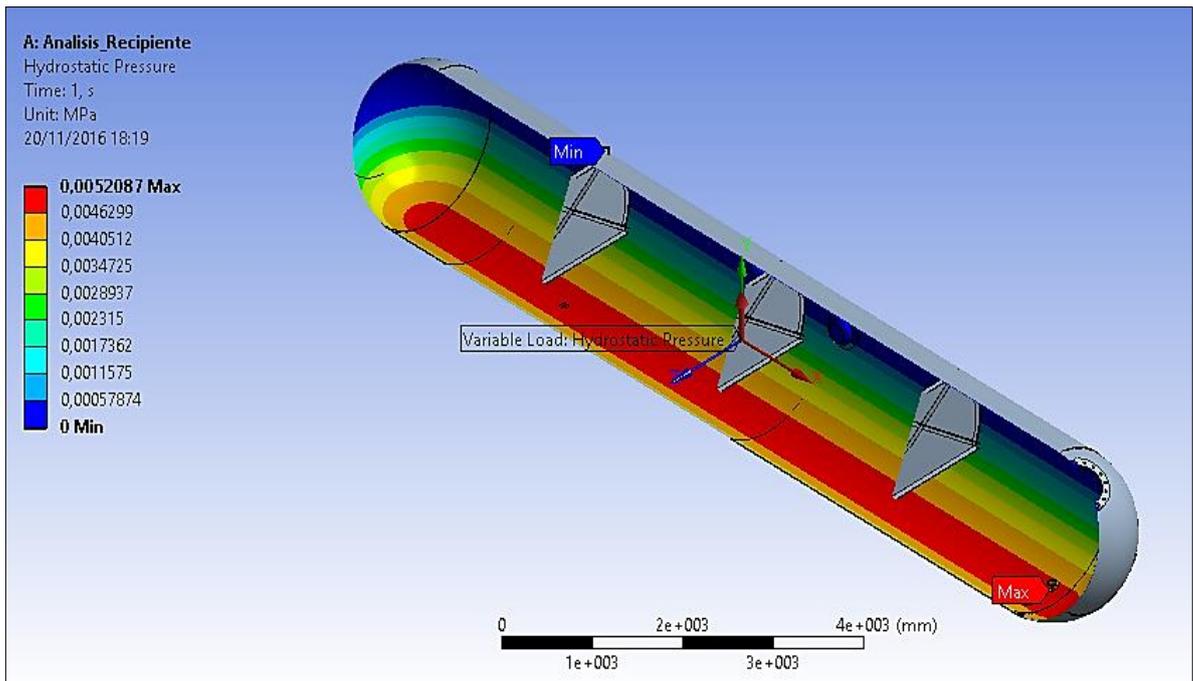


Figura 7-42. Aplicación de presión hidrostática del recipiente
 Fuente. Autor

- *Aplicación de cargas y soportes.*

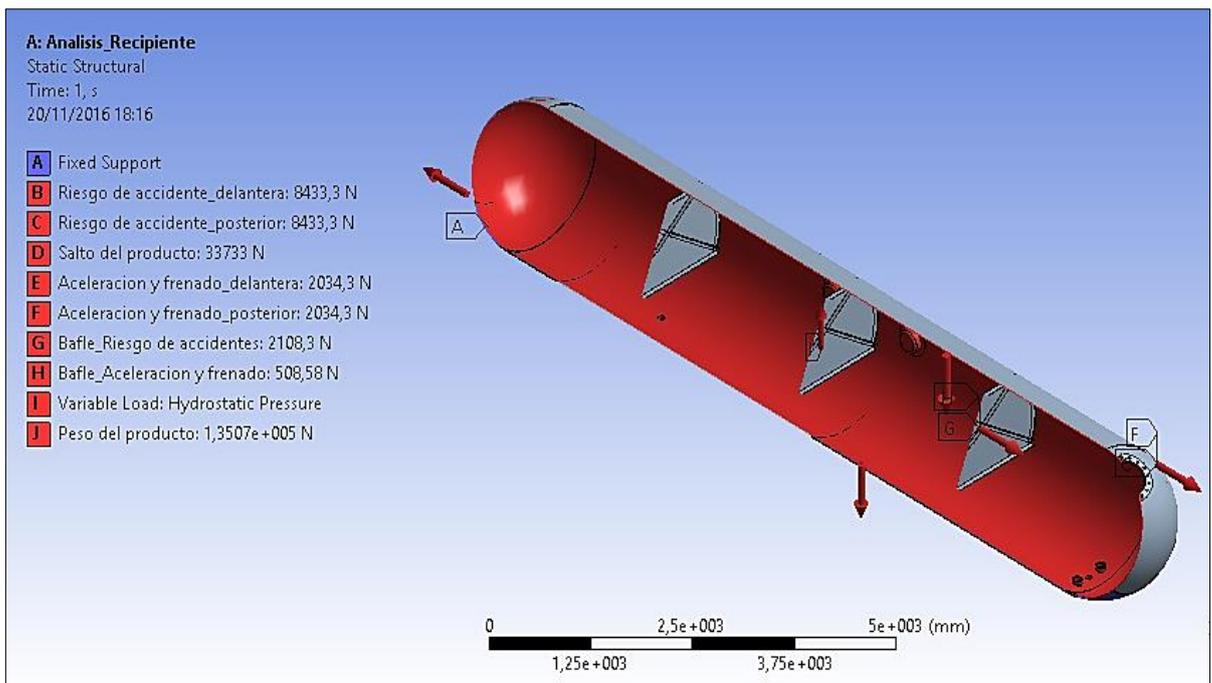


Figura 7-43. Aplicación de cargas y soportes del recipiente
 Fuente. Autor

- *Analisis de esfuerzos.*

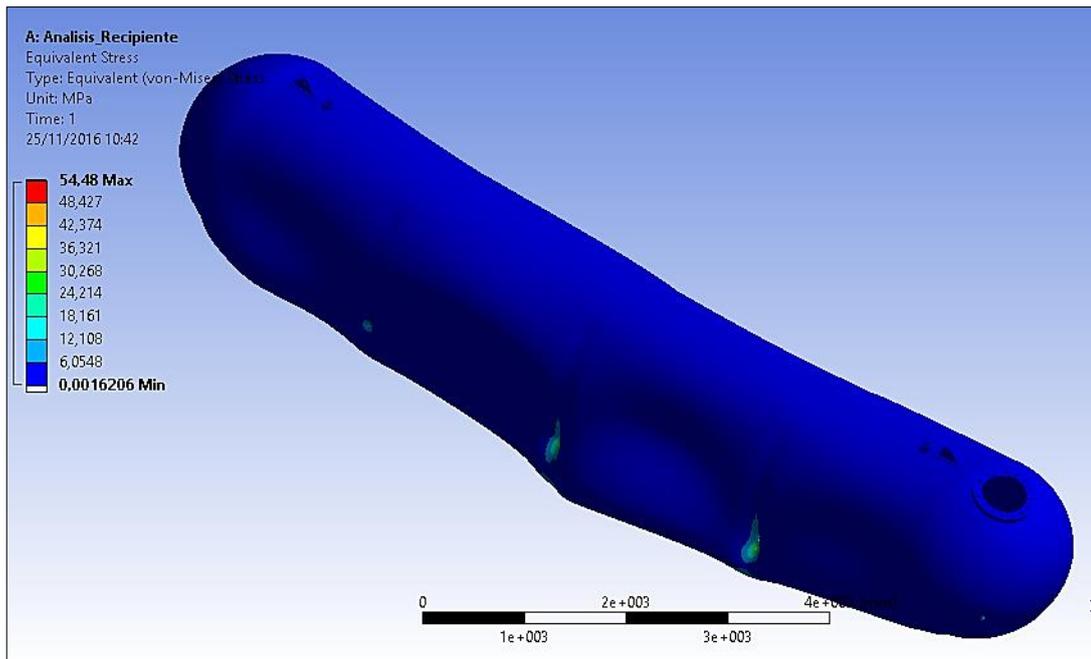


Figura 7-44. Análisis de esfuerzos del recipiente
Fuente. Autor

El esfuerzo máximo generado es de 54,48 MPa (7901,6 psi)..

- *Análisis de Deformación.*

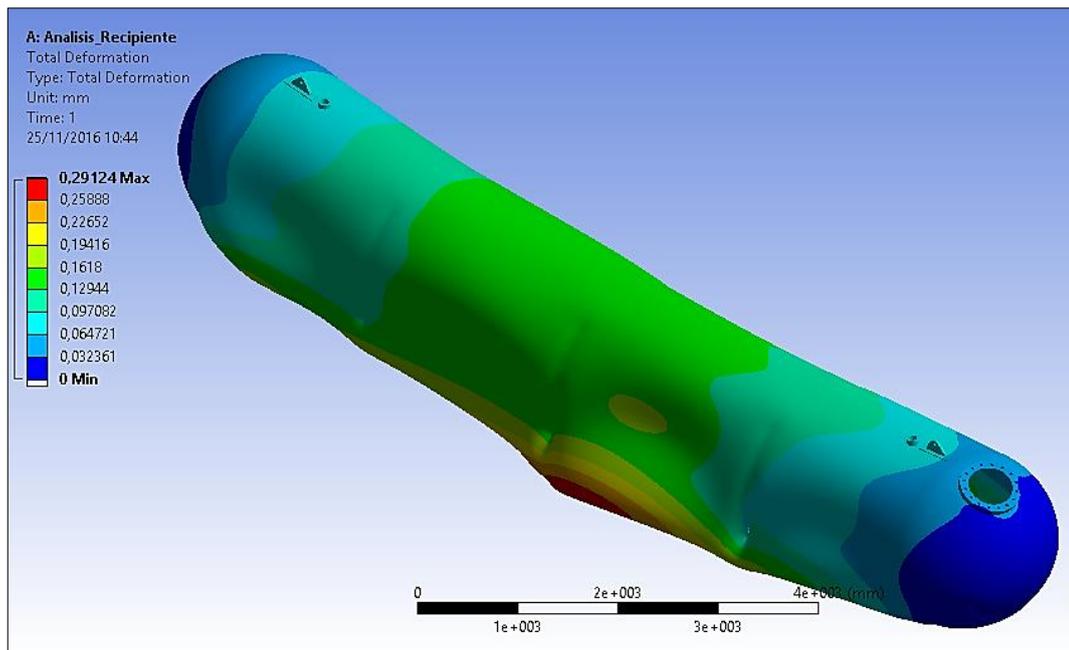


Figura 7-45. Análisis de deformación del recipiente
Fuente. Autor

La deformación máxima generada es de 0,291 mm (0,01 in).

- **Análisis de Factor de seguridad.**

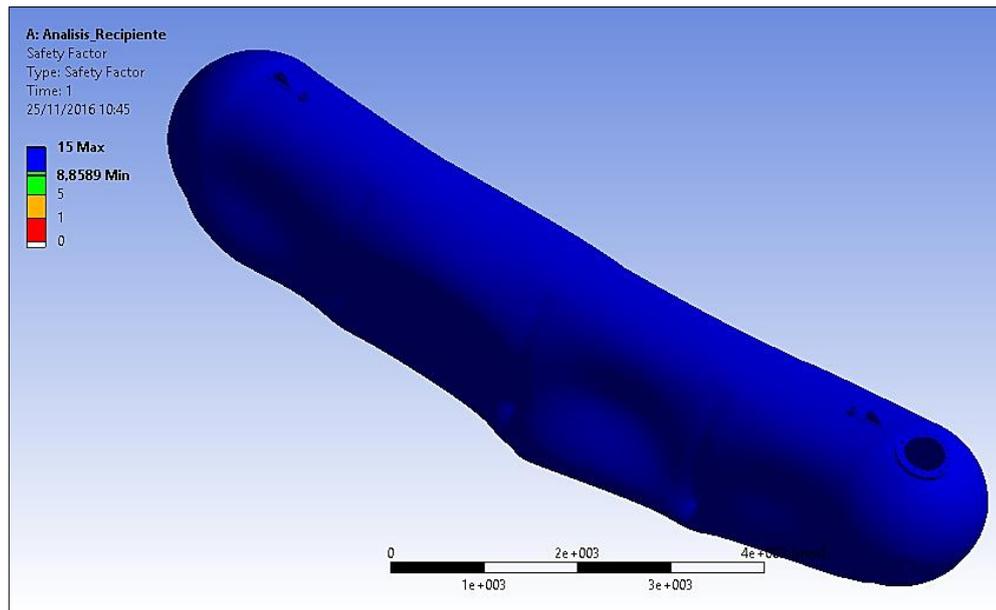


Figura 7-46. Análisis de factor de seguridad del recipiente
Fuente. Autor

El factor de seguridad 8,85.

7.7. Análisis de bocas y Caps en ANSYS WORKBENCH.

Se realiza el análisis de una boca y de un cap, y al final de este se detalla un resumen del análisis.

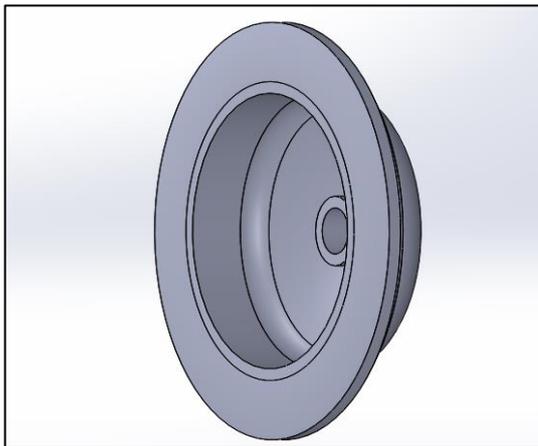


Figura 7-47. Cap 2
Fuente. Autor

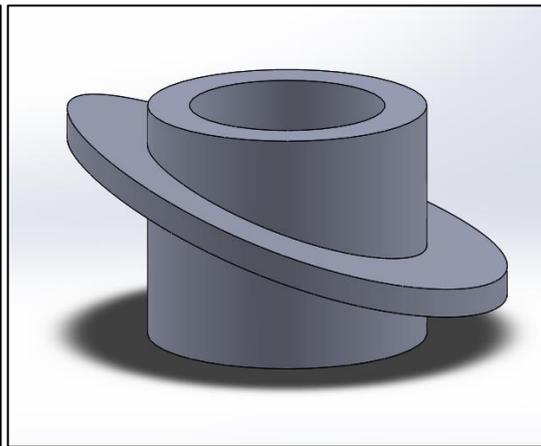


Figura 7-48. Boca 1
Fuente. Autor

Para el análisis y simulación de las bocas y caps se toma en cuenta únicamente la presión de diseño:

- Presión de diseño = 1,72 Mpa (250 Psi)

7.7.1. Boca 1

- Mallado

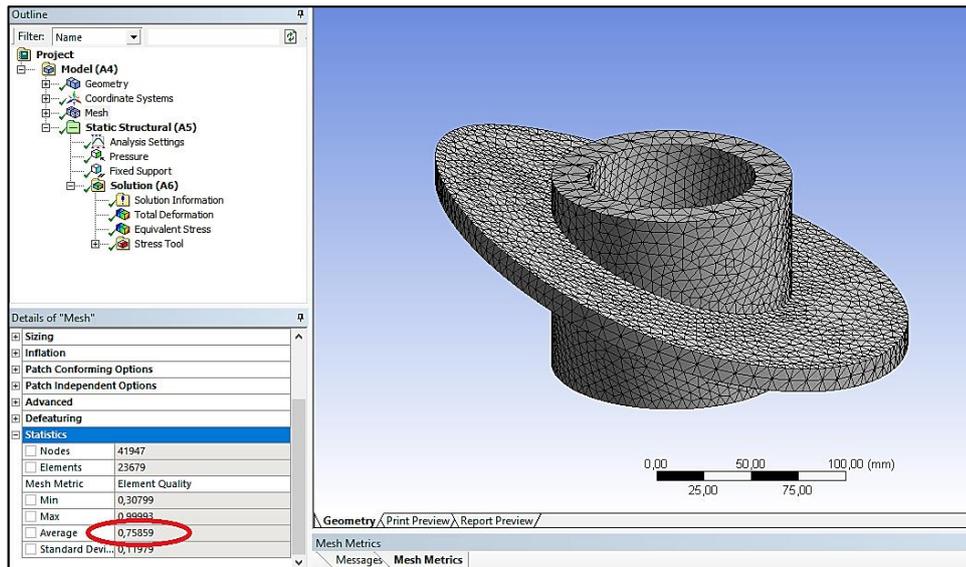


Figura 7-49. Valor promedio de la Boca 1

Fuente. Autor

Se observa en el mallado un valor promedio de 0,76, el cual nos da confiabilidad en la convergencia de resultados.

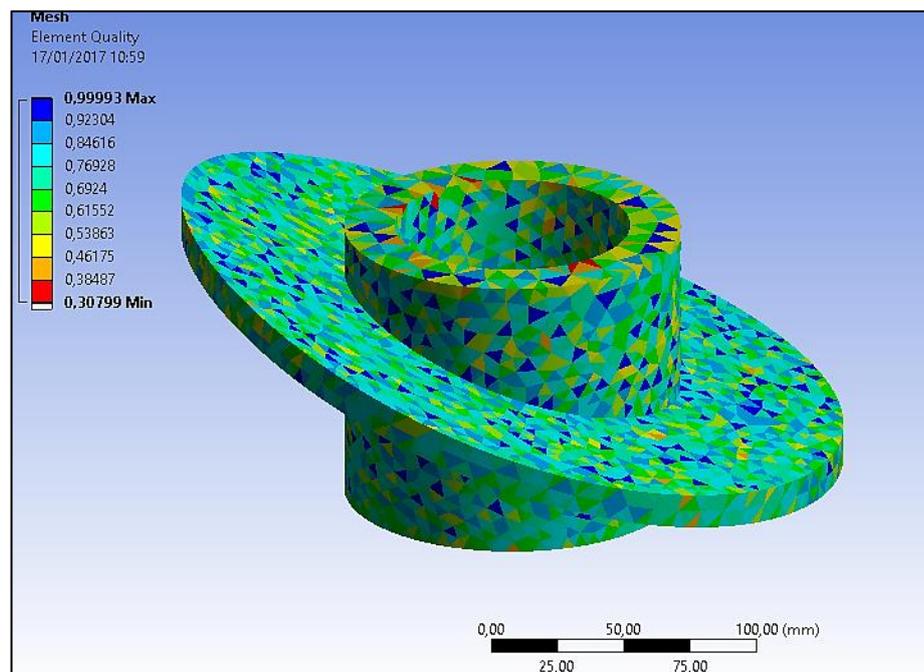


Figura 7-50. Malla - Element quality de la Boca 1

Fuente. Autor

Además se observa la calidad de mallado de una manera interactiva en una escala de colores.

- *Aplicación de cargas y soportes.*

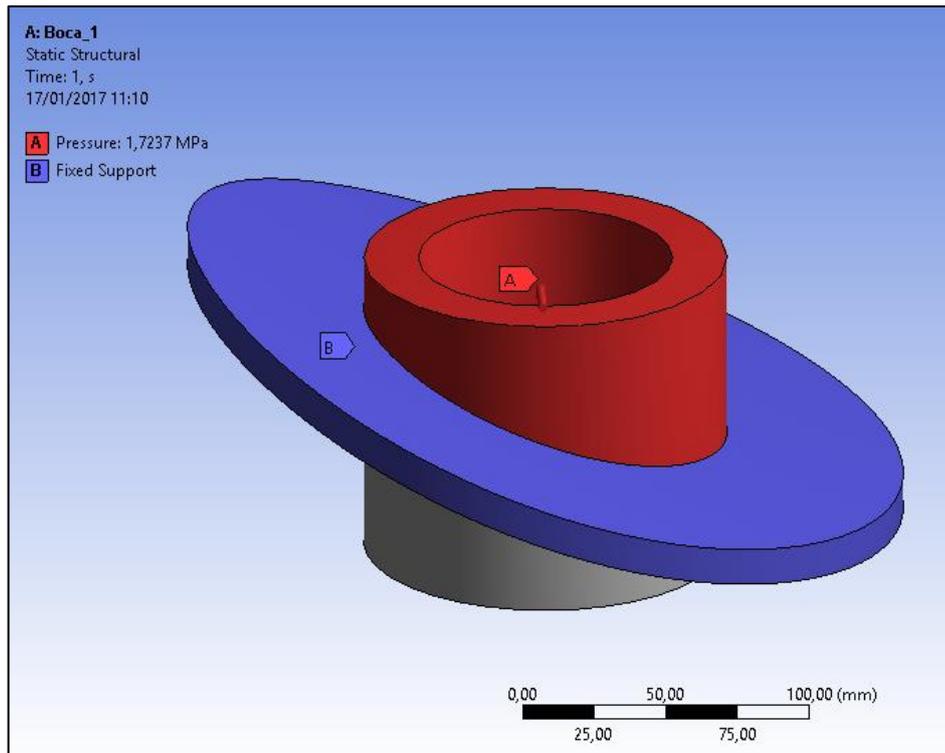


Figura 7-51. Aplicación de cargas y soportes de la Boca 1
Fuente. Autor

- *Análisis de esfuerzos.*

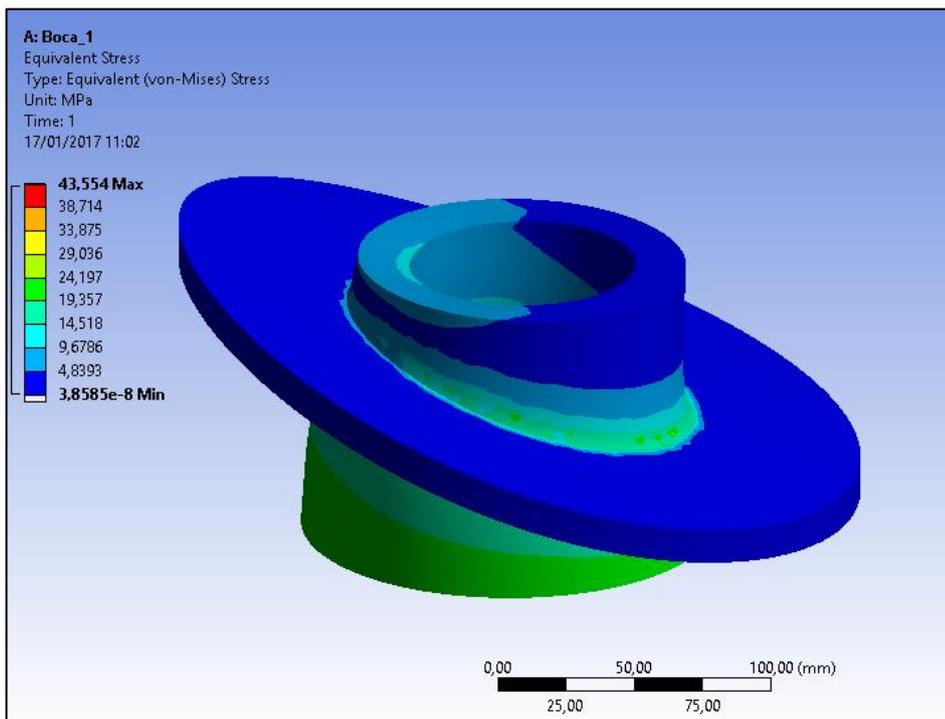


Figura 7-52. Análisis de esfuerzos de la Boca 1
Fuente. Autor

El esfuerzo máximo generado es de 43,554 MPa (6316,9 psi).

- *Análisis de deformación.*

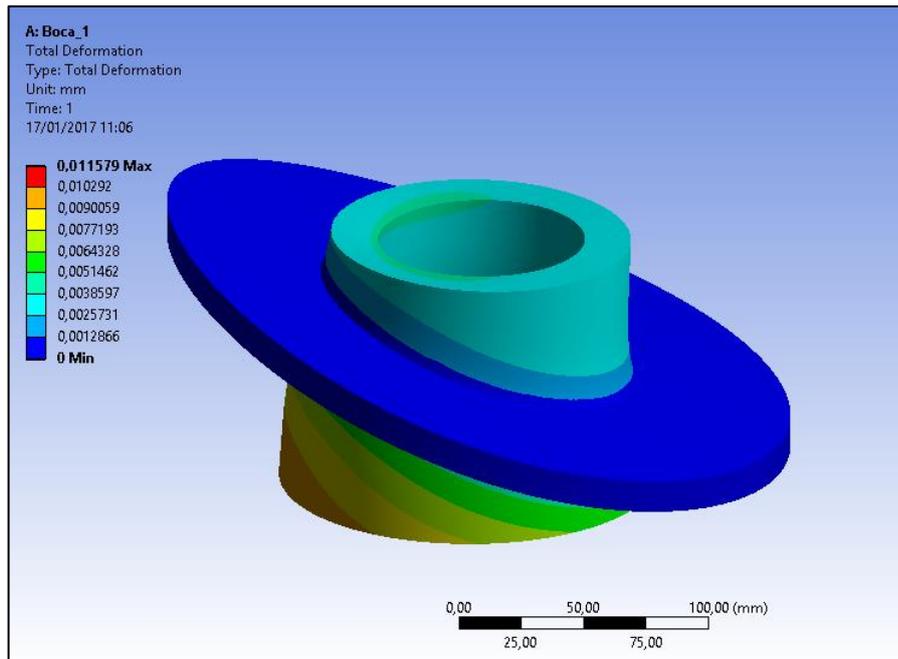


Figura 7-53. Análisis de deformación de la Boca 1
Fuente. Autor

La deformación máxima generada es de 0,01 mm (0,004 in).

- *Análisis de Factor de seguridad.*

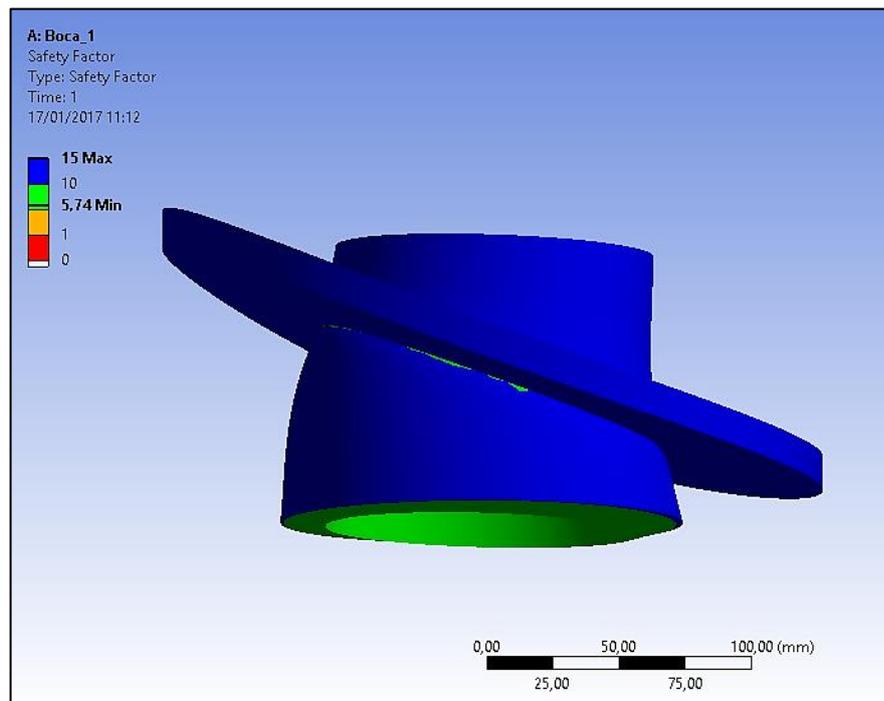


Figura 7-54. Análisis de factor de seguridad de la Boca 1
Fuente. Autor

El factor de seguridad es de 5,74.

7.7.2. CAP 2

- Mallado

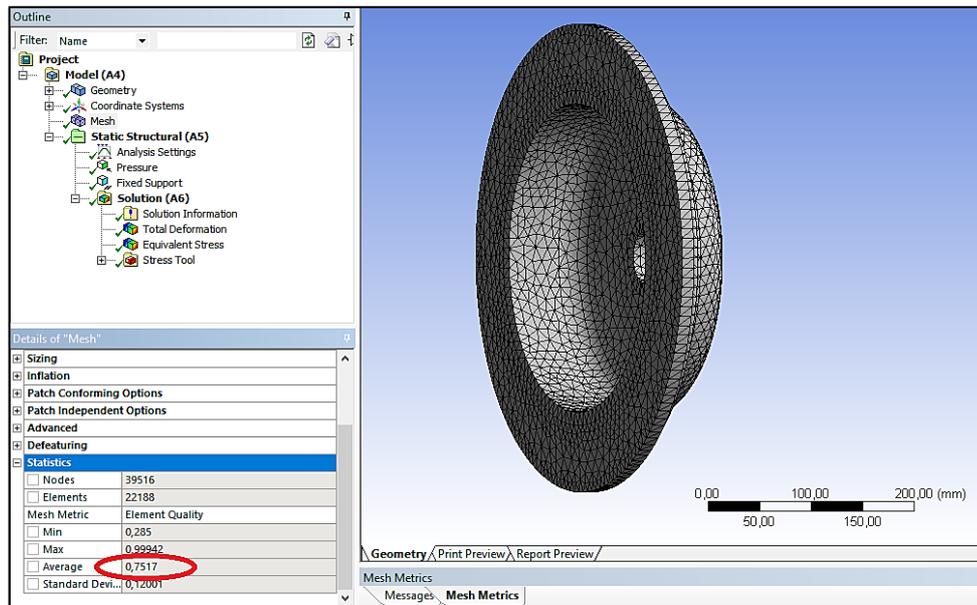


Figura 7-55. Valor promedio del Cap 2

Fuente. Autor

Se observa en el mallado un valor promedio de 0,75, el cual nos da confiabilidad en la convergencia de resultados.

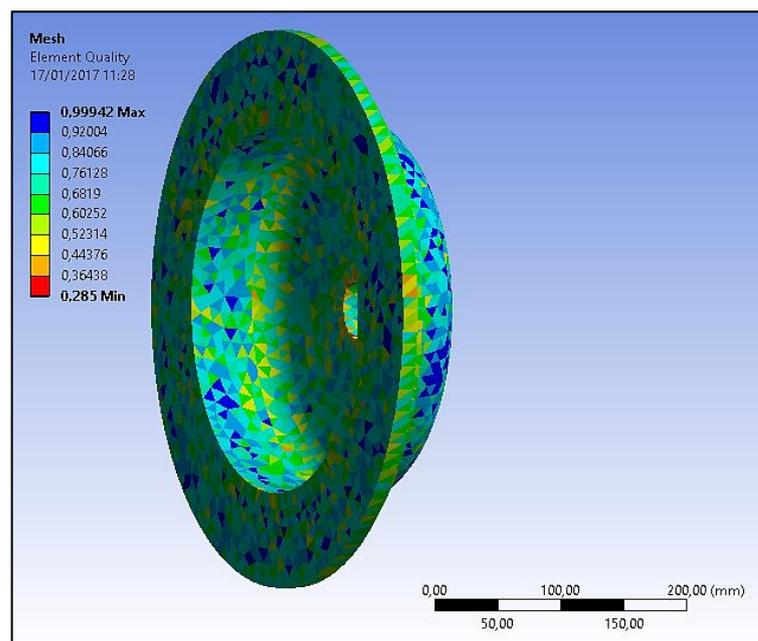


Figura 7-56. Malla - Element quality del Cap 2

Fuente. Autor

Además se observa la calidad de mallado de una manera interactiva en una escala de colores.

- *Aplicación de cargas y soportes.*

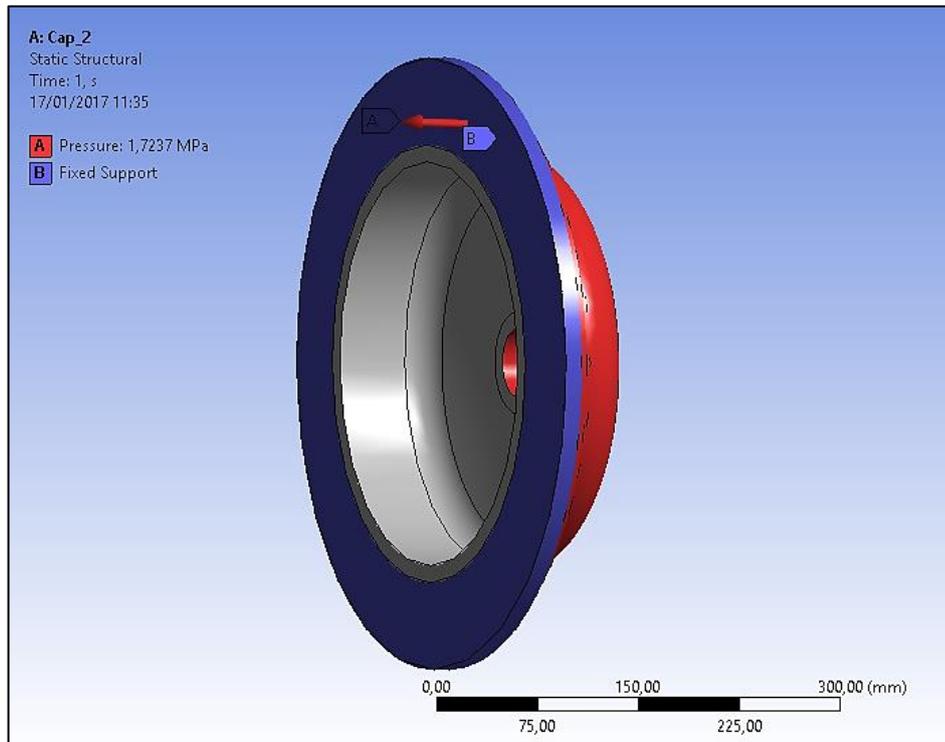


Figura 7-57. Aplicación de cargas y soportes del Cap 2
Fuente. Autor

- *Análisis de esfuerzos.*

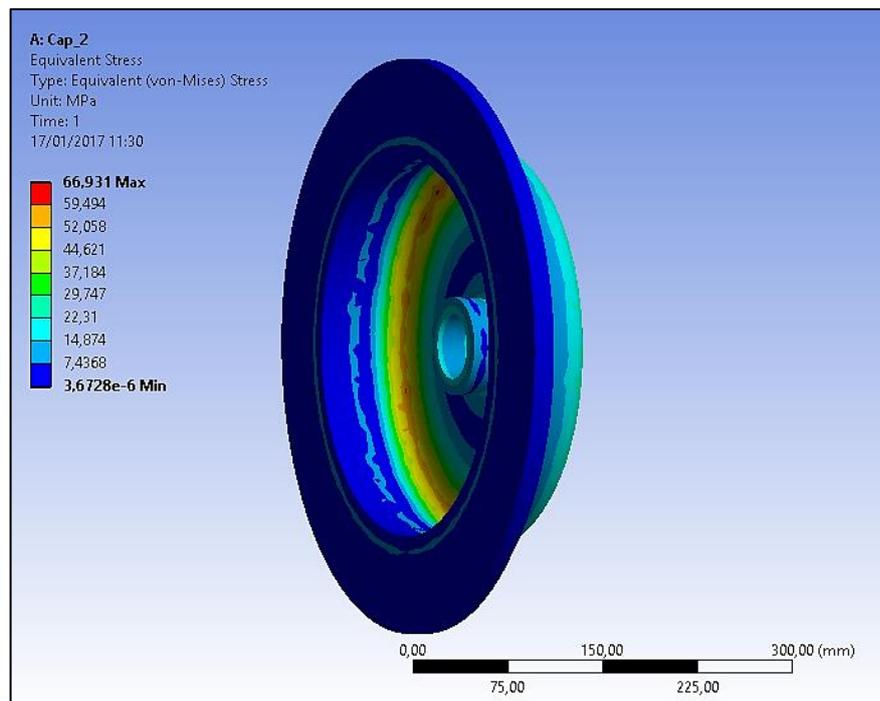


Figura 7-58. Análisis de esfuerzos del Cap 2
Fuente. Autor

El esfuerzo máximo generado es de 66,93 MPa (9707,4 psi).

- *Análisis de deformación.*

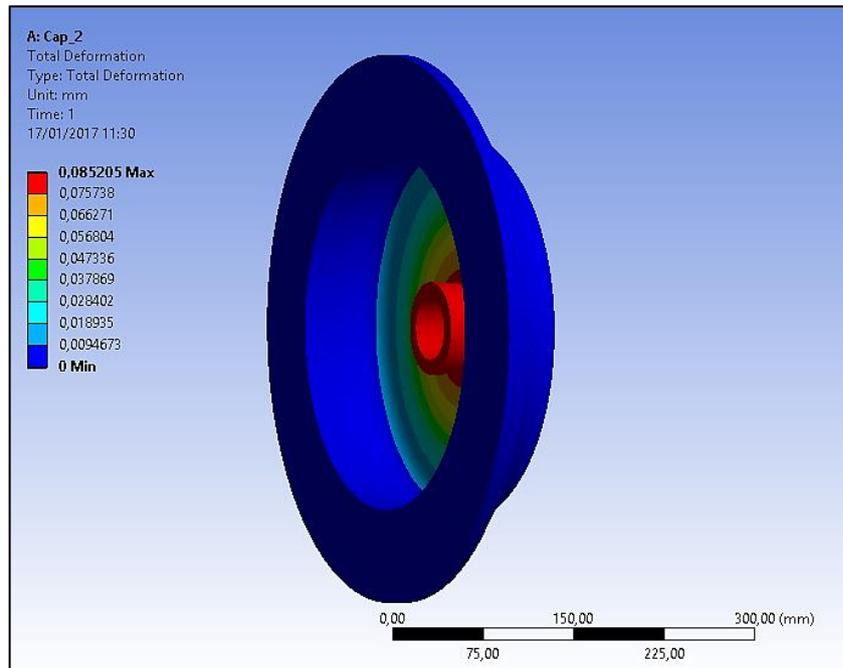


Figura 7-59. Análisis de deformación del Cap 2

Fuente. Autor

La deformación máxima generada es de 0,08 mm (0,003 in).

- *Análisis de Factor de seguridad.*

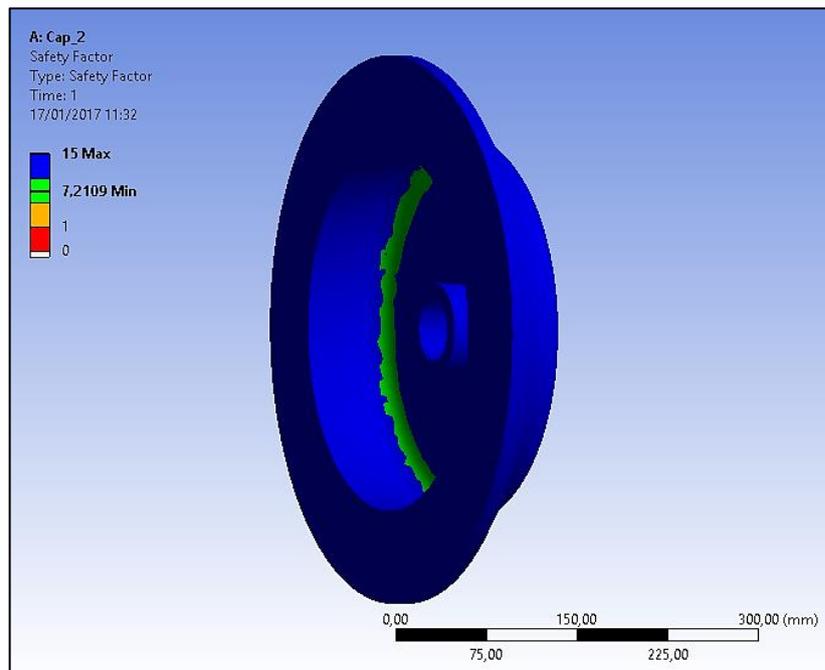


Figura 7-60. Análisis de factor de seguridad del Cap 2

Fuente. Autor

El factor de seguridad es de 7,21.

7.7.3. Resumen de validación de bocas y caps en software CAE.

Tabla 7-1. Resumen de validación de bocas y caps en software CAE

ELEMENTO	MALLADO PROMEDIO	ANÁLISIS DE ESFUERZOS	ANÁLISIS DE DEFORMACIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD
Boca 1	0,76	43,554 MPa 6316,9 Psi	0,010 mm 0,004 in	5,74
Boca 2	0,76	43,554 MPa 6316,9 Psi	0,010 mm 0,004 in	5,74
Boca 3	0,76	84,48 MPa 12252,8 Psi	0,800 mm 0,030 in	5,71
Boca 4	0,75	75,80 MPa 10993,9 Psi	0,030 mm 0,001 in	6,36
Boca 5A/5B	0,75	81,76 MPa 11858,3 Psi	0,020 mm 0,0007 in	5,90
Manhole	0,72	61,02 MPa 8850,2 Psi	0,070 mm 0,002 in	7,90
Cap 1	0,73	72,50 MPa 10515,2 Psi	0,080 mm 0,003 in	8,66
Cap 2	0,75	66,93 MPa 9707,4 Psi	0,080 mm 0,003 in	7,21
Cap 3	0,70	85,83 MPa 12458,6 Psi	0,170 mm 0,010 in	5,62

Realizado por: Autor
Fuente: Autor

7.8. Análisis del bastidor en ANSYS WORKBENCH.

Para este análisis se toma en cuenta la reacción que genera el peso del recipiente y el peso del producto sobre el mismo.

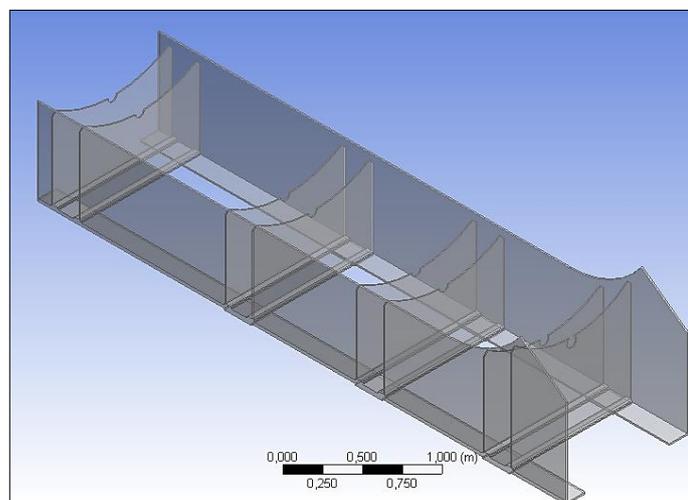


Figura 7-61. Bastidor

Fuente. Autor

Para este análisis se hace necesario montar el recipiente sobre el bastidor para aplicar las cargas de forma correcta.

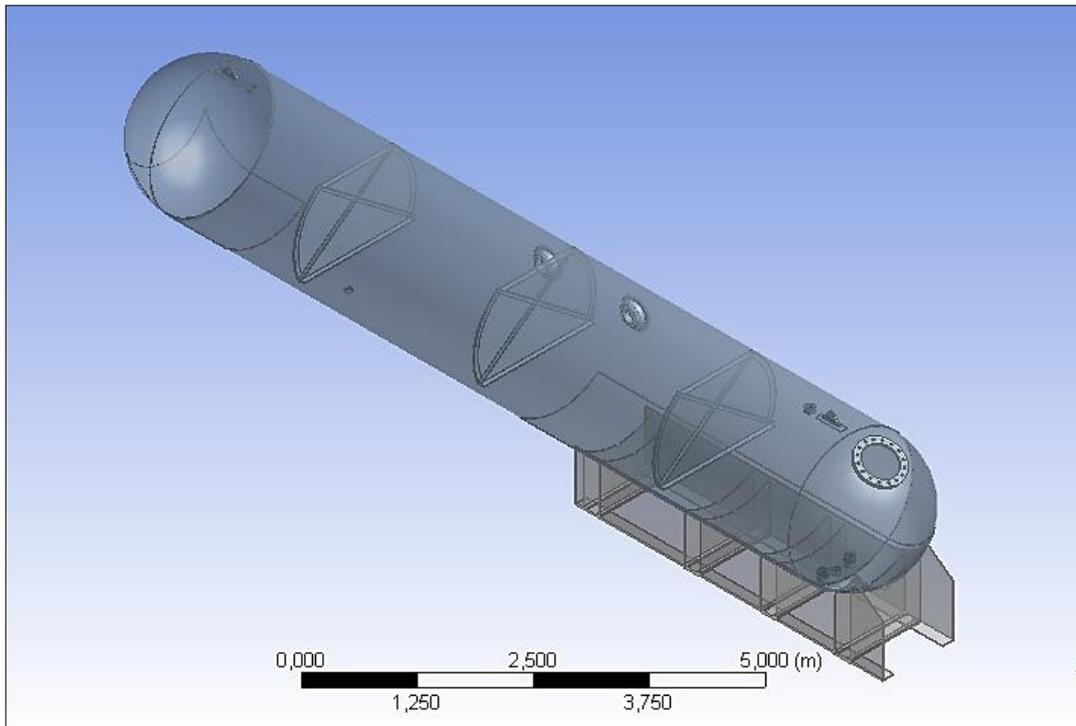


Figura 7-62. Bastidor y recipiente
Fuente. Autor

- **Mallado**

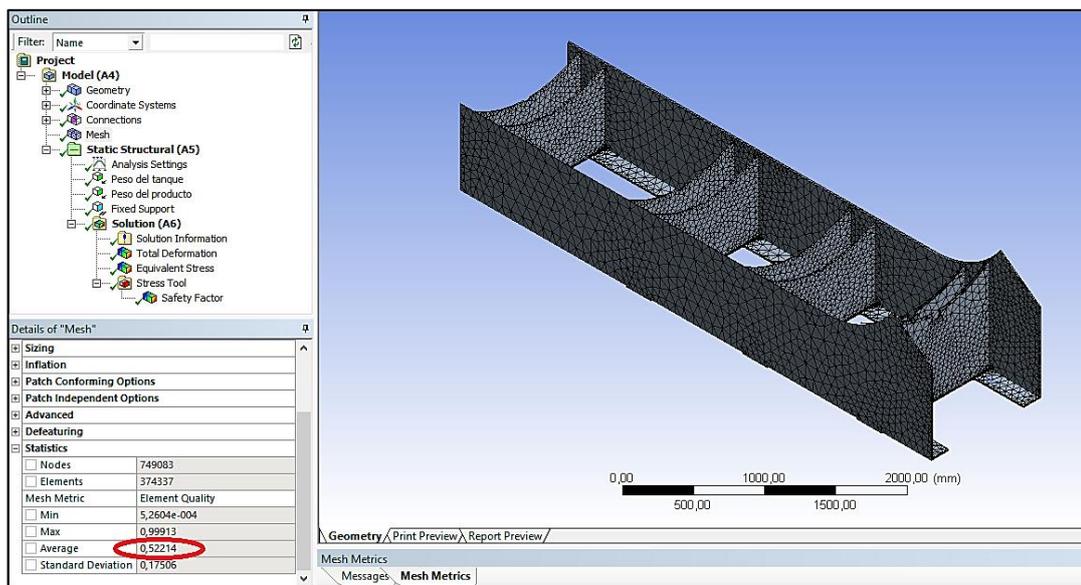


Figura 7-63. Valor promedio de Malla del bastidor
Fuente. Autor

Se observa en el mallado un valor promedio de 0,522, el cual nos da confiabilidad en la convergencia de resultados.

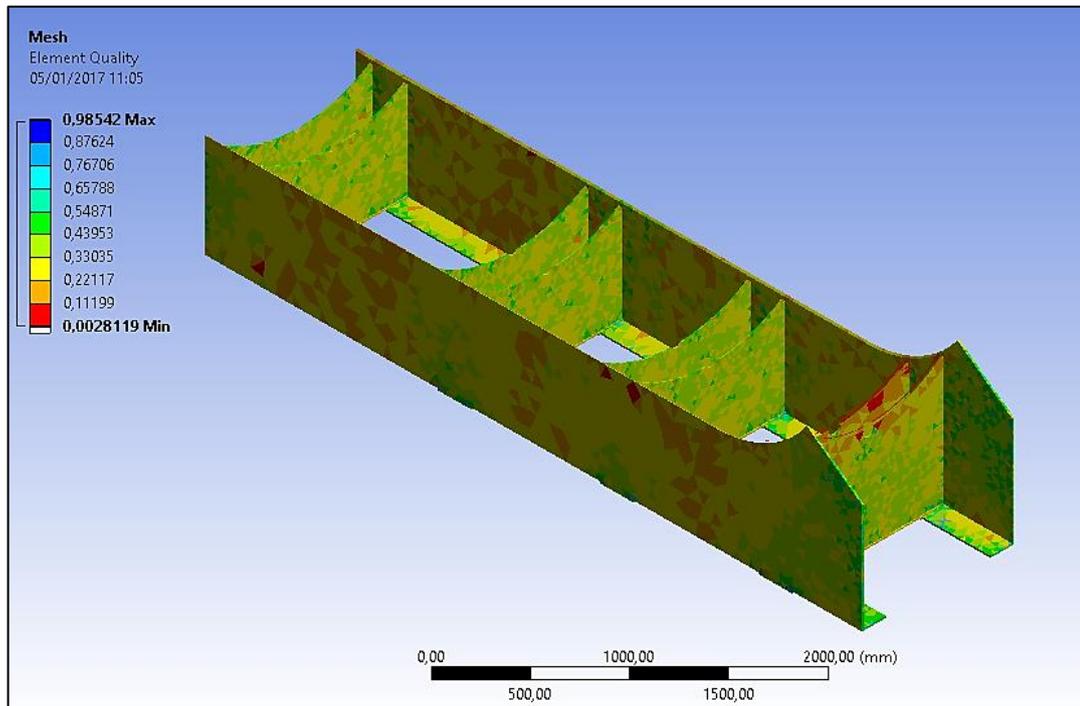


Figura 7-64. Malla - Element quality del bastidor
Fuente. Autor

Además se observa la calidad de mallado de una manera interactiva en una escala de colores.

- *Aplicación de cargas y soportes.*

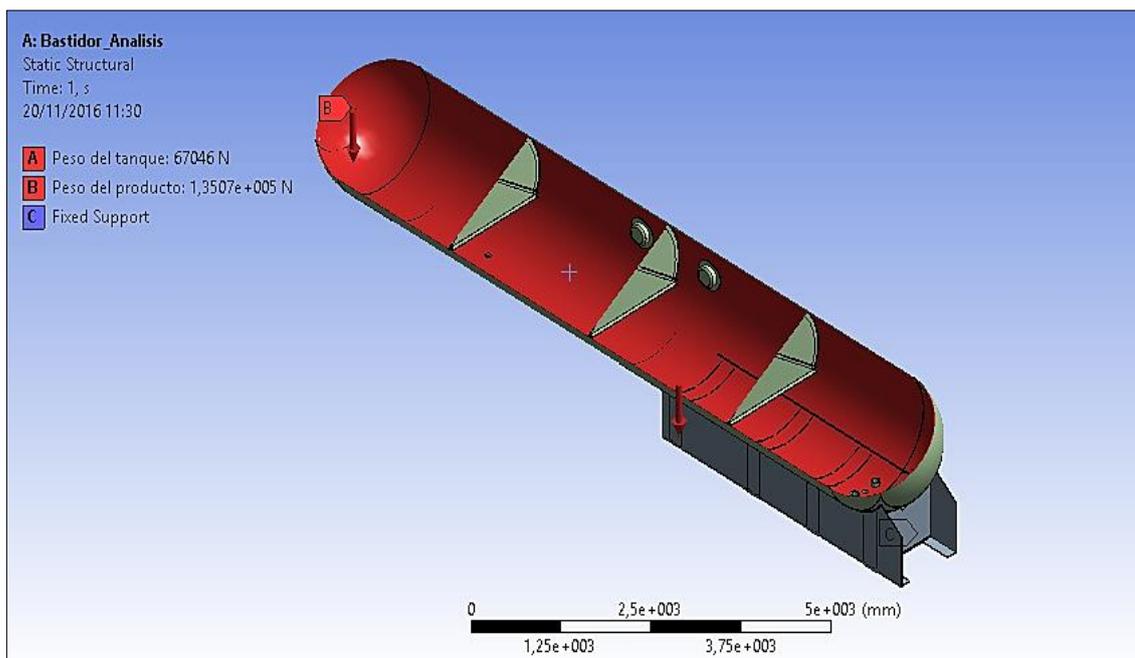


Figura 7-65. Aplicación de cargas y soportes del bastidor
Fuente. Autor

- *Analisis de esfuerzos.*

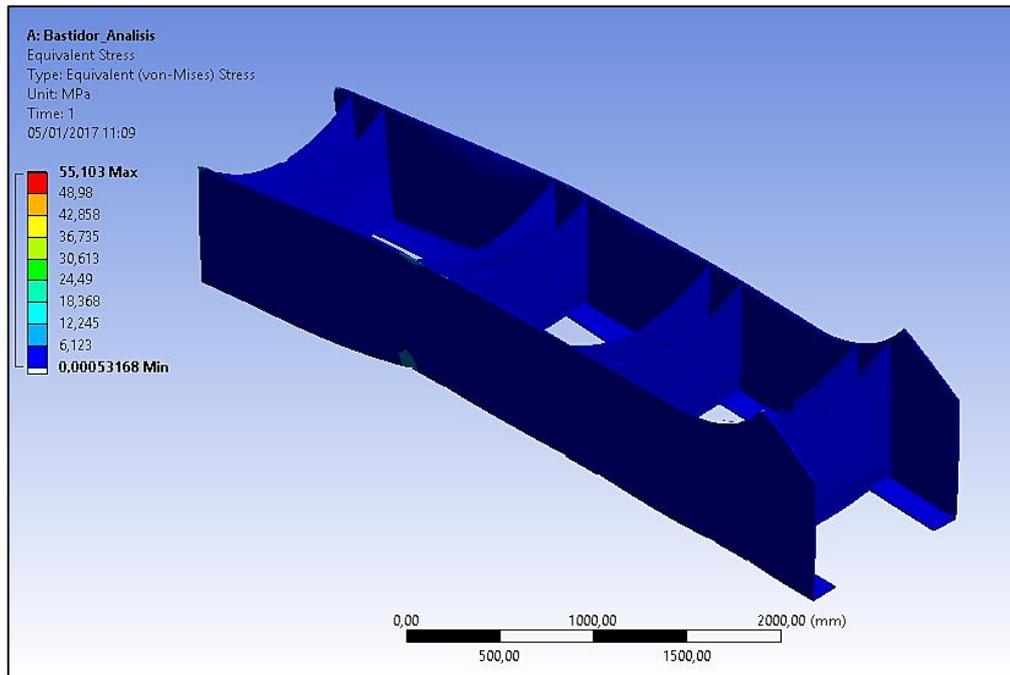


Figura 7-66. Análisis de esfuerzos del bastidor
Fuente. Autor

El esfuerzo máximo generado es de 55,103 MPa (7992 psi).

- *Análisis de Deformación.*

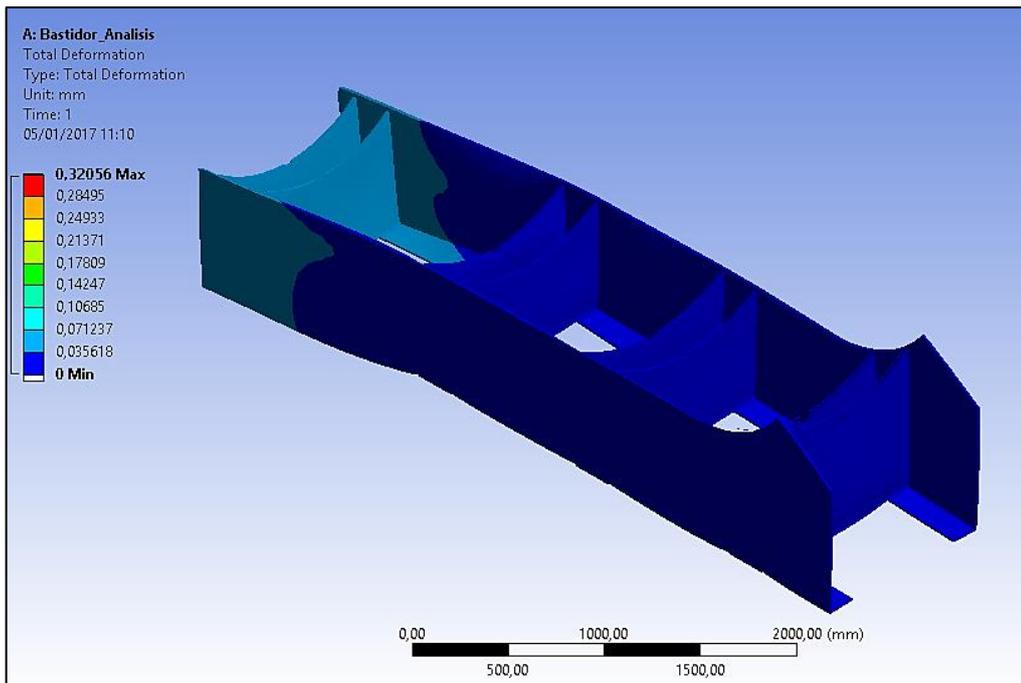


Figura 7-67. Análisis de deformación del bastidor
Fuente. Autor

La deformación máxima generada es de 0,320 mm (0,01 in).

- **Análisis de Factor de seguridad.**

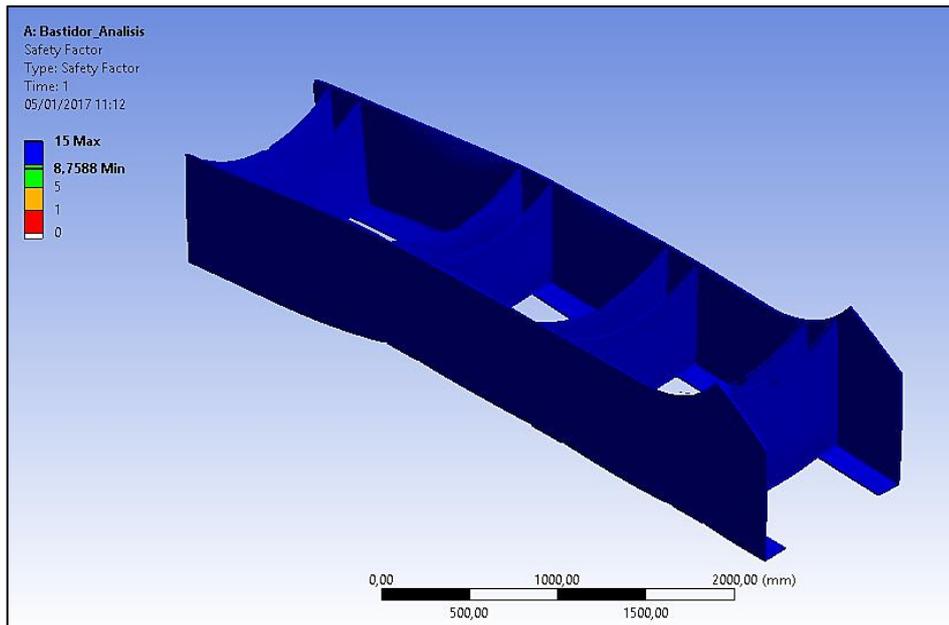


Figura 7-68. Análisis de factor de seguridad del bastidor
Fuente. Autor

El factor de seguridad es de 8,75.

7.9. Análisis de la base del King pin en ANSYS WORKBENCH.

Para el análisis y simulación de la base del King pin se toma en cuenta únicamente la reacción calculada en el King pin:

- Reacción R_{Ay} (King pin) = 130689,56 N

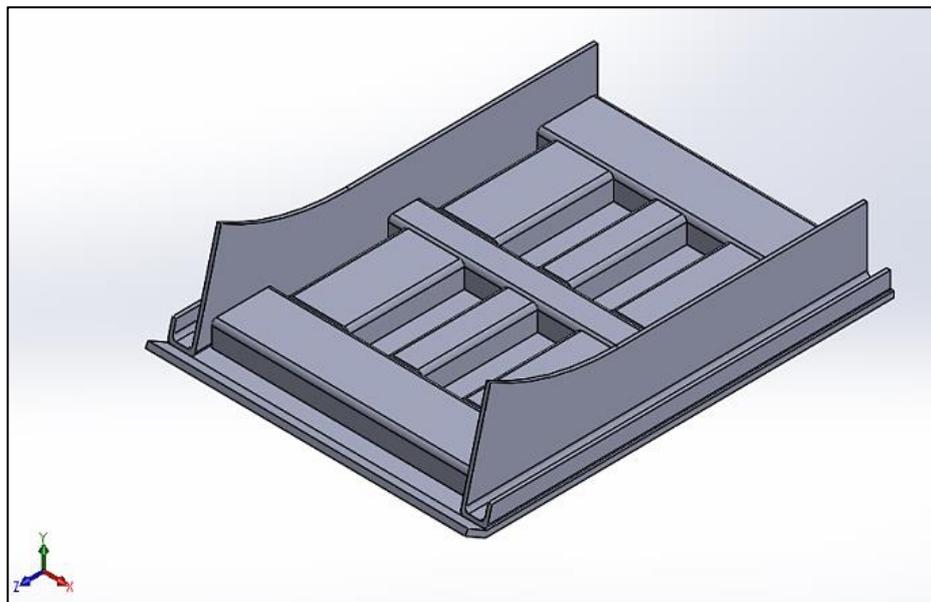


Figura 7-69. Base del King pin
Fuente. Autor

- **Mallado**

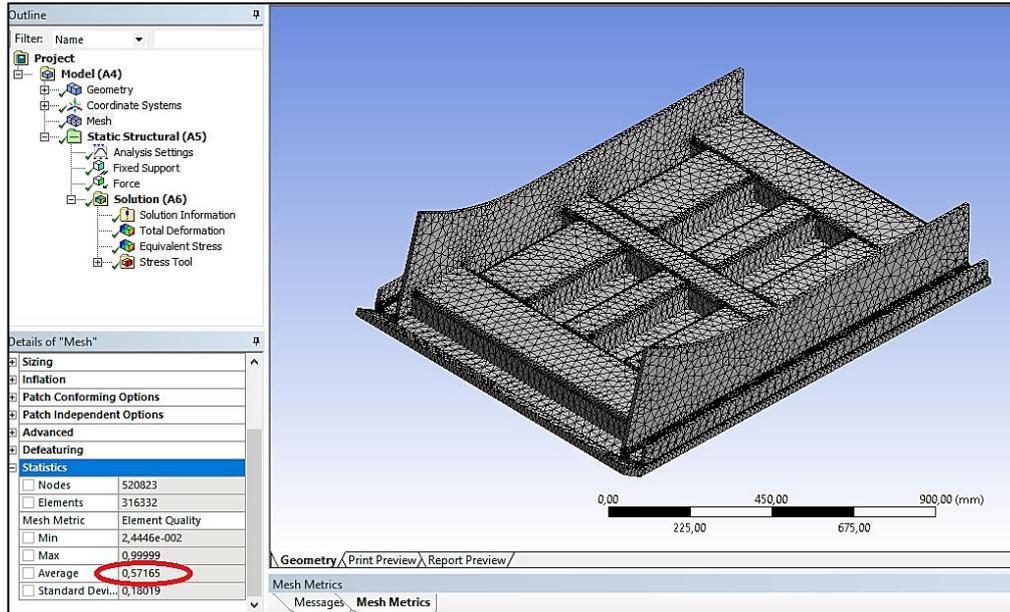


Figura 7-70. Valor promedio de la base del King pin

Fuente. Autor

Se observa en el mallado un valor promedio de 0,57, el cual nos da confiabilidad en la convergencia de resultados.

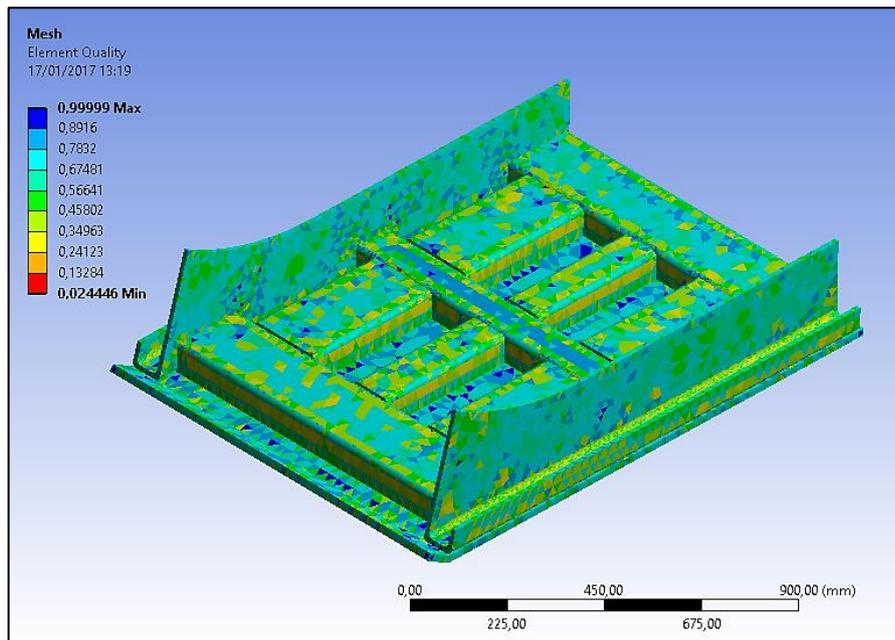


Figura 7-71. Malla - Element quality de la base del King pin

Fuente. Autor

Además se observa la calidad de mallado de una manera interactiva en una escala de colores.

- *Aplicación de cargas y soportes.*

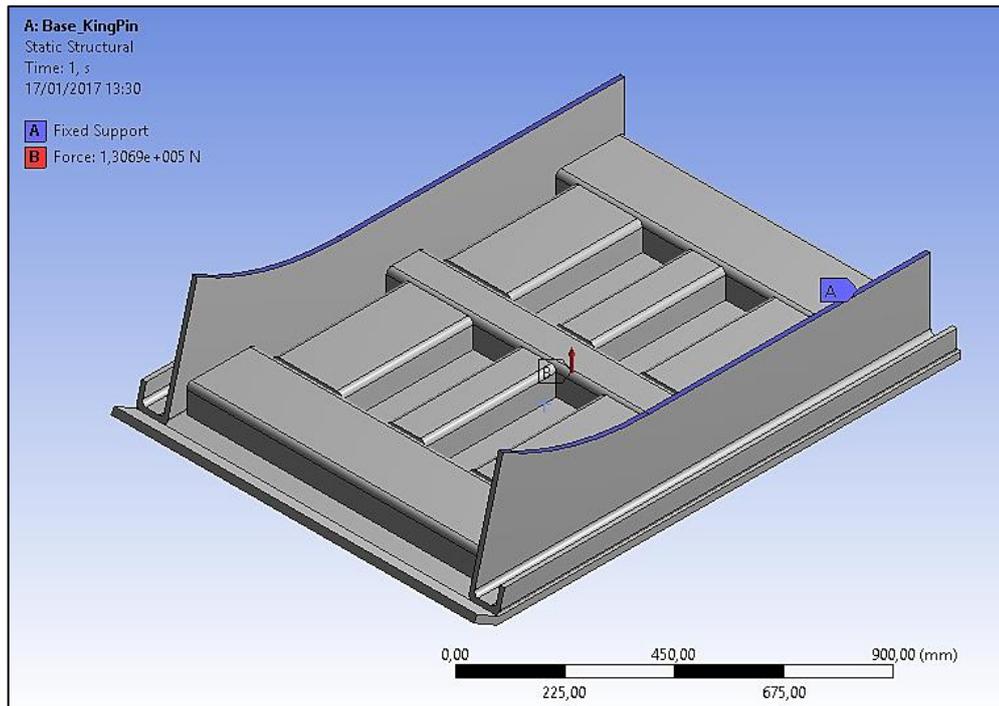


Figura 7-72. Aplicación de cargas y soportes de la base del King pin

Fuente. Autor

- *Análisis de esfuerzos.*

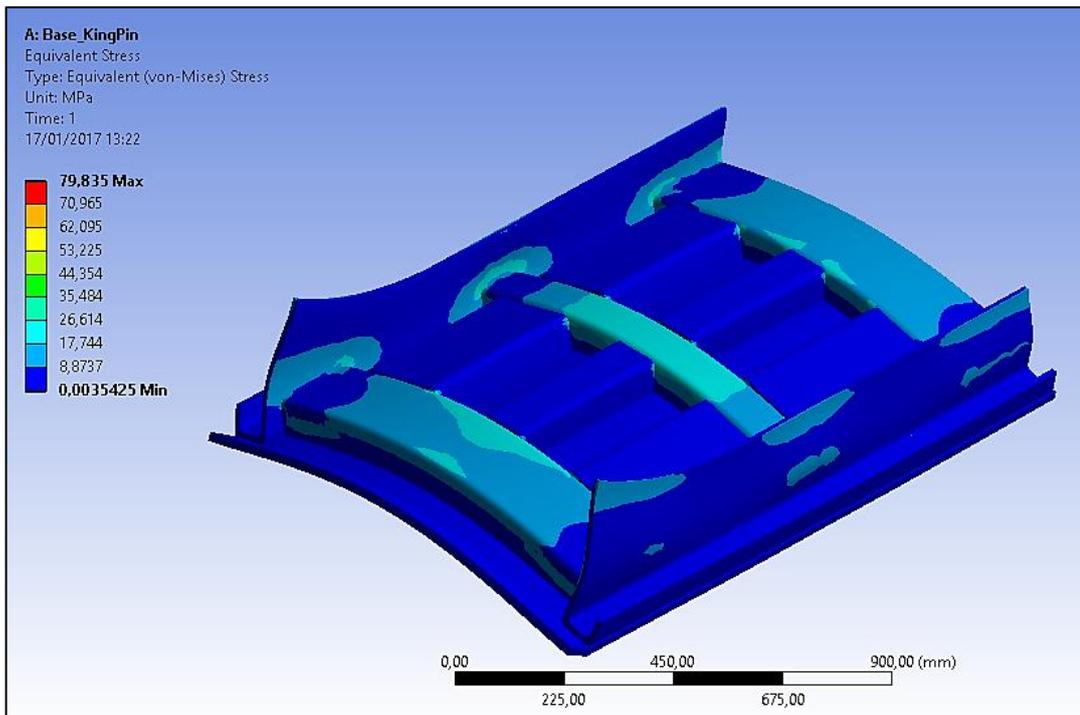


Figura 7-73. Análisis de esfuerzos de la base del King pin

Fuente. Autor

El esfuerzo máximo generado es de 79,83 MPa (11433,3 psi).

- *Análisis de deformación.*

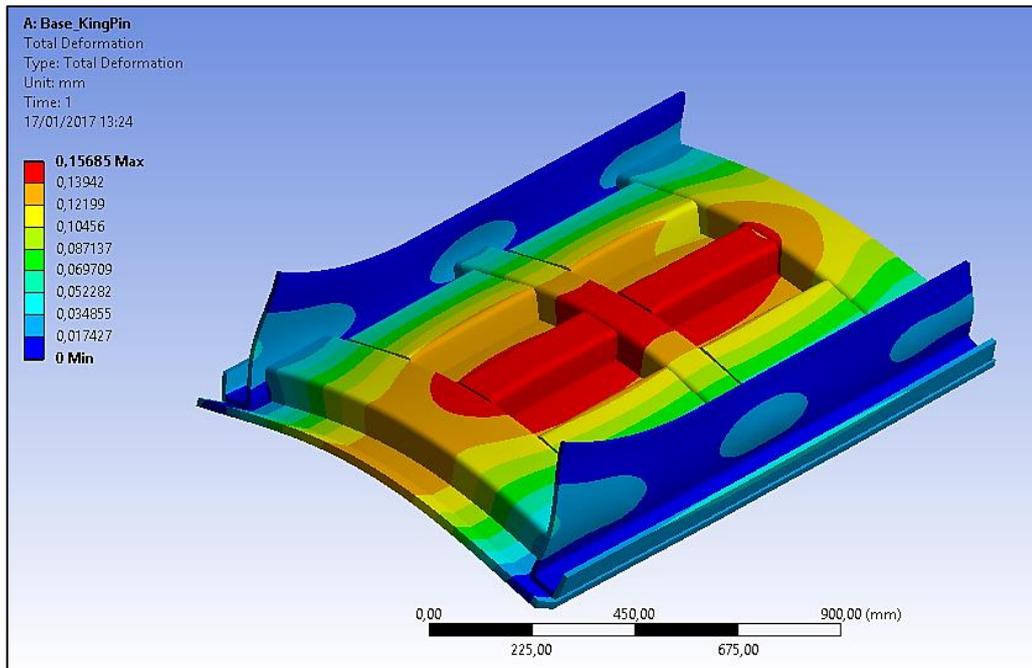


Figura 7-74. Análisis de deformación de la base del King pin
Fuente. Autor

La deformación máxima generada es de 0,15 mm (0,01 in).

- *Análisis de Factor de seguridad.*

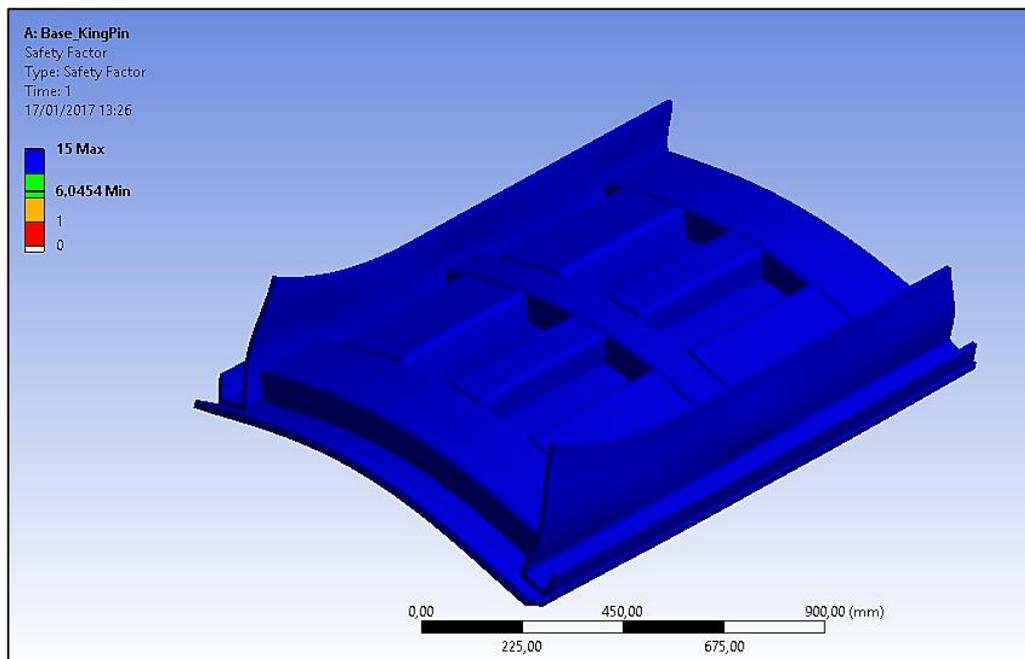


Figura 7-75. Análisis de factor de seguridad de la base del King pin
Fuente. Autor

El factor de seguridad es de 6,04.

7.10. Resumen de la validación en Software CAE.

Tabla 7-2. Resumen De Validación En Software CAE.

RESUMEN DE VALIDACIÓN EN SOFTWARE CAE				
ELEMENTO	MALLADO PROMEDIO	ANÁLISIS DE ESFUERZOS	ANÁLISIS DE DEFORMACIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD
Cabeza semiesférica delantera	0,681	76,05 MPa 11030,5 Psi	0,160 mm 0,01 in	6,346
Cabeza semiesférica posterior	0,643	82,01 MPa 11894,5 Psi	0,180 mm 0,01 in	5,88
Cuerpo cilíndrico	0,511	73,56 MPa 10668,9 Psi	0,500 mm 0,02 in	5,78
Baffle	0,535	35,329 MPa 5124,0 Psi	0,990 mm 0,04 in	7,07
Oreja de izaje	0,577	50,28 MPa 7292,5 Psi	0,027 mm 0,001 in	9,59
Recipiente	0,577	54,48 MPa 7901,6 Psi	0,291 mm 0,01 in	8,85
Bastidor	0,522	55,103 MPa 7992, 0 Psi	0,320 mm 0,01 in	8,75
Base del King pin	0,571	78,83 MPa 11433,3 Psi	0,150 mm 0,01 in	6,04

Realizado por: Autor

Fuente: Autor

CAPITULO VIII

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En este último capítulo del trabajo de titulación, se detallan los resultados alcanzados mediante todo el desarrollo del proyecto, haciendo énfasis en la importancia de cada resultado y la forma en que se llegó a cada uno de ellos.

8.1. Conclusiones.

- Se determinó mediante una revisión bibliográfica los diferentes tipos de autotankes destinados al transporte de fluidos gaseosos, para conocer sus especificaciones de funcionamiento y usarlas como referente para la realización del proyecto. En general los autotankes, indistintamente del fluido a transportar se clasifican según se muestra en la tabla 3-1.

Entonces el autotank diseñado es de las siguientes características: Autotank de recipiente auto-portante, construido en acero, sin compartimentar para transporte de GLP.

- Mediante el uso del CÓDIGO ASME, Sección VIII; División 1, se determinó las dimensiones del recipiente, como longitud, diámetro y espesores del cuerpo cilíndrico y de las cabezas semiesféricas. Para el diseño del bastidor se hizo uso del código AISC para garantizar un correcto diseño. Estos resultados se encuentran resumidos en las tablas 4-18 y 4-19, 5-12.
- Se establecieron los parámetros de funcionamiento tanto para el recipiente como para el bastidor, mediante el uso de las normas ASME Y AISC respectivamente, para ser usados en el desarrollo de cada elemento que constituirá el autotank. Entre los parámetros a tener en cuenta son la presión de diseño, peso del producto (GLP), peso del recipiente, reacciones a generarse en cada punto de apoyo, entre otras. Estos resultados se encuentran en las tablas, 4-9, 4-19, 5-1, 5-2, 5-5.
- Mediante el uso de Softwares CAE, como SOLIDWORKS Y ANSYS WORKBENCH se realizó la validación de los principales elementos del

autotank como son: cabezas semiesféricas, cuerpo cilíndrico, bocas, baffles y bastidor, los cuales son los elementos sometidos a mayores esfuerzos generados en operación. En la tabla 7-1 se presenta un resumen de la validación.

- Se seleccionó accesorios tales como el King pin, patas telescópicas, llantas y sistema de suspensión posterior, adecuadas para cumplir con los requerimientos antes calculados y garantizar su correcto funcionamiento. Esta selección de accesorios se realizó mediante el uso de catálogos. En la tabla 6-9 se presenta de una forma resumida los elementos seleccionados con su respectiva marca y modelo.
- Se realizaron los respectivos planos para el autotank de cabeza semiesférica de 8000 GLS para el transporte de GLP, para ello se hizo uso del diseño realizado durante el desarrollo del proyecto. El propósito de la ingeniería de detalle, es el aporte a la industria nacional mediante el aporte de dichos planos.

8.2. Recomendaciones.

- Durante el desarrollo del proyecto existieron tiempos muertos, ya que la interpretación de las normas no fueron del todo sencillas, a más de eso durante la validación en software CAE existieron varios inconvenientes en cuanto a los recursos computacionales disponibles, por ello se recomienda una optimización de estos recursos a través del mejoramiento y simplificación geométrica del modelado 3D de los elementos a ser validados, o a su vez también se recomienda la adquisición de equipos computacionales de mayor gama.
- Además se recomienda realizar un análisis dinámico con el módulo Ncode de Ansys, ya que dicho análisis no se realizó en el presente trabajo de titulación porque la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo no cuenta con la licencia respectiva para realizarlo.
- Realizar el análisis de transferencia de calor para evaluar posteriormente deformaciones y esfuerzos debido a cargas térmicas.

- Realizar el análisis relacionado con el movimiento del fluido en el interior del recipiente denominado (sloshing), ya que este genera cargas al interior del recipiente que deben ser analizadas con más detalle.
- Realizar el procedimiento de pintura para el autotanque de cabeza semiesférica, 8000 gls para el transporte de GLP, ya que en nuestro proyecto de titulación se muestra una tentativa de dicho procedimiento, cabe recalcar que un recubrimiento superficial como este, se considera como mantenimiento preventivo, ya que garantiza la durabilidad del autotanque.
- Realizar procedimiento de control de calidad en la construcción del autotanque de cabeza semiesférica, 8000 GLS para el transporte de GLP.

BIBLIOGRAFÍA

AHMSA. *Altos Hornos De Mexico. Placa - Aceros para recipientes a presión.* [En línea] 2003. [Consulta: 3 de Septiembre de 2016]. Disponible en: http://www.gan.com.mx/Acero/productos/placa/prod_lamcal_placa_rap.htm.

AISC 360-10. *Especificación para construcciones de acero.* Santiago de Chile: Alacero, 2010.

AISC 360-10. *Steel construction manual.* USA, 2011, Parte B, G, F.

ARCH. *Comercialización de gas licuado de petróleo (glp) en el Ecuador.* [En línea] Quito: Agencia De Regulación y Control Hidrocarburífero (ARCH), Febrero de 2014. [Consulta: 26 de Enero de 2016]. Disponible en: <http://www.scpm.gob.ec/wp-content/uploads/2014/02/2.1-Henry-Alb%C3%A1n-ARCH-Comercializacion-de-GLP-en-el-Ecuador.pdf>.

ASME. *The American Society of Mechanical Engineers.* [En línea] New York: © The American Society of Mechanical Engineers. [Consulta: 10 de Agosto de 2016]. Disponible en: <https://www.asme.org>.

ASME VIII Division 1. *Rules for Construction of Pressure Vessels.* New York , 2010.

BLESA PÈREZ, Miguel. *Cisternas para el transporte de mercancías peligrosas.* [En línea]. España: [Consulta: 10 de Agosto de 2016]. Disponible en: http://bomberiles.com/miquelvalls/_private/MMPP%20_%20M.pdf

CASTILLO, Gustavo. *Propiedades y características del gas licuado de petróleo.* [En línea] Lima : Osinergmin, 2011. [Consulta: 13 de Agosto de 2016]. Disponible en: <https://gnvblog.wordpress.com/2012/02/16/caracteristicas-de-los-gases-licuados-del-petroleo-glp/>

CHANGHUA. *Camión cisterna para GLP.* [En línea]. USA: [Consulta: 15 de Agosto de 2016]. Disponible en: <http://ch-tanker.com/2-1-lng-road-tanker>.

DEL REY MARTIN, Jose Alvaro. *Diseño, cálculo, fabricación y evaluación de la conformidad (marcado CE) de una cisterna destinada al transporte de propano según ADR 2014* [En línea]. (Tesis).(Ingeniería) Universidad Politécnica de Cartagena Cartagena, 2014. [Consulta: 19 de Octubre de 2016]. Disponible en: <http://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/4244/pfc5878.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

DOT 406. *Guidelines for structural evaluation of cargo tanks.* Washington, D.C., 1996.

EKOS. *Sistema de GLP Monteverde-Chorrillo Una megaobra que beneficia a todo el Ecuador.* [En línea] Ecuador : 2014. [Consulta: 13 de Enero de 2016.] Disponible en: <http://www.ekosnegocios.com/revista/pdfTemas/1089.pdf>.

FRATELLI, Maria Graciela. *Diseño de estructuras metálicas, estados límites LRFD.* Caracas, Venezuela : Ediciones Unive, 2003.

GNVBLOG. *Todo sobre el Gas Natural Vehicular.* [blog]. Caracas : antonioperez, 16 de febrero, 2012. [Consulta: 15 de Junio de 2016]. Disponible en: <https://gnvblog.wordpress.com/2012/02/16/caracteristicas-de-los-gases-licuados-del-petroleo-glp/>.

GRUPO INTER-MEX. *Especificación SCT 331 (MC-331).* [En línea] [Consulta: 25 de Julio de 2016]. Disponible en: <http://grupointermex.com.mx/esp/servicios.php>.

HIBBELER, R. C. *Mecanica de Materiales.* Mexico : Pearson Educacion, 2011.

HURTADO, Alejandro. Camion cisterna de GLP (Tesis)(Ingenieria). [En línea] Universidad Politécnica De Madrid, Departamento De Ingeniería Química y Combustibles, Escuela Técnica Superior De Ingenieros De Minas y Energía. Madrid. 2013. [Consulta: 20 de Septiembre de 2016]. Disponible en: http://oa.upm.es/22103/1/PFC_Alejandro_Hurtado_de_Mendoza_Martin.pdf

INDURA. *Manual de sistemas y materiales de soldadura* [En línea]. Colombia, 2007. [Consulta: 29 de Agosto de 2016]. Disponible en: <http://www.indura.cl/Descargar/Manual%20de%20Soldadura%20INDURA?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fcl%2Fbiblioteca%2F00da6ac5e6754e428ecd94f1c78711cb.pdf>

INEN. "Análisis Sectorial". *Infoeconomia.* [En línea], 2012,(Ecuador) Volumen 7, [Consulta: 12 de Enero de 2016]. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Infoeconomia/info7.pdf>

INGEMECÁNICA. *Montaje y Diseño de la 5ª Rueda en una Cabeza Tractora.* [En línea], [Consulta: 12 de Enero de 2016]. Disponible en: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn92.html>.

NTP 356. *Condiciones de seguridad en la carga y descarga de camiones cisterna: líquidos inflamables (I).* Madrid : 1999.

LEON ESTRADA, Juan Manuel. *Diseño y calculo de recipientes a presion.* Mexico : Inglesa, 2001.

MEGYESY, Eugene F. *Pressure Vessel Handbook.* Tulsa, Oklahoma : PV publishing, INC, 2008.

MEGYESY, Eugene F. *Manual de recipientes a presion.* Mexico : Limusa, 1992.

MTOP. *Tabla Nacional De Pesos y Dimensiones.* [En línea].Quito : 2012. [Consulta: 19 de Abril de 2016]. Disponible en: https://www.aduana.gob.ec/archivos/Boletines/tabla_nacional_de_pesos_y_dimensiones.pdf

NTE INEN 2261. *Tanques para gases a baja presión, requisitos e inspección.* Quito : 2015.

OBACO, Franklin & JARAMILLO, Jorge. *Diseño, implementación y evaluación del desempeño de un sistema*[En línea]. Loja : INER, 2013. [Consulta: 05 de Octubre de 2016]. Disponible en: http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/ISEREE_Dise%C3%B1o-

implementaci%C3%B3n-y-evaluaci%C3%B3n-del-desempe%C3%B1o-de-sistema-
termosolar.pdf

OM REMOLQUES. *Especificaciones* [En línea]. Argentina: [Consulta: 08 de Julio de 2016]. Disponible en: <http://www.omremolques.com.ar/0-km-sola-y-brusa/especificaciones/>.

POLING, Bruce E. & PRAUSNITZ, John M. *Properties of Gases and Liquids, Fifth Edition*. New York : McGraw-Hill Education, 2001.

RETOS EN SUPPLY CHAIN. *Finalidad de las normas ISO: ¿para qué sirven?* [En línea] © Retos en Supply Chain, 2014. [Consulta: 16 de Enero de 2016]. Disponible en: <http://retos-operaciones-logistica.eae.es/2014/07/finalidad-de-las-normas-iso-para-que-sirven.htm>

SEI/ASCE 7-02. *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures* (Second Edition). WASHINGTON, D.C.

FAVELA GALLEGOS, Carlos Adrian & FABELA GALLEGOS, Manuel De Jesus. *Selección de materiales para rompeolas de autotanques que transportan combustibles líquidos*[En línea]. Sanfandila Queretaro : Secretaria de comunicaciones y transporte (SCT) - Mexico, 2006. [Consulta: 22 de noviembre de 2016.] Disponible en: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt285.pdf>

TAHNOS. *Fábrica, Exposición Y Ventas*[En línea]. Argentina : 2014 [Consulta: 11 de noviembre de 2016.] Disponible en: <http://www.tahnos.com/home/producto-207.php>.

TEXTOSCIENTIFICOS.COM. *Gas Licuado De Petróleo (GLP)*. [En línea] 2014. [Consulta: 15 de Septiembre de 2016.] Disponible en: <http://www.textoscientificos.com/petroleo/gas-licuado-petroleo>.