

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERÍA PETROLERA



PROYECTO DE GRADO

**“DISEÑO DE UN TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN PARA
INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE GLP PARA LA
PLANTA ENGARRAFADORA EL PORTILLO TARIJA-BOLIVIA”**

POSTULANTE: ANALÍ VACA VALDEZ

TUTOR: ING. MARCO MONTESINOS MONTESINOS

LA PAZ – BOLIVIA

2022



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL.....	I
CONTENIDO.....	II
INDICE DE FIGURAS.....	VIII
INDICE DE TABLAS.....	XIII
INDICE DE GRÁFICAS	XIV
INDICE DE ECUACIONES.....	XIV
DEDICATORIA	XVI
AGRADECIMIENTOS.....	XVII
RESUMEN EJECUTIVO.....	XVIII

CONTENIDO

1	Capítulo I Generalidades del Proyecto.....	1
1.1	Introducción.....	1
1.2	Antecedentes	2
1.3	Planteamiento del problema.....	3
1.3.1	Identificación del problema.....	3
1.4	Formulación del Problema.....	5
1.5	Objetivos.....	5
1.5.1	Objetivo General.....	5
1.5.2	Objetivos Específicos	5
1.6	Justificación.....	6
1.6.1	Justificación técnica.....	6
1.6.2	Justificación económica.....	6
1.6.3	Justificación social.....	7

1.7	Alcance.....	8
1.7.1	Alcance geográfico	8
1.7.2	Alcance temporal	8
2	Capítulo II Fundamentación Teórica.....	9
2.1	Almacenaje de hidrocarburos	9
2.1.1	Tanques de almacenaje	9
2.1.2	Tanques a presión	10
2.1.2.1	Clasificación de tanques a presión	10
1.	Por su uso.....	10
2.	Por su forma.....	11
2.1.2.2	Partes de un tanque horizontal a presión	13
2.1.2.3	Accesorios y conexiones de un tanque de almacenamiento de GLP	19
2.2	Planta de engarrafado de GLP	20
2.2.1	Planta engarrafadora Tarija.....	21
2.2.1.1	Abastecimiento	25
2.2.1.2	Poliducto Villamontes Tarija PVT.....	26
2.2.1.3	Capacidad de almacenamiento	27
2.3	Seguridad Industrial del almacenaje de GLP en tanques	29
2.3.1	Protección contra la corrosión	29
2.3.2	Protección contra el fuego.....	30
2.4	Gas Licuado de Petróleo (GLP).....	36
2.4.1	Obtención del GLP	36
2.4.1.1	Localización de Plantas de GLP y Refinerías en Bolivia	40
2.4.2	Propiedades del GLP.....	40
2.4.2.1	Calidad establecida del GLP.....	42

(*) Valor que incluye de azufre del odorante	42
2.4.3 Características del GLP.....	43
2.4.4 Distribución de GLP en Bolivia	44
2.5 Estándares Normativos.....	45
2.5.1 Nacionales	45
2.5.1.1 Decreto Supremo N° 24721	45
2.5.2 Internacionales.....	50
2.5.2.1 ASME BVPC.....	50
3 CAPÍTULO III CONSIDERACIONES DE DISEÑO	55
3.1 Material.....	55
3.1.1 Tipos de Materiales	55
3.1.2 Factores a considerar para la selección del material	56
3.1.3 Placas de acero	58
3.1.4 Selección de material	59
3.2 Cargas	62
3.3 Esfuerzos.....	63
3.3.1 Esfuerzo circunferencial	63
3.3.2 Esfuerzo longitudinal	64
3.3.3 Esfuerzo cortante tangencial.....	65
3.3.4 Máximo esfuerzo admisible	65
3.4 Temperatura de diseño.....	66
3.5 Clasificación de presiones en tanques a presión	68

3.5.1	Presión de operación (P_o).....	68
3.5.2	Presión de diseño (P).....	68
3.5.3	Presión de trabajo máxima permitida MAWP	69
3.6	Corrosión.....	69
3.7	Soldadura.....	70
3.7.1	Eficiencia de juntas.....	72
3.7.2	Categoría de juntas.....	72
3.7.3	Tipos de juntas.....	74
3.7.4	Eficiencia de juntas en el cuerpo.....	76
3.7.5	Eficiencia de juntas en el cabezal.....	77
3.8	Necesidades del usuario.....	77
4	Capítulo IV Aplicación Práctica-Diseño de tanque a presión para almacenar GLP	79
4.1	Cálculo del espesor de los cabezales a presión interna.....	79
4.2	Cálculo de altura de la faldilla del cuerpo del cilindro.....	80
4.3	Cálculo del espesor del cuerpo cilíndrico por presión interna.....	82
4.4	Diseño del espesor a presión externa (vacío).....	85
4.5	Cálculo de las silletas.....	89
4.5.1	Dimensiones de las silletas o soportes.....	90
4.5.2	Ubicación de las silletas.....	92
4.5.3	Cálculo del peso total del tanque.....	93
4.5.4	Análisis de esfuerzos.....	95

4.5.4.1	Esfuerzos longitudinales por la flexión	96
4.5.4.2	Esfuerzo cortante tangencial.....	104
4.5.4.3	Esfuerzos circunferenciales	107
4.6	Cálculo de las orejas de izaje	110
4.6.1	Dimensiones de las orejas de izaje.....	110
4.7	Aberturas y boquillas.....	112
4.7.1	Tamaño de las aberturas.....	113
4.7.2	Accesorios y conexiones	114
4.8	Diseño final en SolidWorks	118
4.9	Ubicación del tanque.....	119
4.10	Modificaciones en la planta por efecto de la ampliación	123
4.10.1	Ampliación de las líneas.....	123
4.10.2	Instalación de las gradas.....	124
4.10.3	Hormigonado del área verde.....	125
4.11	Medidas de Seguridad Industrial aplicadas al proyecto	125
5	Capítulo V Estimación de costos	127
5.1	Costos de material y fabricación.....	127
5.2	Costos de conexión e instalación	129
5.3	Costos totales.....	130
5.4	Ingresos.....	130
5.5	Evaluación económica del proyecto	131
5.6	Estimación del tiempo de retorno de la inversión.....	133
5.7	Ventajas y desventajas de las consideraciones del diseño	133

6	Capítulo VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	135
6.1	Conclusiones.....	135
6.2	Recomendaciones	136
7	CAPITULO VII ANEXOS.....	137
8	CAPITULO VIII BIBLIOGRAFIA	140

INDICE DE FIGURAS

Poliducto Villamontes-Tarija	4
Figura 1.1 Balanzas de llenado	7
.....	7
Figura 1.2 Vista aérea de la planta Tarija-Bolivia	8
Figura 2.1 Tanque horizontal.....	11
Figura 2.2 Tanques a presión verticales	12
Figura 2.3 Tanque a presión esférico.....	13
Figura 2.4 Partes de un tanque horizontal	13
Figura 2.5 Cabezal elipsoidal	14
Figura 2.6 Cabezal toriesférico.....	15
Figura 2.7 Cabezal semiesférico	15
Figura 2.8 Cabezal cónico	16
Figura 2.9 Cabezal toricónico.....	17
Figura 2.10 Anillos atiesadores	17
Figura 2.11 Silletas de un tanque horizontal.....	18
Figura 2.12 Orejas de izaje en un tanque a presión	18
Figura 2.13 Izaje de un tanque horizontal a presión.....	19
Figura 2.14 Ubicación Planta Tarija	21
Figura 2.15 Vista aérea Planta engarrafadora.....	22
Figura 2.16 Tanques de GLP Planta engarrafadora Tarija Bolivia	22

Figura 2.17 Área de engarrafado	23
Figura 2.18 Llenado de garrafas con GLP	23
Figura 2.19 Despacho de garrafas de GLP Planta	24
Figura 2.20 Área de bombas y compresores	24
Figura 2.21 Despacho de GLP a cisterna	25
Figura 2.22 Poliducto Villamontes—Tarija	25
Figura 2.23 Secuencia de bombeo PVT	27
Figura 2.24 Fase líquida y fase gaseosa de GLP almacenado en un tanque	27
Figura 2.25 Vista frontal del tanque lleno al 5% de su capacidad.....	28
Figura 2.26 Señalética de uso obligatorio de EPP	34
Figura 2.27 Tanque de agua del sistema contra incendios	34
Figura 2.28 Tanque con instalación de sistema de refrigeración contra incendios	35
Figura 2.29 Señalética de velocidad máxima permitida	35
Figura 2.30 Señalética de Prohibido encender fuego.....	35
Figura 2.31 Obtención de GLP a partir del petróleo	37
Figura 2.32 Producción de GLP en refinerías 2006-2016	37
Figura 2.33 Obtención del GLP a partir del Gas Natural	38
Figura 2.34 Producción de GLP por tratamiento de gas natural 2006-2017.....	39
Figura 2.35 Obtención del GLP	39
Figura 2.36 Plantas de producción de GLP en Bolivia	40
Figura 2.37 Transporte de GLP en Bolivia.....	44

Figura 2.38 Proceso de distribución de GLP	45
Figura 3.1 Esfuerzo circunferencial	64
Figura 3.2 Esfuerzo longitudinal	64
Figura 3.3 Máximo esfuerzo permisible para cada material	65
Figura 3.4 Máximo esfuerzo permisible para cada material	66
Figura 3.5 Categoría de juntas	73
Figura 3.6 Tipos de juntas soldadas	74
Figura 3.7 Juntas longitudinales y circunferenciales	76
Figura 4.1 Variables de un cabezal semiesférico	79
Figura 4.2 Faldilla de un cabezal semiesférico	81
Figura 4.3 Longitud del cuerpo de un tanque horizontal	85
Figura 4.4 Dimensiones de silletas para tanques de 24" a 144" Ø	90
Figura 4.5 Características y dimensiones de soportes para tanques horizontales de 24" a 144" Ø	91
Figura 4.6 Ubicación de las silletas del tanque horizontal	92
Figura 4.7 Tanque horizontal a presión con anillos de refuerzos ubicados en los soportes	96
Figura 4.8 Soportes o silletas de un tanque horizontal	104
Figura 4.9 Dimensiones de las orejas de izaje en pulgadas	111
Figura 4.10 Orejas de izaje de un tanque	112
Figura 4.11 Boquilla con placa de refuerzo soldada que se realizara en la unión de boquillas mayores o iguales a 1-1/2"	113

Figura 4.12 Accesorios y conexiones del tanque	115
Figura 4.13 Manómetro marca Winters.....	115
Figura 4.14 Dimensiones manómetro	116
Figura 4.15 Termómetro marca DEWIT	116
Figura 4.16 Dimensiones termómetro.....	117
Figura 4.17 Medidor de nivel marca MAGNATEL.....	117
Figura 4.18 Vista lateral tanque.....	118
Figura 4.19 Modelado de tanque horizontal.....	118
Figura 4.20 Área disponible para la instalación del tanque	119
Figura 4.21 Plano de la Terminal Tarija y la planta de almacenamiento de GLP El Portillo en la actualidad.....	120
Figura 4.22 Plano de la Terminal Tarija y la planta de almacenamiento de GLP con la instalación del nuevo tanque (TK-11).....	121
Figura 4.23 Dimensiones del nuevo tanque.....	122
Figura 4.24 Líneas de conexión actualmente	123
Figura 4.25 Líneas de conexión después de la instalación del nuevo tanque (Tk-11).....	124
Figura 4.26 plataforma con gradas de los tanques.....	124
Figura 4.27 Planta de almacenamiento de GLP Tarija	125
Figura 4.28 Rombo NFPA de GLP.....	125
Figura 4.29 Sistema de refrigeración del tanque de GLP.....	126
Figura 4.30 Hidrantes de la planta engarrafadora Tarija.....	126

Figura 5.1 Coste estimado por tanque	129
Figura 7.1 Válvulas del tanque	137
figura 7.2 Válvulas del tanque	137
Figura 7.3 Accesorios y partes del tanque	138

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.1 Dimensiones del PVT</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 2.2 Propiedades de los productos transportados por el PVT</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 2.3 Capacidad de almacenaje planta engarrafadora Tarija</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 2.4 Clasificación de plantas según la capacidad de almacenamiento.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 2.5 Propiedades del Gas Licuado de Petróleo</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 2.6 Especificaciones técnicas del GLP</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 3.1 Aceros al Carbón de baja aleación.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 3.2 Guía de selección de Material.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 3.3 Eficiencias máximas admisibles de juntas para juntas soldadas.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 4.1 Resumen de las dimensiones calculadas para los cabezales del tanque</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 4.2 Resumen de las dimensiones calculadas para el cuerpo cilíndrico del tanque</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 4.3 Dimensiones de las silletas del tanque.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 4.4 Cálculo del volumen del cuerpo del tanque.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 4.5 Valores de la constante K</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 4.6 Dimensiones de orejas de izaje</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 5.1 Desglose de costes por pieza</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 5.2 Costos de conexión e instalación de tanques</i>	<i>129</i>
<i>Tabla 5.3 Ingresos mensuales de la planta.....</i>	<i>131</i>
<i>Tabla 5.4 Ventajas y desventajas de las consideraciones de diseño.....</i>	<i>133</i>
<i>Tabla 7.1 Tabla resumen de los parámetros calculados en el proyecto</i>	<i>139</i>

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 4.1 Gráfica para determinar el espesor de pared de tanques sujetos a vacío completo.....	86
Gráfica 4.2 VALORES DEL FACTOR A QUE SE USAN EN LAS FORMULAS PARA TANQUES SOMETIDOS A PRESION EXTERNA	87
Gráfica 4.3 VALORES DEL FACTOR B QUE SE EMPLEAN EN LAS FORMULAS PARA TANQUES SUJETOS A PRESION EXTERNA para el material SA 516-70.....	88
Gráfica 4.4 valores de K6	99

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 3.1 Presión de diseño _____	68
Ecuación 4.1 Espesor mínimo requerido de cabezal _____	79
Ecuación 4.2 Espesor de diseño _____	80
Ecuación 4.3 Altura de la faldilla del cabezal _____	81
Ecuación 4.4 Capacidad total del tanque _____	82
Ecuación 4.5 Espesor mínimo requerido del cuerpo cilíndrico del tanque _____	82
Ecuación 4.6 Presión externa del tanque _____	85
Ecuación 4.7 Peso total del tanque lleno de agua _____	94
Ecuación 4.8 Volumen total del tanque _____	94
Ecuación 4.9 Esfuerzo máximo en los soportes del tanque _____	97
Ecuación 4.10 Esfuerzo longitudinal debido a la presión interna _____	100
Ecuación 4.11 Esfuerzo longitudinal en el plano medio del tanque _____	102
Ecuación 4.12 Esfuerzo de corte tangencial _____	106

<i>Ecuación 4.13 Esfuerzo circunferencial en la zona del cuerno del tanque</i>	107
<i>Ecuación 4.14 Esfuerzo circunferencial en la zona de fondo de la silleta</i>	109
<i>Ecuación 5.1 Ecuación del Valor Neto Actual VAN</i>	131
<i>Ecuación 5.2 Tasa Interna de Retorno TIR</i>	132

DEDICATORIA

A mi familia, por su apoyo constante y motivación, por su cariño y paciencia, por creer en mí y por estar conmigo en todo momento.

A mi madre, María Valdez, por acompañarme en este largo proceso de convertirme en ingeniera y a quien le debo todo.

A mi padre, Héctor Vaca, quien me apoyó para cumplir mis sueños.

A mis hermanos, Gonzalo, Anabel y Mauricio Vaca que fueron un pilar muy importante en mi vida y me apoyaron durante toda la vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por llenarme de bendiciones, por brindarme fortaleza, por darme una familia maravillosa que me apoyó siempre.

A mi mamá María Valdez por su apoyo y cariño que nunca faltaron en mi vida.

A mi papá Héctor Vaca, por haberme dado las herramientas para que yo pueda concluir esta hermosa carrera.

A mis hermanos, por apoyarme en todo momento y por ser mi fortaleza.

A mi tía Mery Vaca por darme la oportunidad de haber estudiado en la Universidad Mayor de San Andrés al brindarme mucha ayuda.

A la prestigiosa Universidad Mayor de San Andrés por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios en la Carrera de Ingeniería Petrolera y formarme como profesional.

A los docentes de la Carrera de Ingeniería Petrolera, por su tiempo y dedicación, por compartir su experiencia y conocimientos.

A mi tutor Ing. Marcos Montesinos Montesinos, por su asesoramiento y guía, quien con sus conocimientos me apoyo dedicando su tiempo para el desarrollo y culminación del presente proyecto.

A mis compañeros de la carrera que me acompañaron durante todos estos años y me motivaron a ser cada vez mejor.

RESUMEN EJECUTIVO

El GLP es un combustible que, además de ser económico, contribuye con el medio ambiente al ser más limpio en su combustión a comparación de otros combustibles reduciendo en un 68 % las emisiones de óxido de nitrógeno y en un 15 % las emisiones de dióxido de carbono.

Bolivia es un país gasífero, lo cual le permite al día de hoy exportar GLP y abastecer el mercado interno. No obstante, la demanda de este combustible va en ascenso pese al crecimiento de las instalaciones de gas domiciliario.

Considerando la actual capacidad de recepción, almacenaje y la demanda se requiere una reingeniería en la Planta engarrafadora Tarija (ampliación de la capacidad de almacenaje), la construcción de un nuevo tanque a presión de GLP y la instalación de 4 nuevas balanzas de llenado (balanzas engarrafadoras).

En respuesta al requerimiento de ampliación de la capacidad de almacenaje de la Planta de Engarrafado Tarija-Bolivia, en el Capítulo I se da a conocer los objetivos, alcances y justificación de este proyecto de grado para el diseño de un tanque horizontal a presión de 78 m³.

En el Capítulo II se desglosa una clasificación de los recipientes a presión, un breve resumen que explica aspectos importantes de la Planta engarrafadora Tarija, especificaciones, propiedades y características del Gas Licuado de Petróleo. También se explica la distribución de GLP en Bolivia y las normas que se utilizará para el diseño del tanque.

En el capítulo III se establecieron los parámetros de diseño de acuerdo a los requerimientos del usuario, y para la selección del material, tipos de junta y dimensiones

se utilizaron criterios basados en las normas explicadas en el capítulo II. También se describió los tipos de esfuerzos a los que estará sometido el tanque.

En el capítulo IV se realizó el dimensionamiento del tanque de almacenamiento de capacidad 77 m³. Se diseñó las silletas, las orejas de izaje, se hizo la selección de los accesorios. Se desarrolló un análisis de esfuerzos para ver si el diseño resiste los mismos y los cálculos concluyeron que es un diseño óptimo para soportar todas las cargas. Para una representación gráfica del diseño final del tanque se hizo un modelado en el software SolidWorks.

Por último, en el capítulo V se realizó la estimación de costos de la fabricación y montaje del tanque en base a una función de SolidWorks llamado **SOLIDWORKS Costing**. Se hizo un análisis del TIR y el VAN para analizar si los ingresos que recibe la planta son rentables para la inversión, y se llegó a la conclusión que es un proyecto rentable

1 Capítulo I Generalidades del Proyecto

1.1 Introducción

Bolivia es un país que tiene muchas riquezas naturales, como el gas natural y el petróleo. Los cuales son la fuente para la obtención de GLP.

Las plantas de separación de líquidos donde se realiza la obtención de GLP son: Planta Río Grande, ubicada en Santa Cruz y la planta Carlos Villegas, ubicada en el departamento de Tarija.

Las plantas engarrafadoras de GLP son inspeccionadas, durante ese procedimiento, por las Distritales de YPFB con la finalidad de verificar la seguridad y controlar el peso en el proceso del engarrafado.

En Tarija se encuentra la planta engarrafadora dependiente de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB), la cual se encarga del despacho y abastecimiento de GLP en la ciudad.

Las principales ventajas que tiene el uso del GLP sobre otros combustibles, se deben mencionar:

- Es económico
- Tiene alto poder calorífico.
- Es de fácil manejo y transporte debido a que está comprimido.

Estas son unas de las razones por las que su uso es cada vez mayor en el ámbito industrial, comercial y doméstico.

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

El almacenamiento de los combustibles es una actividad que requiere de un riguroso control, diseño y manejo debido a su inestabilidad e inflamabilidad. Es por eso que no pueden ser almacenados en cualquier tipo de tanque. Por tanto, el presente proyecto se centra en desarrollar cálculos para el diseño de un tanque cuya finalidad sea incrementar la capacidad de almacenamiento de GLP y poder abastecer a la ciudad de Tarija de este combustible.

1.2 Antecedentes

Luego de la puesta en marcha de la Planta Río Grande en el año 2013, Bolivia comenzó con la exportación de gas licuado. Gracias a esto se dejó de importar y ahora se exporta GLP.

Según un informe nacional de YPF, Bolivia se consolidó como el mayor exportador de Gas Licuado de Petróleo (GLP) a Paraguay y Perú.

“El director Comercial de la Gerencia de Comercialización de YPF, Marcelo Coronado, informó que enero a junio de 2021 fueron comercializadas 23,2 millones de garrafas de Gas Licuado de Petróleo (GLP) a nivel nacional. Y, para finales de esta gestión, se tiene programado comercializar aproximadamente 40 millones de garrafas y para la época de invierno, que comprende los meses de junio a agosto, se ha previsto un incremento del 8% en la producción, equivalente a 2,6 millones de garrafas adicionales al mes para garantizar la demanda del mercado interno.” (Rumbo Minero, 2022)

El Gas Licuado de Petróleo es un combustible que ha adquirido una importancia creciente en el país debido principalmente al incremento en la demanda por el aumento del comercio. Pese al incremento de las redes de gas domiciliario, los volúmenes de GLP que se comercializan en el mercado interno continúan en ascenso.

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

En el país existen tres sectores a los cuales va dirigida la oferta de la producción de Gas Licuado de Petróleo (GLP), la demanda del sector doméstico ocupa el 95% del consumo de dicho combustible; la actividad industrial requiere un 3,6% y la comercial un 2%.

Según la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), en invierno se incrementa la mayor demanda en consumo de GLP, todos los años se tiene el mismo comportamiento de crecimiento de demanda, en función de ello se debe programar siempre volúmenes altos, además de contar con saldos de prevención ante cualquier eventualidad.

El GLP boliviano se extrae en las plantas Río Grande que tiene una capacidad de producción de 360 toneladas métricas día, y Carlos Villegas, cuya producción promedio es de 2.000 toneladas métricas día.

Según la revista Rumbo Minero, durante el 2021, se registró la mayor producción de GLP, llegando a las 395.701 toneladas métricas (TM), superando la producción de 2019 y 2020, cuando fue de 377.436 y 345.071 TM, respectivamente.

De las 395.701 TM vendidas en el 2021, más del 50% se comercializó en Paraguay y el resto se destinó a los mercados de Perú y Brasil.

1.3 Planteamiento del problema

1.3.1 Identificación del problema

Actualmente, la Planta engarrafadora de Tarija despacha 4500 garrafas de GLP al día para el abastecimiento local, y recibe el GLP de la planta separadora de líquidos Carlos Villegas, de la cual se transporta el combustible mencionado en tanques móviles hasta la Estación de bombeo Villamontes donde YPFB Transportes se encarga de bombear por el poliducto Villamontes- Tarija (PVT) hasta la ciudad de Tarija.

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Poliducto Villamontes-Tarija



Fuente: Archivo YPFB

Con la actual capacidad de almacenamiento, la planta tiene 7 días de autonomía, pero el objetivo es aumentar un día y medio de autonomía adicionales debido a los siguientes puntos:

- Uno de los problemas más frecuentes se da cuando existen bloqueos de transporte en el municipio de Villamontes, impidiendo el correcto transporte de las cisternas encargadas de la distribución de GLP.
- Otra importante razón para incrementar el número de tanques de almacenamiento es poder sacar de funcionamiento de operación otro tanque para realizar su debido mantenimiento integral que, según norma, debe ser cada 10 años.
- La creciente demanda de GLP en la ciudad de Tarija.

Debido a estos puntos, YPFB se ve en la necesidad de aumentar la capacidad de almacenaje de GLP y así optimizar la distribución del mencionado combustible

Para esto, se requiere del diseño de la construcción de un tanque a presión para almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo con el fin de elaborar un diseño funcional, cumpliendo la necesidad de obtener un producto de calidad con las características adecuadas y además que cumpla todas las normas de construcción para ser aplicado.

1.4 **Formulación del Problema**

¿De qué manera se puede garantizar la seguridad energética para satisfacer adecuadamente la demanda de GLP en la ciudad de Tarija?

1.5 **Objetivos**

1.5.1 **Objetivo General**

Desarrollar el diseño y cálculos de un tanque a presión cilíndrico horizontal para incrementar la capacidad de almacenamiento de GLP para la Planta engarrafadora Tarija que cumpla con la normativa vigente (ASME Sección VIII, División 1) y con las necesidades del usuario.

1.5.2 **Objetivos Específicos**

- 1) Realizar un cálculo enfocado en la capacidad de almacenamiento que se requiera incrementar de acuerdo a los requerimientos de la planta.
- 2) Seleccionar el tipo de material y determinar las dimensiones del tanque de manera que se tenga un diseño eficiente y a la vez económico.
- 3) Diseñar las conexiones del tanque que se requieran en base a las instalaciones de la Planta y a las necesidades del usuario.
- 4) Establecer las dimensiones de las silletas en base a la forma, dimensiones y presión del tanque que será soportado por éstas.
- 5) Describir el área de estudio de la Planta y analizar las condiciones de espacio para determinar la ubicación óptima del tanque.

- 6) Realizar la estimación de costos del proyecto y analizar su factibilidad desde el aspecto económico.

1.6 Justificación

1.6.1 Justificación técnica

Es importante encarar esta problemática para prevenir problemas de desabastecimiento teniendo un stock de reserva suficiente para tener operativa la planta durante un día y medio adicionales a los 7 días de autonomía. De esta manera se garantiza a la población el abastecimiento seguro y oportuno de GLP.

Debido a la gran importancia que tiene el diseño y la fabricación de tanques sujetos a presión, se requiere de normas aplicadas a este tipo de contenedores específicamente para cumplir con todas las exigencias que un diseño de esta magnitud requiere.

1.6.2 Justificación económica

Actualmente, a causa de la pandemia, la demanda se mantiene estable, pero se prevé que la actividad económica busque reactivarse mediante el comercio, y esto conlleva un incremento gradual de la demanda de GLP, ya que es una necesidad básica para el desarrollo del país.

Como se mencionó anteriormente, la planta comercializa, en promedio, 4500 garrafas/día de GLP. Y cuenta con 8 balanzas de llenado.

Con esa cantidad de balanzas se envasa 500 garrafas/hora, lo que toma alrededor de 9-10 horas laborales debiendo pagar horas extras al personal y además la demanda de GLP sobrepasa las 5000 garrafas/día.

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

La empresa ya dispone de 4 balanzas adicionales que se encuentran en almacén, y se prevé su instalación y debida conexión este año. De esa manera se podrá aumentar la producción a 750 garrafas/hora para poder abastecer la demanda.

Figura 1.1 Balanzas de llenado



Fuente: Archivos YPFB

1.6.3 Justificación social

Conforme la Ley de Hidrocarburos 3058, artículo 11, se constituye como objetivos generales de la Política Nacional de Hidrocarburos:

d) Garantizar a corto, mediano y largo plazo la seguridad energética satisfaciendo adecuadamente la demanda nacional de hidrocarburos.

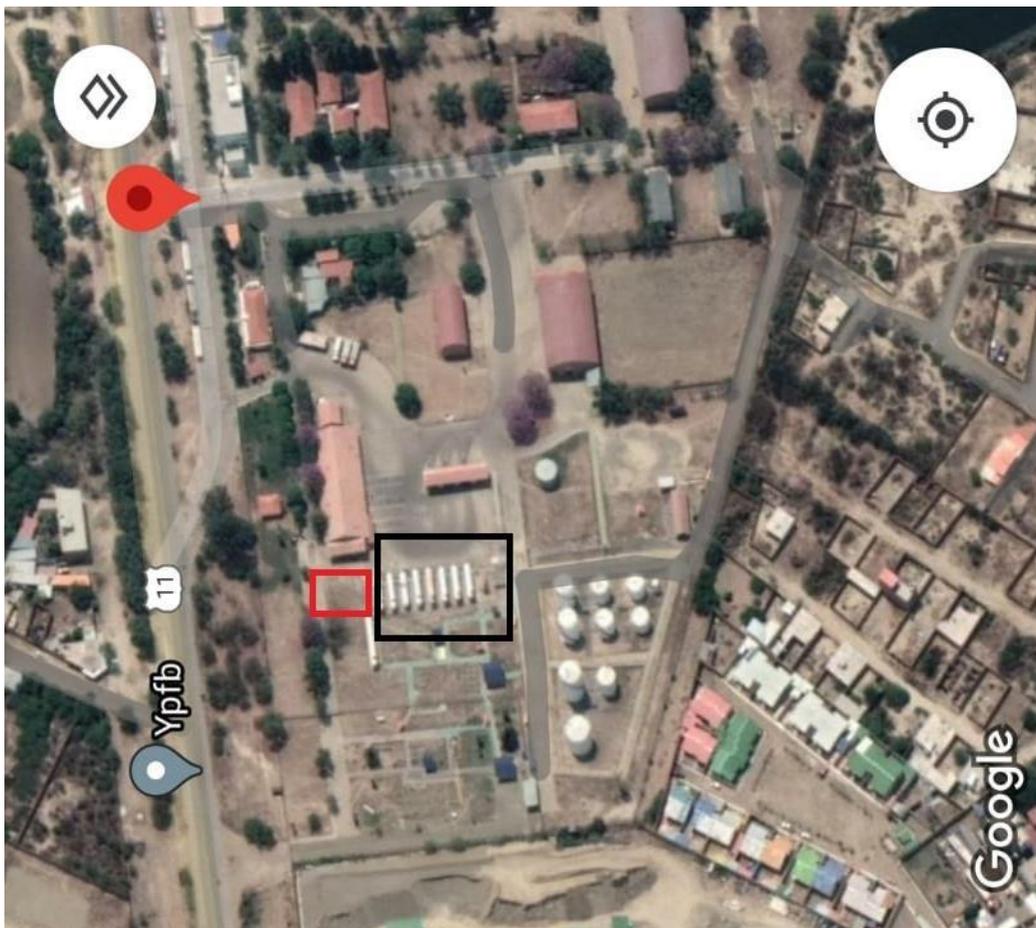
h) Establecer políticas competitivas de exportación, industrialización y comercialización de los hidrocarburos y sus derivados, en beneficio de los objetivos del país.

1.7 Alcance

1.7.1 Alcance geográfico

Este proyecto se realizará en la Planta de almacenaje de Tarija-Bolivia, ubicada en Km.8 Carretera al Chaco.

Figura 1.2 Vista aérea de la planta Tarija-Bolivia



Fuente: *Elaboración con base a Google Earth*

Nota: Se observa un sector encerrado con negro donde se encuentran los tanques ya instalados en la planta, y en el sector encerrado con rojo está el espacio disponible para montar el nuevo tanque a diseñar.

1.7.2 Alcance temporal

Este proyecto de grado se desarrollará durante la gestión 2022.

2 Capítulo II Fundamentación Teórica

2.1 Almacenaje de hidrocarburos

Acorde la Ley de Hidrocarburos, el almacenaje se define como: "...actividad de acumular hidrocarburos, productos refinados de petróleo y GLP en tanques estacionarios para su Comercialización..." (Ley 3058, 2005)

Según el artículo 6 del D.S. 3269, Reglamento para el Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Abandono de Plantas de Almacenaje de Hidrocarburos Líquidos. Se puede definir al almacenaje como: "depósito y custodia de hidrocarburos líquidos que presta al licenciatario a favor de un usuario, bajo condiciones técnicas, económicas, técnicas, logísticas, de seguridad y cuidado medio ambiental"

Pertenece a una de las actividades de la cadena de valor de los hidrocarburos que brinda flexibilidad operativa a las refinerías, y sirve como punto de referencia en la medición de despachos de producto.

2.1.1 Tanques de almacenaje

Los tanques de almacenaje son instalaciones en donde se puede contener una reserva de algún producto para su almacenamiento y conservación, su finalidad es mantener al producto libre de contaminación y en condiciones que el fluido almacenado requiera.

Pueden ser fabricados de distintos materiales como según las exigencias de las normas de diseño. Estos tanques estacionarios pueden ubicarse en la superficie, en el mar o el subsuelo.

2.1.2 Tanques a presión

Un tanque a presión es una envolvente estructural en el que se procesan, tratan o almacenan materiales o fluidos (gases o líquidos) a presiones mucho mayores que la presión atmosférica, ya sea por presión interna o presión externa, independientemente de su forma y dimensiones.

En la industria y los servicios, los tanques a presión se utilizan en varias aplicaciones como para el transporte, producción, almacenamiento, procesamiento.

2.1.2.1 Clasificación de tanques a presión

Los tanques a presión se pueden clasificar de acuerdo al servicio

Pueden ser clasificados de acuerdo a la utilidad que se emplee, temperatura y presión de servicio, la geometría. Los diferentes tipos de tanques a presión que existen, se clasifican de la siguiente manera:

1. Por su uso

Tanques de almacenamiento: Se usan solamente para contener una reserva de algún producto y posteriormente usar y/o comercializar la misma. De acuerdo con el servicio para los que están destinados, son conocidos como tanques de almacenamiento o tanques acumuladores.

Tanques de proceso: Se utilizan para realizar alguna reacción, separación, filtración entre otros procesos en ellos. Por ejemplo: intercambiadores de calor, reactores, torres de fraccionamiento, torres de destilación.

2. Por su forma

Tanques cilíndricos: Estos pueden ser horizontales o verticales. Los primeros son aquellos tanques que se encuentran sostenidos por silletas en posición horizontal, figura 2.1, se los conoce comúnmente como tanques salchichas, se utilizan para almacenar sustancias a altas presiones.

Figura 2.1 Tanque horizontal



Fuente: laindustriasite.wordpress.com

Tanques Verticales: En ellos se puede producir transformaciones físicas (separación de líquido-vapor, separación de dos líquidos no miscibles con diferentes densidades). Los más usados son los reactores, las torres, etc.

Normalmente los tanques verticales están soportados por medio de 3 o 4 patas, faldones cónicos o rectos y por soportes integrados en el cuerpo del tanque, figura 2.2.

Figura 2.2 Tanques a presión verticales

Fuente: <https://laindustriasite.wordpress.com/>

Tanques esféricos: Se utilizan para almacenar gases, líquidos y muchos productos como amoníaco anhidro, GLP, LGN, gasolina, nafta, butadieno, etileno, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, argón, biogás, gas de aguas residuales y aguas residuales.

Debido a la forma esférica que presentan estos tanques, se tiene una distribución uniforme de la tensión bajo carga interna y gracias a esto se logra un almacenamiento presurizado eficiente, figura 2.3.

El tanque esférico es la manera más económica de almacenamiento cuando se trata de grandes volúmenes y bajas presiones de operación requeridas, sin embargo, la fabricación de este tipo de tanques es más cara si lo comparamos con los tanques cilíndricos.

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Figura 2.3 Tanque a presión esférico

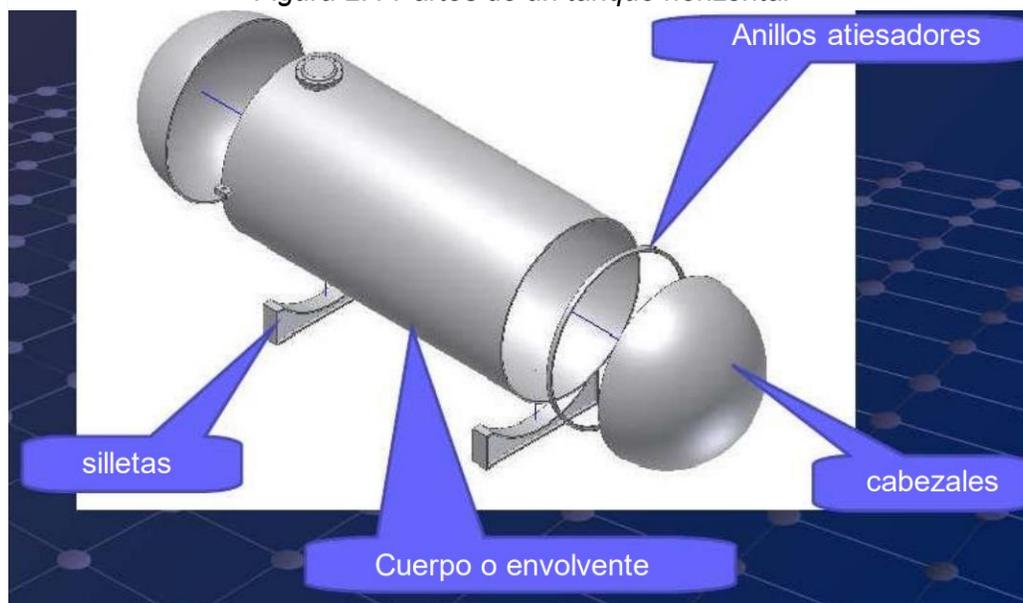


Fuente: twarren.com

2.1.2.2 Partes de un tanque horizontal a presión

Un tanque horizontal a presión está compuesto de las siguientes partes:

Figura 2.4 Partes de un tanque horizontal



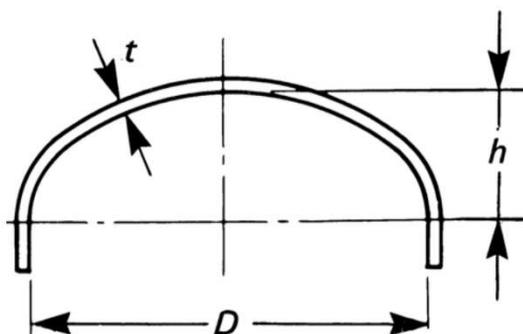
Fuente: *Diseño y cálculo de tanques a presión bajo especificaciones del código ASME sección VIII división 1, instituto politécnico nacional ESIME Azcapotzalco*

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

- a. **Cuerpo o envoltente:** También conocidos como cascos. Están conformados por una serie de virolas¹ soldadas unas con otras formando un cilindro que es la cubierta del tanque.
- b. **Cabezales:** También llamados **casquetes** o **cabezas**, son usados para cerrar los extremos de los tanques cilíndricos. Se fabrican diferentes tipos de cabezales o casquetes según las condiciones de operación que se requiera. La norma ASME Sección VIII, División 1, toma en cuenta los siguientes tipos de cabezales para el diseño:

- **Cabezal elipsoidal:** Son aquellas cuya sección transversal diametral es una elipse. Este tipo de cabezales se emplea en la mayoría de los tanques que trabajan a presiones superiores a los 14 kg/cm², siempre y cuando su espesor no resulte mayor de 51 mm.

Figura 2.5 Cabezal elipsoidal

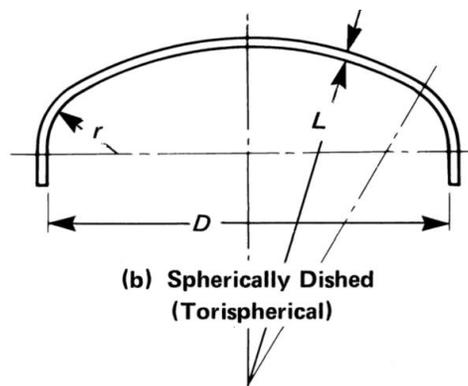


Fuente: ASME Sección VIII, División 1

¹ Es un trozo de tubería o una chapa que, convenientemente curvada y soldada, forma un cilindro sin soldaduras circunferenciales.

- **Cabecal toriesférico:** Tienen el costo de fabricación más bajo y soportan grandes presiones manométricas, por eso son de los más usados en la industria. Se pueden fabricar en diámetros desde 0.3 hasta 6 mts. (11.8 - 236.22 pulgs.).

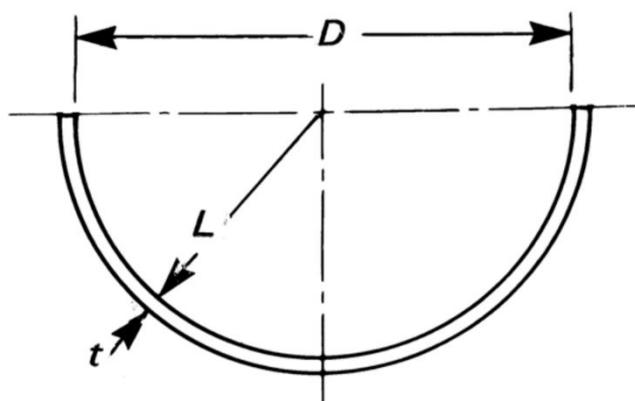
Figura 2.6 Cabecal toriesférico



Fuente: ASME Sección VIII, División 1

- **Cabecal semiesférico:** Como su nombre lo indica, presenta una sección transversal cuya silueta describe una media circunferencia perfecta. Es utilizada para soportar presiones críticas por lo que su costo es alto. No hay límite dimensional para su fabricación.

Figura 2.7 Cabecal semiesférico

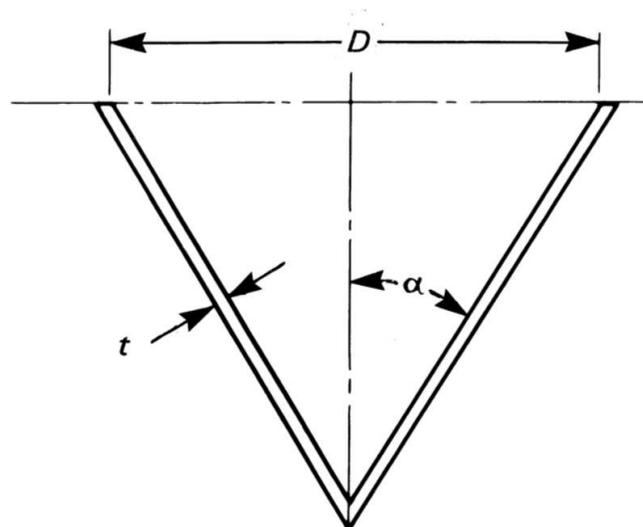


Fuente: ASME Sección VIII, División 1

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

- **Cabezal cónico:** Se utilizan generalmente en fondos donde pueda haber acumulación de sólidos y como transiciones en cambios de diámetro de tanques cilíndricos. Su uso es muy común en torres fraccionadoras o de destilación, no hay límites en cuanto a dimensiones para su fabricación y su única limitación consiste en que el ángulo de vértice no deberá de ser calculado como tapa plana.

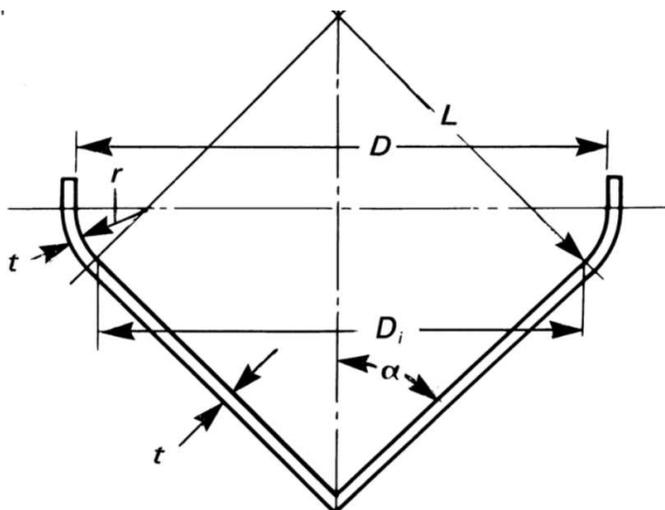
Figura 2.8 Cabezal cónico



Fuente: ASME Sección VIII, División 1

- **Cabezal toricónico:** Poseen en su diámetro mayor un radio de transición que no deberá ser menor al 6% del diámetro mayor o 3 veces el espesor. Tienen las mismas limitaciones que la tapa cónica

Figura 2.9 Cabezal toricónico

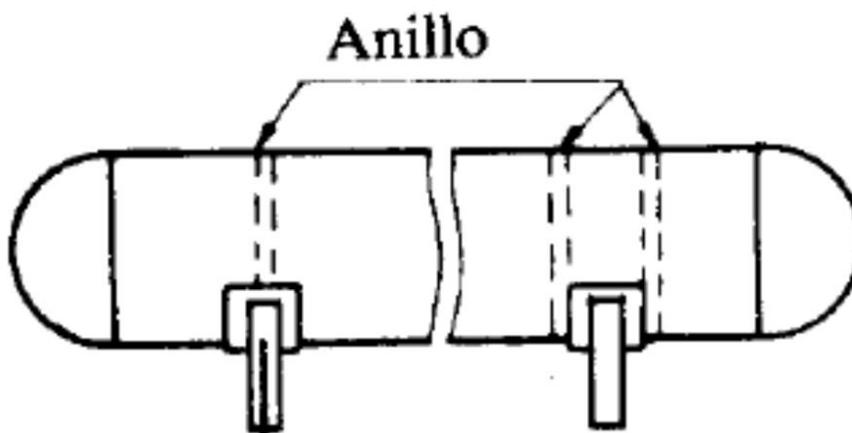


Fuente: ASME Sección VIII, División 1

- c. **Anillos atiesadores:** Si el tanque a presión opera a condiciones de vacío o está sometido a una presión externa mayor a la presión interna, se necesita de un refuerzo adicional que se obtiene suministrando anillos atiesadores.

Los anillos atiesadores son perfiles estructurales soldados al cuerpo cilíndrico del tanque y cuya función es aumentar la resistencia a presión externa del cilindro para evitar la deformación del mismo.

Figura 2.10 Anillos atiesadores



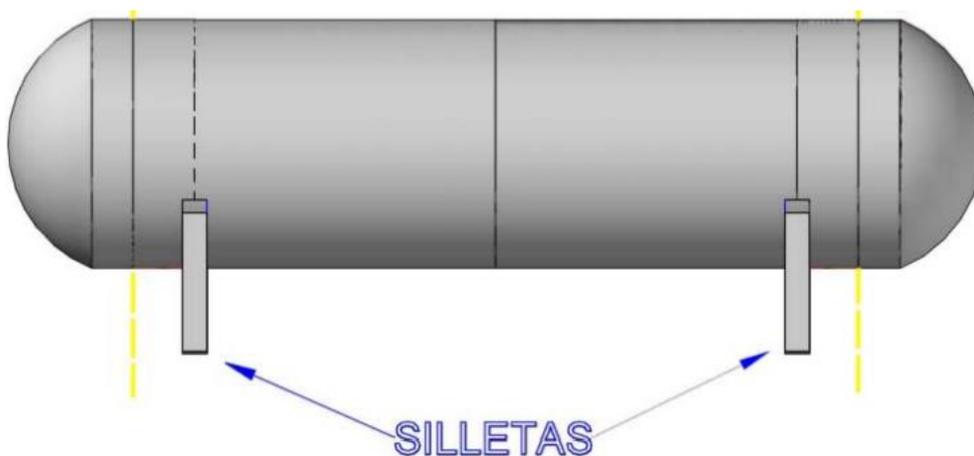
Fuente: Tesis Desarrollo de una herramienta en VBA de Excel para el modelado y diseño de recipientes de proceso, UNAM.

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

- d. **Silletas:** Los tanques horizontales a presión deben estar apoyados de lo contrario se pueden dañar, generalmente se apoyan en unas cunas verticales llamadas silletas de montar.

Estas silletas se diseñan para soportar toda la carga que el tanque genere.

Figura 2.11 Silletas de un tanque horizontal



Fuente: Tesis Diseño de silletas para un recipiente a presión mediante métodos analíticos, experimentales y numéricos, Instituto Politécnico Nacional.

- e. **Orejas de izaje:** Son instaladas en la parte superior del tanque con la finalidad de transportarlos, localizarlos, darles mantenimiento.

Figura 2.12 Orejas de izaje en un tanque a presión



Fuente: <https://www.carloscaballerosrl.com/industria-metalurgica/fabricacion-de-equipos-y-estructuras/fabricacion-de-tanques-a-presion/#>

Figura 2.13 Izaje de un tanque horizontal a presión



Fuente: <https://www.carloscaballerosrl.com/industria-metalurgica/fabricacion-de-equipos-y-estructuras/fabricacion-de-tanques-a-presion/#>

2.1.2.3 Accesorios y conexiones de un tanque de almacenamiento de GLP

Según el Reglamento para Construcción y Operación de Plantas de Engarrafado de Gas Licuado de Petróleo (GLP), los tanques de almacenamiento de GLP deberán tener como mínimo los siguientes elementos:

- Válvula de llenado: Por donde ingresa el producto
- Válvula de salida: salida del producto, está conectada a la terminal de despacho de GLP
- Válvula de alivio: Es un dispositivo automático para aliviar el exceso de presión que se pueda generar dentro del tanque.
- Válvula de purga: Válvula que descarga todo el producto del tanque en caso que se quiera hacer una limpieza.

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

- Entrada de hombre: Las Entradas de Hombre permiten el acceso del personal de mantenimiento.
- Indicador de nivel: Muestra el nivel al cual el tanque está llenado, debe ser de lectura directa
- Termómetro: Es el instrumento que se utilizará para medir la temperatura a la cual se encuentre el GLP en el interior del tanque. Se debe colocar el termómetro en uno de los cabezales a una altura a la cual se facilite su lectura.
- Manómetro: Es un instrumento para medir la presión relativa del gas dentro del tanque, pero también se fabrican manómetros que determinen la presión absoluta.

2.2 Planta de engarrafado de GLP

De acuerdo al Reglamento para Construcción y Operación de Plantas de Engarrafado de Gas Licuado de Petróleo (GLP), 1997, se define como: " Instalación destinada al trasvase del GLP de los tanques de almacenaje a las garrafas, bajo condiciones técnicas controladas de presión, calidad, cantidad y seguridad ".

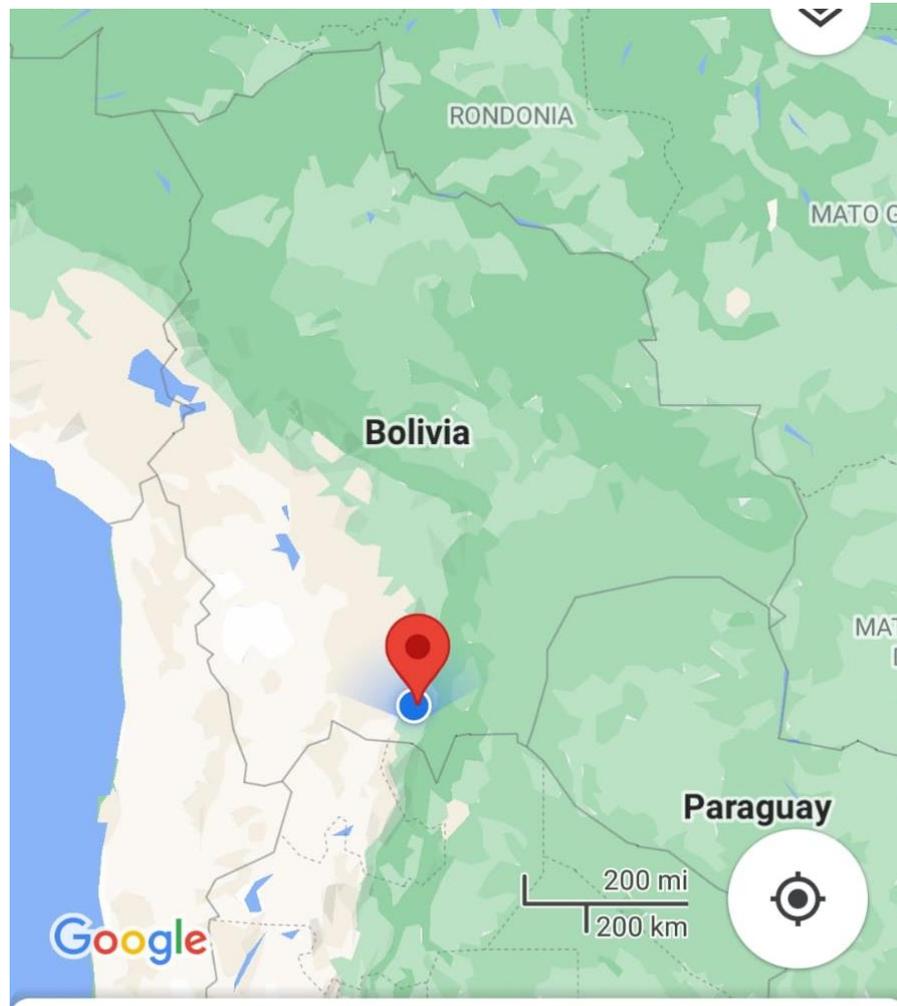
Las Instalaciones mecánicas de una planta engarrafadora de GLP son las siguientes:

- Manifold de recepción
- Unidades de Bombeo
- Tanques de GLP
- Área de almacenaje
- Engarrafadora

2.2.1 Planta embotelladora Tarija

Esta planta de embotellado es operada por YPFB cuya ubicación exacta es
Latitud: -21.567194° , Longitud: -64.665983° .

Figura 2.14 Ubicación Planta Tarija



$21^\circ34'01.9''S$ $64^\circ39'57.5''W$

Fuente: Google Maps

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Figura 2.15 Vista aérea Planta engarrafadora

Fuente: Archivos YPFB

Las instalaciones de la planta para el almacenaje y engarrafado de GLP cuenta con:

- Diez (10) tanques horizontales, de los cuales uno (1) tiene una capacidad nominal de 25000 lt, ocho (8) tienen capacidad nominal de 78000 lt y uno (1) tiene una capacidad nominal de 110000 lt

Figura 2.16 Tanques de GLP Planta engarrafadora Tarija Bolivia

Fuente: Archivos YPFB

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

- Una plataforma cubierta con tinglado metálico para el almacenamiento de garrafas y su posterior llenado con producto.

Figura 2.17 Área de engarrafado



Fuente: Archivos YPFB

Figura 2.18 Llenado de garrafas con GLP



Fuente: ANH

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

- Playa de carga y maniobras que comprende el área útil destinada a zonas de carga, descarga, maniobras y circulación de vehículos.

Figura 2.19 Despacho de garrafas de GLP Planta



Fuente: Archivos YPFB

- Área de bombas y compresores (Manifold de control).

Figura 2.20 Área de bombas y compresores



Fuente: Archivos YPFB

Figura 2.21 Despacho de GLP a cisterna

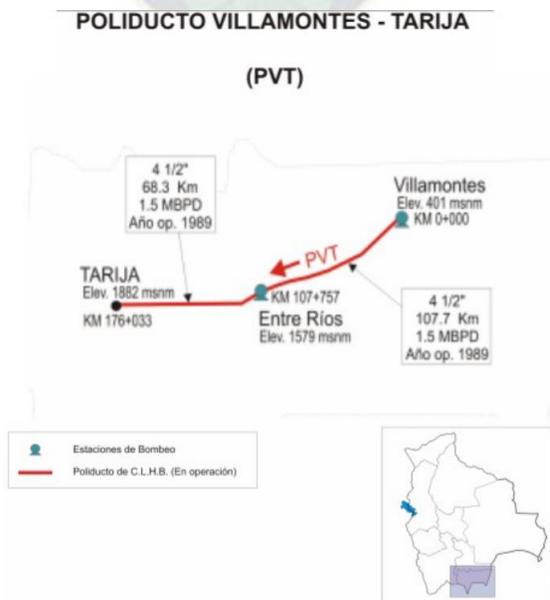


Fuente: Archivos YPFB

2.2.1.1 Abastecimiento

La Planta recibe el producto mediante dos rutas. Los camiones cisternas que provienen de la planta separadora de líquidos Carlos Villegas, ubicada en Yacuiba, hasta la estación de bombeo de Villamontes donde comienza el Poliducto Villamontes-Tarija (PVT) que bombea unos 600 cubos por semana.

Figura 2.22 Poliducto Villamontes—Tarija



DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Luego el producto se distribuye mediante la empresa privada Pimentel, la cual alcanza al 90% del mercado local, en tanto el saldo se deriva a otros puntos comerciales.

2.2.1.2 Poliducto Villamontes Tarija PVT

El PVT fue construido entre junio del año 1986 y agosto de 1989 por la compañía estatal YPFB, empezó a operar el 17 de agosto de 1989.

El ducto PVT tiene dos tramos, con las siguientes dimensiones:

Tabla 2.1 Dimensiones del PVT

Tramo	Longitud km	Diámetro (pulgada)	Altitud msnm
Villa Montes- Entre Ríos	107271	4"	380-1564
Entre Ríos-Tarija	68762	4"	1564-1860
Total ducto	176033		

Fuente: MANUAL DE OPERACIÓN DEL POLIDUCTO VILLA MONTES -TARIJA (PVT) YPFB Logística

El poliducto trabaja en un régimen continuo de bombeo y transporta los siguientes productos: GLP, Gasolina Especial, Jet Fuel y Diésel Oil. Las características principales de los productos transportados son las siguientes:

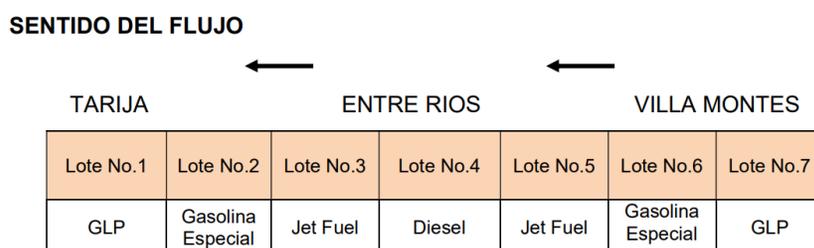
Tabla 2.2 Propiedades de los productos transportados por el PVT

PRODUCTO	GRAVEDAD ESPECIFICA	API
GLP	0.520 a 0.560	
Gasolina Especial	0.7428 a 0.716	62 a 64
Jet Fuel	0.7750 a 0.840	51 a 37
Diesel Oil	0.800 a 0.880	45 a 29

Fuente: MANUAL DE OPERACIÓN DEL POLIDUCTO VILLA MONTES -TARIJA (PVT) YPFB Logística

El transporte de combustibles por el PVT es una operación que se realiza mediante el empaquetado de productos en el poliducto utilizando los lotes de Gasolina Especial como elemento de separación entre los otros productos, GLP y Diesel Oíl, para lo cual se emplea la siguiente secuencia de transporte y bombeo:

Figura 2.23 Secuencia de bombeo PVT



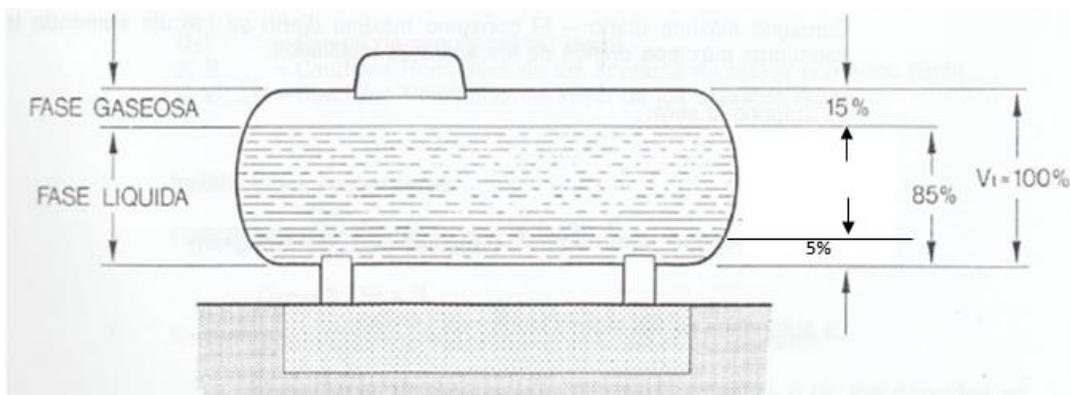
Fuente: (MANUAL DE OPERACIÓN POLIDUCTO, 2013)

La finalidad de esta secuencia es que el GLP no esté en contacto con el Diésel Oíl y de esa manera evitar que el GLP se contamine.

2.2.1.3 Capacidad de almacenamiento

Por norma de seguridad los tanques sólo deben ser llenados hasta un 85% de su capacidad total, ya que el gas en fase líquida se vaporiza.

Figura 2.24 Fase líquida y fase gaseosa de GLP almacenado en un tanque



Fuente: Tesis de grado "Diseño e implementación de un sistema centralizado de GLP para el taller mecánico del AEIRNNR de la UNL"

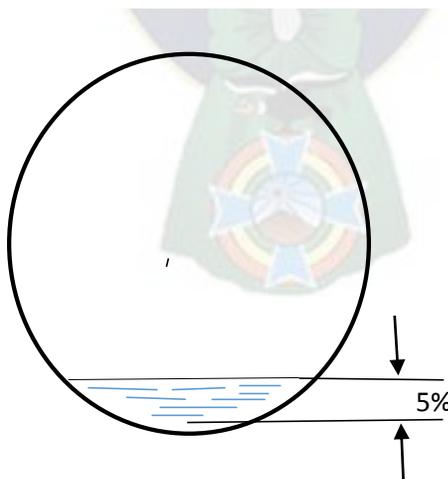
DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

En la figura 2.24 se puede observar un porcentaje del 5% del fondo del tanque, el cual corresponde a la carga muerta.

La carga muerta es un volumen de GLP que no se extrae del tanque para comercializarlo debido a que el reporte del movimiento diario de la planta presenta mermas significativas de producto, esas “pérdidas” ocasionan distorsiones en los inventarios.

Según las tablas de calibración de los tanques verificadas por IBMETRO (Instituto Boliviano de Metrología), cada 1% equivale aproximadamente a 700 lt de producto, pero incluso por debajo de los 10% esa equivalencia se hace menor, lo que se traduce en una merma. Entonces, para evitar posibles observaciones por el fiscal de GLP, se debe mantener ese stock mínimo de 5% en el tanque.

Figura 2.25 Vista frontal del tanque lleno al 5% de su capacidad



Fuente: Elaboración con base a Autocad

Por lo tanto, la capacidad operativa útil llegaría a ser el 80%.

Tabla 2.3 Capacidad de almacenaje planta engarrafadora Tarija

CANTIDAD DE TANQUES DE GLP	CAPACIDAD NOMINAL m^3	CAPACIDAD OPERATIVA (80%) m^3	CAPACIDAD UTIL TOTAL m^3
8	78	62.4	499.2
1	110	88	88
1	25	20	20

Fuente: Elaboración con base a datos recabados de la visita a planta

$$Cap\ operativa\ total = 607.2\ m^3$$

2.3 Seguridad Industrial del almacenaje de GLP en tanques

La Seguridad Industrial puede definirse como un conjunto de acciones y disposiciones basadas en normas obligatorias establecidas cuyo objeto es la prevención y limitación de riesgos capaces de producir daños a las personas, a los bienes o al medio ambiente.

Para el presente proyecto las principales medidas aplicables que se tomará en cuenta serán del Anexo N° 5 del *Reglamento para Construcción y Operación de Plantas de Engarrafado de Gas Licuado de Petróleo GLP*.

2.3.1 Protección contra la corrosión

Se debe tener especial cuidado en la protección contra la corrosión principalmente en los tanques enterrados o semienterrados. Se aplicarán los sistemas de: protección pasiva y protección activa.

- **Protección pasiva**

Los tanques de GLP enterrados o semienterrados deberán estar protegidos convenientemente con pintura anticorrosiva "Primer" y cubierta plástica o fibra de

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

vidrio reforzada con plástico, de forma que la resistencia eléctrica, adherencia al metal, impermeabilidad al aire y agua y resistencia mecánica sean adecuadas a la naturaleza del terreno donde están enterrados.

- **Protección activa**

Como complemento del revestimiento externo, los tanques enterrados o semienterrados, irán provistos de un sistema de protección catódico.

La finalidad de la protección catódica es garantizar un potencial entre tanque y el suelo, que medido respecto a electrodo de referencia: cobre-sulfato de cobre, sea igual o inferior a 0.85 voltios. Dicho potencial será de 0.95 voltios como máximo cuando haya riesgos de corrosión por baterías sulforeductoras.

En aquellos casos en que existan corrientes vagabundas, ya sea por proximidad a líneas férreas u otras causas, deberán adoptarse medidas especiales para la protección catódica, según las exigencias de cada caso.

Cuando las corrientes vagabundas puedan provocar variaciones en el potencial de la protección, el potencial podrá alcanzar valores mayores que 109 indicados, sin limitación de valor, para puntos casi instantáneos, durante un tiempo máximo de un minuto y valores máximos de hasta 0.50 voltios durante un tiempo máximo de cinco (5) minutos, siempre que la duración total acumulada de estos puntos en 24 horas no sobre pase una hora.

2.3.2 Protección contra el fuego

- **Extintores:** Los extintores que se utilicen serán de polvo químico seco. Las cantidades de materia extintora, como mínimo serán las siguientes:

Tabla 2.4 Clasificación de plantas según la capacidad de almacenamiento

Volumen m^3	Clasificación (tanques aéreos)	Clasificación (tanques enterrados)
<5	A-0	E-0
5	A-1	E-1
10	A-2	E-2
20	A-3	-
100	A-4	E-3
>500	A-5	-

Fuente: Reglamento para Construcción y Operación de Plantas de Engarrafado de Gas Licuado de Petróleo GLP, Anexo 5.

- a) Las instalaciones de GLP clasificadas A-0 dispondrán como mínimo de dos (2) extintores de 6 kilogramos.
- b) Las clasificadas como A-1, A-2 y E-1 dispondrán de un mínimo de dos (2) extintores de 12 kilogramos.
- c) Las clasificadas como A-3 y E-2 dispondrán de materia extintora en una proporción de un kilogramo de polvo químico seco por cada metro cúbico de volumen geométrico de capacidad de almacenaje con el mínimo establecido en b).
- d) Las clasificadas A-4, A-5 y E-3, dispondrán de un mínimo de 100 kilogramos de polvo químico seco, incrementándose esta cantidad en un kilogramo por cada diez (10) metros cúbicos de volumen geométrico que sobre pase los cien (100) metros cúbicos de volumen de almacenamiento de la Estación.

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

- e) Siempre que la capacidad de almacenamiento sea superior a cinco (5) metros cúbicos, al menos dos (2) de los extintores serán de doce (12) kilogramos.
- f) El área de bombas y compresores de GLP deberá estar dotado de 2,5 kilogramos de polvo químico seco por cada metro cubico por hora de capacidad de trasvase, con un mínimo de 50 kilogramos distribuidos, al menos, en dos (2) extintores.

En caso de que el equipo de trasvase este situado en una caseta, estos extintores se situarán en el exterior de la misma.

- g) Las casetas de vaporizadores, si las hubiera, dispondrán al menos de un extintor de 12 kilogramos como dotación suplementaria a lo establecido anteriormente.

- **Instalación de agua**

- a) Las instalaciones de categoría A-3, A-4 y A-5 deberán estar dotadas de una red de tubería y de los elementos precisos de acoplamiento rápido que permitan hacer llegar el agua a cualquier punto de Estaciones de GLP a la presión de 5 bar con un caudal mínimo de 15 metros por hora, para las del grupo A-3; 30 metros cúbicos por hora para las del grupo A-4 y 50 metros cúbicos hora para las clasificadas como A-5.
- b) Cualquier tanque aéreo de volumen geométrico unitario superior a cien (100) metros cúbicos, deberá disponer para su enfriamiento de un sistema propio de riego.
- c) Las instalaciones que no dispongan de suministro exterior de agua, estarán dotadas de tanques de almacenamiento y medios de bombeo que permiten el funcionamiento de la red durante una hora y treinta minutos, a la presión y a los caudales establecidos.

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

- d) Las instalaciones de la categoría A-3 podrán no disponer de la instalación de agua, duplicando el número de materia extintora señalando para la zona de almacenamiento.
 - e) Para las instalaciones de categoría A-4 y A-5 se dispondrán al menos de dos (2) hidrantes o tomas de agua en lugares distintos de la Estación.
 - f) Las mangueras deberán poder descargar el agua pulverizada a chorro y bajo las especificaciones NFPA NE 14 "Standard for installation of standpipes and Hose Systems".
- **Elementos complementarios.** - En la Estación de GLP se dispondrá del siguiente material:
 - a) Carteles: Carteles indicadores con el siguiente texto: "Gas Inflamable", "Prohibido fumar y encender fuego". Se situarán en la proximidad de los tanques y en cada uno de los lados del cerco y puertas de acceso.
 - b) Equipo adicional: Las instalaciones de la categoría A-4, A-5 y E-3 dispondrán del material siguiente: una línea portátil y antideflagrante, tres (3) mantas ignífugas, Tres (3) cascos con pantallas de aproximación al fuego, Tres (3) caretas antigás.

Además, las de categorías A-5 dispondrán de un dispositivo de alarma acústico de accionamiento manual o automático manual, un exposímetro.

La planta de engarrafado de GLP en la ciudad de Tarija cuenta con un protocolo de seguridad industrial y salud ocupacional en el trabajo tales como:

- Uso del EPP (equipo de protección personal. ropa jean de algodón, camisa manga larga y pantalón, botas de seguridad punta de acero, casco, gafas de protección para los ojos, tapones de oído en las zonas donde se emita mucho ruido y guantes de cuero) para todas las instalaciones dentro de la planta y es de uso obligatorio.

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Figura 2.26 Señalética de uso obligatorio de EPP

Fuente: Archivos YPFB

- Dentro de la planta existe un sistema contra incendios que consta de extintores en diferentes zonas estratégicas para uso inmediato, se cuenta también con un sistema de refrigeración en caso de incendios.

Figura 2.27 Tanque de agua del sistema contra incendios

Fuente: Archivos YPFB

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Figura 2.28 Tanque con instalación de sistema de refrigeración contra incendios



Fuente: Archivos YPFB

- La circulación en vehículo motorizado y peatonal se realiza con precaución no mayor a los 10 Km/h y dentro de las áreas señalizadas.

Figura 2.29 Señalética de velocidad máxima permitida



Fuente: Archivos YPFB

Está prohibido fumar, encender fuego y consumir bebidas alcohólicas dentro de la planta.

Figura 2.30 Señalética de Prohibido encender fuego



Fuente: Archivos YPFB

2.4 Gas Licuado de Petróleo (GLP)

“Mezcla de hidrocarburos, compuesto principalmente por cantidades variables de propano, butano e isobutanos que, bajo condiciones normales de presión y temperatura, se encuentra en estado gaseoso y que se mantiene en estado líquido por aumento de presión.” (Reglamento para Construcción y Operación de Plantas de Engarrafado de Gas Licuado de Petróleo (GLP), 1997)

2.4.1 Obtención del GLP

El gas licuado de petróleo, se obtiene principalmente en las plantas de tratamiento de gas natural y en menor grado en las refinerías como subproducto del procesamiento del crudo.

Según El Organismo superior de la Inversión en Energía y Minería (osinergmin), los procesos necesarios para obtener el Gas Licuado de Petróleo son:

- **Por refinación del petróleo:** La refinación es un proceso de transformación de petróleo crudo que permite la separación de los hidrocarburos aprovechando sus diferentes temperaturas de ebullición para obtener combustibles y productos químicos de uso doméstico e industrial.

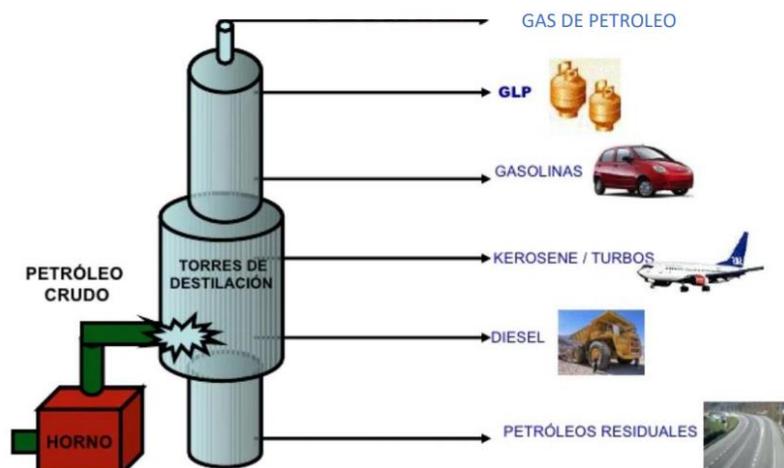
El proceso comienza con la destilación del crudo que consiste en:

1. Calentar el petróleo en un horno de altas temperaturas denominadas “Unidades de destilación”
2. Los “gases” circulan por las torres de fraccionamiento, en las que la temperatura baja gradualmente desde el fondo hasta el tope de la torre. Las torres están provistas de “bandejas” en las que los productos se condensan y separan de acuerdo a su peso molecular.

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

3. El petróleo se separa en fracciones que después de procesamiento adicional, darán origen a los distintos productos se van extrayendo como: GLP, gasolina, diésel, turbo combustibles, petróleos industriales, etc.

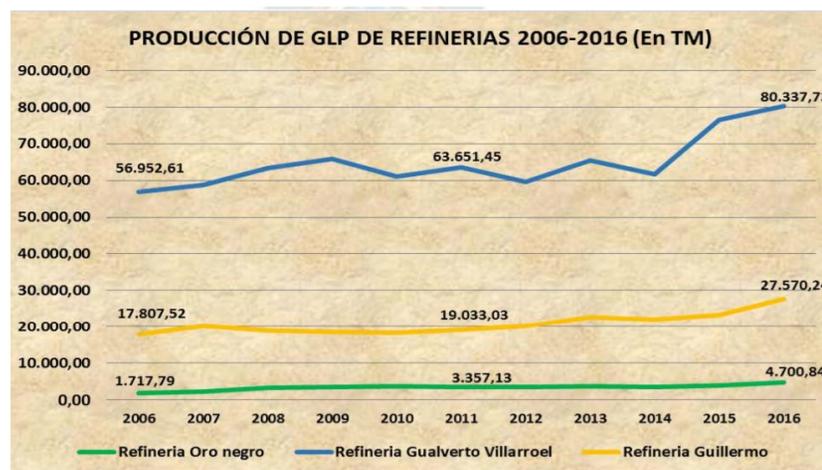
Figura 2.31 Obtención de GLP a partir del petróleo



Fuente: Osinergmin

Según la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), La producción de GLP en refinерías se incrementa a partir de la gestión 2015 producto de la Nueva Unidad de Reformación Catalítica, siendo la producción más representativa la de la Refinería Gualberto Villarroel (Cochabamba), seguida por Guillermo Elder Bell (Santa Cruz) y finalmente Oro Negro (Santa Cruz).

Figura 2.32 Producción de GLP en refinерías 2006-2016

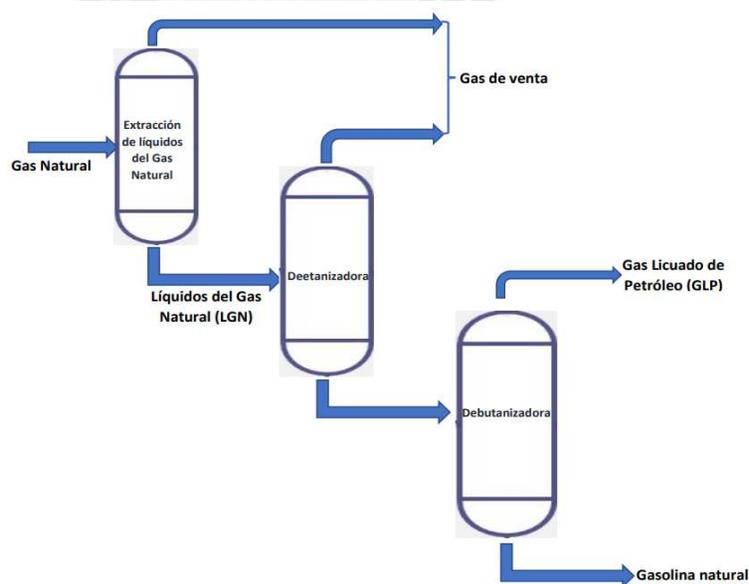


Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos en base a datos de la Dirección de Refinación e Industrialización

- **Por tratamiento del gas natural:** Para la producción de Gas Licuado de Petróleo (GLP) primeramente se deben extraer los Líquidos del Gas Natural (LGN), luego los LGN deben ser procesados por un De-etanizador, el cuál separa el gas de venta compuesto por metano y etano los cuales son los productos de tope de la torre. El producto de fondo es una mezcla de propano y más pesados.

A continuación, se explica el proceso de De-butanizado, el cuál aísla las mezclas de propano y butanos (componentes del GLP) por el tope de la torre y produce por el fondo las gasolinas naturales compuestas principalmente de pentanos y más pesados.

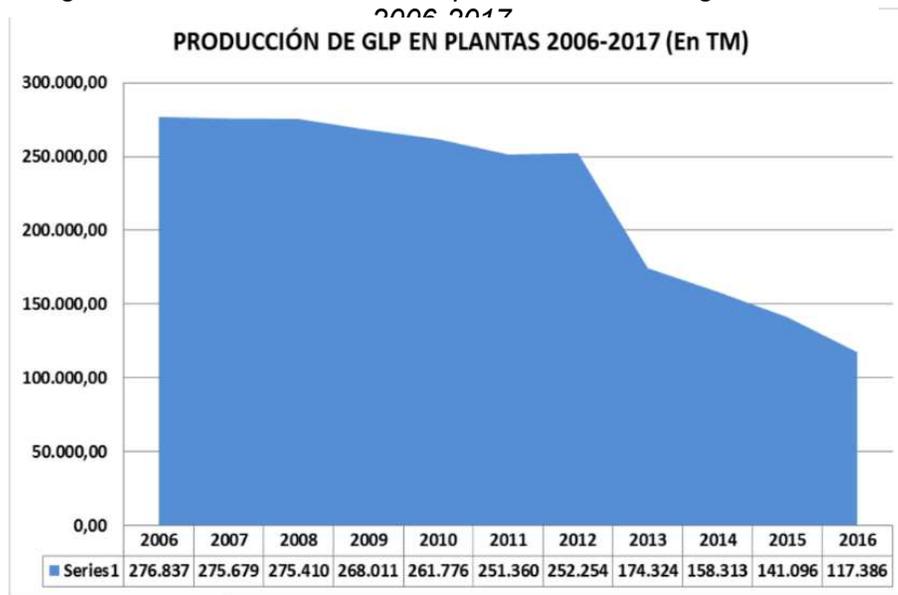
Figura 2.33 Obtención del GLP a partir del Gas Natural



Fuente: Informe YPF

Según la Agencia Nacional de Hidrocarburos, la producción de GLP en plantas se evidencia que en la gestión 2013 la producción disminuye en aproximadamente 37% con respecto a la producción del año 2006; a partir del 2013 el descenso fue paulatino llegando la producción total de GLP de planta de proceso de Gas Natural instaladas en campos en producción, a 117 TM el año 2016.

Figura 2.34 Producción de GLP por tratamiento de gas natural



Fuente: ANH en base a datos de la DTEP/ANH

Figura 2.35 Obtención del GLP



Fuente: YPF

2.4.1.1 Localización de Plantas de GLP y Refinerías en Bolivia

La figura 2.36 muestra un mapa de donde se encuentran las plantas y las refinerías donde se produce GLP.

Figura 2.36 Plantas de producción de GLP en Bolivia



Fuente: Ministerio de Hidrocarburos

2.4.2 Propiedades del GLP

Tabla 2.5 Propiedades del Gas Licuado de Petróleo

Propiedades	Propano	Iso-butano	n-butano
Fórmula química	C ₃ H ₈		C ₄ H ₁₀
Punto de ebullición a 101,3 kPa (° C)	-42,1	-11,8	-0,5
Densidad del líquido a 15 ° C (kg / m ³)	506,0	561,5	583,0
Presión absoluta de vapor a 40 ° C (kPa)	1510	530	375
Punto de inflamación (° C)	-104	-83	-60

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Límite superior de inflamabilidad (% vol en aire)	9,5	8,5	8,5
Límite inferior de inflamabilidad (% vol. En el aire)	2,3	1,9	1,9
Vol. Vapor por vol. Líquido	269	221	235
Densidad de vapor relativa (aire = 1)	1,55	2,07	2,07
Coeficiente de expansión (líquido) por 1 ° C	0,0032		0,0023
Aire mínimo de combustión (m ³ / m ³)	24		30
Viscosidad Cinemática (centistokes) @ 20 ° C	0,2	0,29	0,3
Calor latente de vaporización (kJ / kg) a 20 ° C	352		368
Calor específico (kJ / kg / ° C) a 20 ° C - líquido	2,554		2,361
Calor específico (kJ / kg / ° C) a 20 ° C - vapor	1,047		1,495
Temperatura de ignición mínima (° C) en oxígeno	470-575		380-550
Temperatura máxima de la llama (° C)	1980		1990
Número de octano	>100		92
Energía específica (bruto) MJ / kg	49,83		49,40

Fuente: Guidelines for Good Business Practices in the LPG Industry – WLPGA

2.4.2.1 Calidad establecida del GLP

Según el Reglamento de calidad de carburantes aprobado mediante el Decreto Supremo N° 1499 de 20 de febrero de 2013, dicho Reglamento en su anexo "A", se establece la calidad del Gas Licuado de Petróleo de acuerdo a las características y especificaciones que muestra la siguiente tabla:

Tabla 2.6 Especificaciones técnicas del GLP

Prueba	Especificaciones		unidad	Método ASTM	
	MIN	MAX		Altern. 1	Altern. 2
Gravedad específica a 15.6/15.6 °C	0,52	0,57		D-1657	D-2598
Tensión de vapor a 100°F (38°C)	80	170	psig	D-1267	D-2598
Residuo volátil, 95 % vol.		2,2 (36)	°C (°F)	D-1837	
Pentano y más pesados		2	% vol.	D-2163	
Residuo por evaporación 100 ml.		0,05	ml.	D-2158	
Corrosión lámina de cobre		1		D-1838	
Azufre total (*)		200	ppm/p	D-2784	
Humedad		Cumple		D-2713	
Poder calorífico superior		Informar	BTU/lb	D-3588	
Contenido de etano		3	% vol.	D-2163	

Fuente: Reglamento de calidad de carburantes

(*) Valor que incluye de azufre del odorante²

² El GLP deberá contener un odorante que permita su detección por el olfato.

2.4.3 Características del GLP

El GLP tiene las siguientes características, de acuerdo al informe "El Gas Licuado De Petróleo (GLP) En Iberoamérica", realizado por la Agencia Nacional de Hidrocarburos:

- Cuando el GLP está a temperatura y presión atmosférica se encuentra en estado gaseoso, pero al someterlo a una presión de refrigeración, éste se licúa y disminuye su volumen 270 veces aproximadamente haciendo más fácil su transporte y almacenaje.
- El GLP es más ligero que el agua como un líquido, pero más pesado que el aire como un gas.
- El GLP es incoloro e inodoro, por lo que para percibir su presencia en el ambiente éste deberá ser odorizado³ conforme a lo establecido en las Normas aplicables, National Fire Protection Association, NFPA 58 LP-Gas Code, 2010.
- En forma líquida, el volumen de GLP cambia significativamente en respuesta a los cambios de temperatura. Como resultado, los contenedores de almacenamiento de GLP nunca se llenan hasta su capacidad. Esto permite que la expansión tenga lugar dentro del tanque sin causar daños al tanque. Los niveles de llenado típicos de los contenedores de almacenamiento de GLP son alrededor del 80% del volumen del envase.

³ Operación mediante el cual se agrega al GLP una sustancia química del tipo de los mercaptanos como el etil Mercaptano u otros, a base de azufre con una dosificación tal que permita detectar la presencia del GLP en casos de fugas y otros.

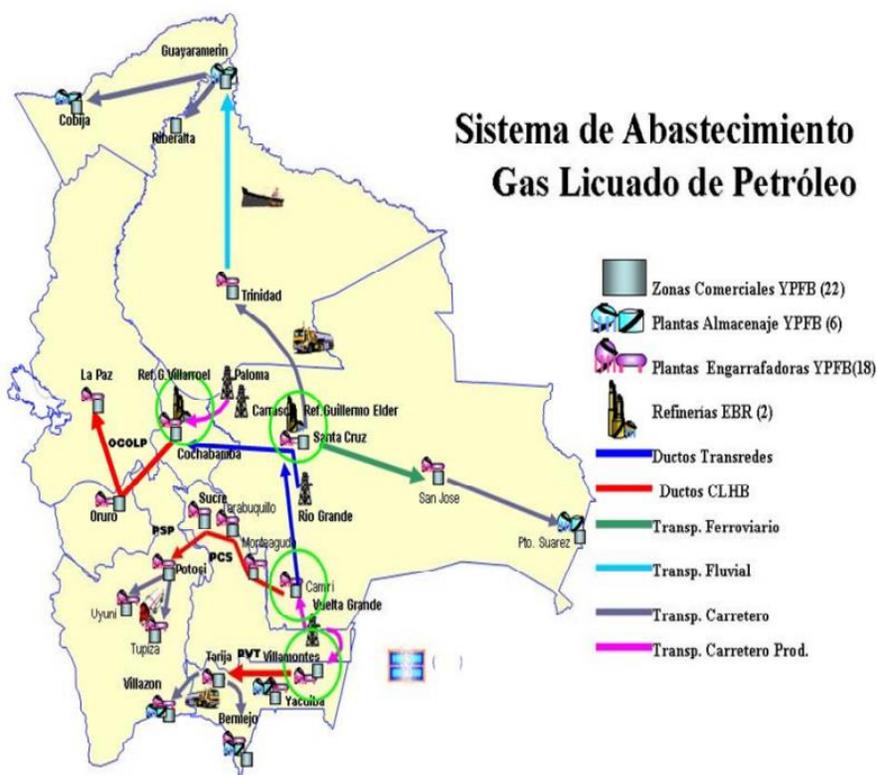
DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

- El GLP es un combustible limpio y portátil. Debido a su portabilidad, no depende de líneas de transmisión o redes de tuberías.
- No es venenoso ni tóxico, pero si se libera en espacios confinados, puede presentar riesgos por inhalación, ya que el GLP desplaza el oxígeno.
- Es altamente inflamable.

2.4.4 Distribución de GLP en Bolivia

Después de la producción, el transporte de GLP a las plantas engarrafadoras se realiza a través de poliductos o de camiones cisternas. En la figura 2.37 se muestra los medios de transporte de GLP en Bolivia.

Figura 2.37 Transporte de GLP en Bolivia



Fuente: Informe YPFB

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

El proceso de envasado se realiza en plantas de engarrafado para finalmente transportar las garrapas en camiones de distribución hasta los consumidores finales.

Figura 2.38 Proceso de distribución de GLP



Fuente: ANH

2.5 Estándares Normativos

2.5.1 Nacionales

2.5.1.1 Decreto Supremo N° 24721

A partir del mencionado Decreto Supremo de fecha 23 de julio de 1997, se aprueba el *Reglamento para Construcción y Operación de Plantas de Engarrafado de Gas Licuado de Petróleo (GLP)*, en sus 15 (quince) capítulos, 73 (setenta y tres) artículos y 7 anexos, cuyo objeto es establecer las condiciones técnicas y legales para las actividades previamente citadas.

Centrándonos en los tanques de almacenaje, en el Anexo N°4 “Especificaciones y características de los tanques de almacenaje de GLP”, señala:

1. Tanques de Almacenaje

1.1 Los Tanques de Almacenaje de GLP deberán ser aptos para operar a una presión de 20 bar y a una presión de prueba de 26 bar.

1.2 Deberán responder a las exigencias del Código A.S.M.E. Sección VIII, División I.

1.3 Deberán llevar en la placa de identificación la siguiente información:

- a) Superficie exterior en metros cuadrados.
- b) El volumen geométrico en metros cúbicos.
- c) Presión de trabajo.
- d) Presión de prueba.

1.4 El montaje de los tanques se hará de tal forma que evite la concentración de cargas excesivas en los apoyos o soportes, los que deberán ser de hormigón armado.

1.5 El montaje sobre los soportes deberá permitir la libre expansión y contracción del tanque y sus conexiones.

1.6 Los tanques para su funcionamiento deberán estar provistos como mínimo de los siguientes elementos:

1.6.1 Dispositivo de llenado de doble cierre. Uno de los cuales será de retención (check) y estará situado siempre en el interior del tanque y el otro podrá ser manual, telecomandado o también de retención.

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

1.6.2 Indicador de nivel de medida continúa y lectura directa.

1.6.3 Indicador de nivel máximo de llenado. El grado de llenado en los tanques no excederá del 85% (ochenta y cinco por ciento) de su volumen, considerando la masa específica del producto líquido almacenado a 201C.

1.6.4 Maxímetro.

1.6.5 Válvula de seguridad de exceso de presión conectada a la fase gaseosa del tanque.

1.6.6 Dos dispositivos destinados a la salida del GLP. Uno en fase líquida y otro en gaseosa. Cada uno de ellos deberá estar dotado con un doble sistema de cierre; uno automático por exceso de flujo o tele comando u otro manual. En la toma de la fase líquida, el de cierre automático o tele comando deberá estar necesariamente en el interior del tanque. En el caso de la no utilización de alguna de las fases, se podrá prescindir del segundo cierre situado en el exterior del tanque, pero en todo caso, se protegerá e cierre con un tapón roscado a brida ciega.

1.6.7 Borne de toma de tierra.

1.6.8 Drenaje situado en uno de los extremos de la generatriz inferior, que en los de superficie estará dotado de una válvula interior de corte automático por exceso de flujo y de un tapón roscado de protección del mismo material que la válvula. Se ubicará una distancia mínima de 0,50 metros al suelo en los tanques de hasta 20 metros cúbicos y de 0.80 metros en los mayores. En los tanques enterrados este drenaje quedará cerrado por medio de un tapón roscado de acero.

1.7 Para el fácil desplazamiento de los equipos de extinción deberán dejarse libres alrededor de la proyección sobre el terreno de los tanques y dentro del cerco, los espacios

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

señalados en la Referencia I del Cuadro 301-1 de Distancia de Seguridad del ANEXO N° 1.

1.8 Tanto la superficie de terreno en la zona de ubicación de los tanques como el espacio libre indicado en 1.7, serán horizontales.

1.9 Se rodeará el emplazamiento de los tanques y equipos por medio de una cerca de 2.00 metros de altura como mínimo y a una distancia de los tanques indicada en el Cuadro 301-1 del ANEXO N° 1, Referencia II; que podrá ser de malla metálica o de cualquier otro material análogo incombustible, que permita una buena ventilación e impida el acceso de personas ajenas a los responsables de la operación. En caso de que este cerco está provisto de zócalo, su altura no podrá ser mayor a 0.30 metros. Las puertas del cerco se abrirán hacia el exterior y serán igual incombustible y los cierres serán de accionamiento rápido manipulable desde el interior sin necesidad de utilizar llaves. La utilización de muros o pantallas reglamentadas en el ANEXO N° 2 puede ser considerada con cerramiento o cerco completamente con malla metálica de altura de 2.00 metros.

1.10 Cuando en una instalación existan equipos de trasvase, de vaporización, regulación y medida, éstos deberán quedar dentro del cerco. Podrán prescindirse del cerco cuando de la instalación de GLP está ubicada en el interior de las plantas industriales destinadas al almacenamiento, producción y/o tratamiento de productos petrolíferos o combustibles gaseosas.

1.11 Tanques de Superficie. Se consideran tanques de superficie los situados al aire libre y cuya generatriz inferior está a nivel superior al terreno. El desplazamiento de cualquiera de ellos en el sentido de su eje longitudinal no deberá encontrar cortada su trayectoria por otro tanque de la misma instalación.

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

a) La distancia entre tanques no será nunca inferior a la semisuma de sus radios y como mínimo será de 1.00 metro.

b) Se protegerán mediante pinturas blancas reflectantes y serán puestos a tierra con una resistencia menor a 20 ohm.

1.12 Tanques enterrados. Para que un tanque sea considerado enterrado debe estar situado enteramente por debajo del nivel del terreno circundante, de forma tal que la generatriz superior, diste entre 0.30 y 0.50 metros de dicho nivel.

a) Los tanques enterrados se situarán sobre fundación firme y anclada de tal forma que se impida su flotación.

b) La distancia entre tanques situados en la misma fosa será como mínimo de un metro.

c) Deberá rodearse la proyección de la fosa sobre el terreno del tanque, con una protección de hormigón de al menos 0.30 metros de altura.

d) En todos los casos la fosa se rellenará de arena fina exenta de piedras o elementos que puedan dañar el tanque.

e) En caso que el tanque se aloje en una fosa de hormigón, las paredes de éste distarán del tanque como mínimo 0,50 metros en las paredes laterales, 0.20 metros al fondo y 0.30 metros a la tapa (si existe) o nivel del terreno.

f) Con la finalidad de poder detectar cualquier acumulación de gas o agua en el fondo de la fosa se instalará en una esquina un tubo buzo de 2 pulgadas de diámetro que llegue hasta el fondo, cortado oblicuamente en su extremo inferior y dotado de un tapón en el superior.

g) Las válvulas del tanque y los aparatos de control se protegerán con una tapa registro. No se permitirá circulación o parqueo de vehículos por o encima de la tapa. Las válvulas serán perfectamente accesibles desde el exterior y los aparatos de control fácilmente legibles.

1.13 Tanques Semienterrados. Se denominan tanques semienterrados aquellos que teniendo la generatriz inferior por debajo del nivel del terreno circundante, debido a algún impedimento tales como: roca a escasa profundidad, terreno con pendiente pronunciada, nivel freático próximo, no resulta posible cumplir la condición de profundidad en enterramiento prevista para los tanques enterrados. Para los efectos del cumplimiento de este Reglamento y que puedan considerarse como tanques enterrados, deberá completarse la fosa por encima del terreno, mediante paredes de hormigón, hasta la altura necesaria para cumplir las condiciones exigidas para los tanques enterrados.

2.5.2 Internacionales

El estudio de este diseño está basado en las Normas que rigen tanto la construcción de tanques a presión como todos los equipos involucrados con el GLP. Algunas de estas normas son:

2.5.2.1 ASME BVPC

El código ASME BVPC Boiler and Pressure Vessel Code (Código de calderas y tanques a presión) es un conjunto de normas, especificaciones, fórmulas de diseño y criterios basados en muchos años de experiencia, todo esto aplicado al diseño, fabricación, instalación, inspección, y certificación de tanques sometidos a presión. Fue creado en los Estados Unidos de América en el año de 1907, por iniciativa de varias

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

compañías de seguros con el fin de reducir pérdidas y siniestros. El código ASME para calderas y tanques a presión se encuentra dividido en las siguientes secciones:

- I. Reglas para la construcción de calderas de potencia.
- II. Materiales.
- III. Reglas para la construcción de componentes de plantas nucleares.
- IV. Normas para la construcción de calderas de calefacción.
- V. Ensayos no destructivos.
- VI. Recomendaciones para el cuidado y la operación de calderas de calefacción.
- VII. Lineamientos de cuidado para las calderas de potencia.
- VIII. Reglas para la construcción de tanques a presión.

DIVISIÓN 1 Reglas básicas

DIVISIÓN 2 Reglas alternativas

DIVISIÓN 3 Reglas alternativas para tanques de muy alta presión

- IX. Calificaciones de procedimientos de soldadura.
- X. Tanques de plástico reforzados con fibras.
- XI. Reglas para la inspección en servicio de componentes de plantas nucleares.
- XII. Reglas para la construcción y servicio continuado de tanques de transportes.

Existen 3 divisiones del código ASME VIII: Divisiones 1, 2 y 3. La Div.3 se utiliza en el cálculo y el diseño de equipos de muy alta presión alrededor de 10.000 psi (703 kg/cm²), mientras que las Div.1 y Div.2 se utilizan para el resto de aplicaciones.

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Los equipos diseñados de acuerdo con la Div.1 se basan en reglas que no requieren una evaluación detallada de todos los esfuerzos. Existen esfuerzos secundarios elevados, también flectores, pero al admitir un factor de seguridad conservador, estos esfuerzos serán compensados.

La división II permite mayor flexibilidad en el diseño, por tanto, los tanques construidos bajo la división II podrían ser tanques con paredes más delgadas.

Las limitaciones más relevantes de la Div.1 son: si la presión de diseño supera los 3000 psi (210 Kg/cm²) se debe utilizar la Div.2 y no podemos utilizar la Div.1 para presiones por debajo de los 15 psi (1,05 kg/cm²).

Para este proyecto se usará el CODIGO ASME SECCION VIII DIVISION 1, En esta parte del código se establecen los requerimientos mínimos para el diseño, fabricación e inspección y para obtener la certificación autorizada de la ASME para los tanques a presión.

En base a esto se ha dividido en:

- Subsección A Requerimientos generales

Parte UG Requisitos generales para todos los métodos de construcción y todos

Materiales

- Subsección B. Requisitos relativos a los métodos de fabricación de tanques a presión

Parte UW Requisitos para tanques a presión fabricados mediante soldadura.

Parte UF Requisitos para tanques a presión fabricados mediante forja.

Parte UB Requisitos para tanques a presión fabricados mediante soldadura fuerte.

- Subsección C Requisitos relativos a clases de materiales.

Parte UCS. Requisitos para tanques a presión fabricados con carbono y

Aceros de baja aleación.

Parte UNF. Requisitos para tanques a presión construidos con materiales no ferrosos

Materiales.

Parte UHA. Requisitos para tanques a presión fabricados con alta aleación

Acero

Parte UCI. Requisitos para tanques a presión construidos con hierro fundido

Parte UCL. Requisitos para tanques a presión soldados construidos con material con revestimiento integral resistente a la corrosión, Revestimiento con soldadura de superposición de metal o revestimientos aplicados.

Parte UCD Requisitos para tanques a presión construidos de fundición dúctil

Planchar.

Parte UHT Requisitos para tanques a presión fabricados con aceros ferríticos con propiedades de tracción mejoradas por el tratamiento de calor.

Parte ULW Requisitos para tanques a presión fabricados por construcción en capas.

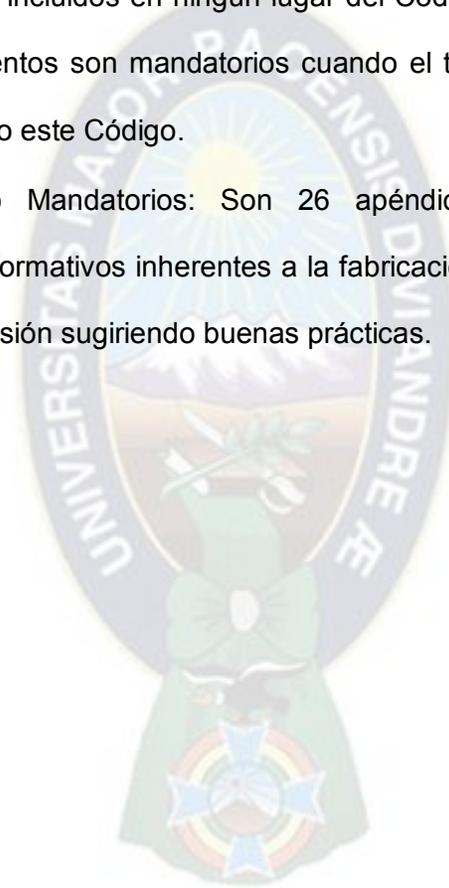
DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Parte ULT Reglas alternativas para tanques a presión construidos con materiales que tienen mayores esfuerzos permisibles a baja temperatura.

Parte UHX Reglas para intercambiadores de calor de carcasa y tubos.

Parte UIG Requisitos para tanques a presión construidos con grafito impregnado.

- Apéndices Mandatorios: Son 46 apéndices mandatorios que tratan de temas específicos no incluidos en ningún lugar del Código ASME Sección VIII Div. 1, y sus requerimientos son mandatorios cuando el tema cubierto es incluido en la fabricación bajo este Código.
- Apéndices no Mandatorios: Son 26 apéndices mandatorios, son temas únicamente informativos inherentes a la fabricación, diseño y documentación de Tanques a Presión sugiriendo buenas prácticas.



3 CAPÍTULO III CONSIDERACIONES DE DISEÑO

3.1 Material

Los materiales empleados en la construcción de tanques sometidos a presión deberán estar de acuerdo con los requerimientos detallados en la normativa a emplear, en el caso del presente proyecto es el Código ASME Sección VIII. Según la parte UG-4 del mencionado código, los materiales deben cumplir con las especificaciones dadas en la Sección II, Parte D, Subparte 1.

3.1.1 Tipos de Materiales

Según ASME Sección VIII, Div 1, se pueden clasificar en los siguientes grupos:

1. **Aceros al Carbono:** Son los más disponibles y económicos de los aceros, recomendados para la mayoría de los tanques a presión que no presenten condiciones extremas de presión y/o temperatura.
2. **Aceros de baja aleación:** Son recomendados para condiciones de servicio más específicas y más costosos que los aceros al carbono debido a los bajos porcentajes de elementos de aleación como níquel y cromo, tienen un mejor comportamiento en la resistencia mecánica y para rangos más altos de temperatura que los aceros al carbono.

Para estos grupos es importante el control de la cantidad máxima permisible de elementos indeseables como azufre, fósforo y cobre, debido a su reacción de producir fragilidad y puntos de fusión muy bajos. Las cantidades usuales son 0.04% máximo de azufre y fósforo.

3. **Aceros de alta aleación:** Son llamados comúnmente aceros inoxidable, son más costosos que los anteriores debido a su alto contenido en elementos de aleación, lo que brinda alta resistencia a la corrosión.

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Sin embargo, son susceptibles al agrietamiento como resultado de la soldadura por la tendencia tan alta de endurecimiento creada por el calor de la soldadura, por lo que se debe tener mucha precaución por la dificultad de fabricación que presentan. Se requiere una estricta atención en los tratamientos de precalentamiento y post-calentamiento así como las mejores prácticas.

- 4. Materiales no ferrosos:** Son recomendados para manejar sustancias con alto poder corrosivo para facilitar la limpieza en tanques que procesan alimentos y condiciones de servicio extremas de tenacidad a baja temperatura. Esta clasificación no contiene hierro como su mayor constituyente, éstos generalmente son: cobre, níquel, aluminio, titanio, etc. Se debe tener mucho cuidado con su composición para evitar fragilidad, mezclas de materiales que produzcan contaminación y en algunos casos fusión incompleta en la raíz por la susceptibilidad de oxidación a altas temperaturas.
- 5. Hierros:** Generalmente no son considerados para ser soldados en tanques a presión, debido a sus extremas fases de fragilidad y agrietamientos que se forman en la zona afectada por el calor, sin embargo, el código ASME permite soldaduras de hierros bajo ciertas condiciones estrictas (Flores, 2005).

3.1.2 Factores a considerar para la selección del material

Hay muchos factores demostrados por la experiencia y resultados de pruebas de laboratorio que deben ser considerados al seleccionar los materiales más adecuados. Estos incluyen los siguientes:

- **Resistencia a la corrosión:** Un material que no sea resistente al ataque corrosivo, puede corroerse en poco tiempo de servicio. Se debe prever un sobreespesor suficiente para toda la vida útil planificada para tanques sometidos a pérdida de espesor por corrosión, erosión o abrasión mecánica.
- **Presión y Temperatura de diseño:** conforme a la Parte UG de la división 1, se debe diseñar para la condición más severa de presión y temperatura esperadas durante la operación normal.
- **Costo:** Mientras más alto sea el costo del material, más alto será el costo de fabricación del tanque. Pero también hay que tener en cuenta que un material de propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión menores, requiere de mantenimientos e inspecciones frecuentes, lo cual implica tiempo fuera de servicio y mayores gastos.

Se debe escoger un material que implique los menores gastos de operación y mantenimiento sin sacrificar los requisitos técnicos.
- **Disponibilidad en el mercado:** Es importante que exista en su forma comercial los materiales considerados en el diseño.

3.1.3 Placas de acero

Las especificaciones aprobadas para las placas de acero al carbón y de baja aleación están dadas en la Tabla UCS-23 del código ASME sección VIII, división 1.

Tabla 3.1 Aceros al Carbón de baja aleación

Spec. No.	Tipo/Grado	Spec. No.	Tipo/Grado
SA-36	...	SA-333	1, 3, 4, 6, 7, 9
SA-53	E/A, E/B, S/A, S/B	SA-334	1, 3, 6, 7, 9
SA-105	...	SA-335	P1, P2, P5, P5b, P5c, P9, P11, P12, P15, P21, P22, P91
SA-106	A, B, C	SA-336	F1, F3V, F3VCb, F5, F5A, F9, F11 Cl. 2 & 3, F12, F21 Cl. 1 & 3, F22 Cl. 1 & 3, F22V, F91
SA-135	A, B	SA-350	LF1, LF2, LF3, LF5, LF9
SA-178	A, C	SA-352	LCB, LC1, LC2, LC3
SA-179	...	SA-354	BC, BD
SA-181	...	SA-369	FP1, FP2, FP5, FP9, FP11, FP12, FP21, FP22
SA-182	FR, F1, F2, F3V, F3VCb, F5, F5a, F9, F11 Cl. 1 & 2, F12 Cl. 1 & 2, F21, F22 Cl. 1 & 3, F22V, F91	SA-372	A; B; C; D; E Cl. 55, 65, & 70; F Cl. 55, 65, & 70; G Cl. 55, 65, & 70; H Cl. 55, 65, & 70; J Cl. 55, 65, 70, & 110; L; M Cl. 85 & 100
SA-192	...	SA-387	2, 5, 11, 12, 21, 22, 91
SA-193	B5, B7, B7M, B16	SA-414	A, B, C, D, E, F, G
SA-203	A, B, D, E, F	SA-420	WPL 3, WPL 6, WPL 9
SA-204	A, B, C	SA-423	1, 2
SA-209	T1, T1a, T1b	SA-437	B4B, B4C
SA-210	A-1, C	SA-449	...
SA-213	T2, T5, T5b, T5c, T9, T11, T12, T17, T21, T22, T91	SA-455	...
SA-214	...	SA-487	1 Cl. A & B, 2 Cl. A & B, 4 Cl. A, 8 Cl. A
SA-216	WCA, WCB, WCC	SA-508	1, 1A, 2 Cl. 1, 2 Cl. 2, 3 Cl. 1, 3 Cl. 2, 3V, 3VCb, 4N Cl. 3, 22 Cl. 3
SA-217	C12, C5, WC1, WC4, WC5, WC6, WC9	SA-515	60, 65, 70
SA-225	C	SA-516	55, 60, 65, 70
SA-234	WPB, WPC, WPR, WP1, WP5, WP9, WP11 Cl. 1, WP12 Cl. 1, WP22 Cl. 1	SA-524	I, II
SA-250	T1, T1a, T1b	SA-533	A Cl. 1 & 2, B Cl. 1 & 2, C Cl. 1 & 2, D Cl. 2, E Cl. 1 & 2
SA-266	1, 2, 3, 4	SA-537	Cl. 1, 2, & 3
SA-283	A, B, C, D	SA-540	B21, B22, B23, B24, B24V
SA-285	A, B, C		
SA-299	A, B		
SA-302	A, B, C, D		
SA-307	A, B		
SA-320	L7, L7A, L7M, L43		
SA-325	1		

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

SA-541	1, 1A, 2 Cl. 1, 2 Cl. 2, 3 Cl. 1, 3 Cl. 2, 3V, 3VCb, 22 Cl. 3, 22V	SA-832	21V, 22V, 23V
SA-542	B Cl. 4, C Cl. 4a, D Cl. 4a, E Cl. 4a	SA-836	...
SA-556	A2, B2, C2	SA-841	A Cl. 1, B Cl. 2
SA-557	A2, B2, C2	SA-1008	CS-A, CS-B
SA-562	...	SA/AS 1548	PT430, PT460, PT490
SA-574	4037, 4042, 4140, 4340, 5137M, 51B37M	SA/ CSA- G40.21	38W, 44W, 50W
SA-587	...	SA/EN 10028-3	P235GH, P265GH, P295GH, P355GH, 13CrMo4-5, 10CrMo9-10
SA-612	...	SA/EN 10028-3	P275NH
SA-662	A, B, C	SA/EN 10216-2	P235GH, P265GH, 16Mo3, 13CrMo4-5, 10CrMo9-10
SA-675	45, 50, 55, 60, 65, 70	SA/EN 10222-2	P280GH, P305GH, 13CrMo4-5, 11CrMo9-10
SA-727	...	SA/GB 713	Q345R
SA-737	B, C		
SA-738	A, B, C		
SA-739	B11, B22		
SA-765	I, II, III, IV		

Fuente: ASME BPVC.VIII.1-2019

3.1.4 Selección de material

Además de la resistencia a la corrosión, el criterio fundamental para la selección del material son la presión y temperatura de diseño.

En el rango de las *temperaturas criogénicas* (de -425°F a -150°F) los aceros al carbón y de baja aleación son frágiles, pero los materiales no ferrosos como la aleación de aluminio que no presentan pérdida de resistencia al impacto⁴ deben ser utilizados.

Para *temperaturas bajas* (de -150°F a $+32^{\circ}\text{F}$), los aceros al carbón de baja aleación y de grano fino funcionan satisfactoriamente.

⁴ La resistencia al impacto es una de las propiedades mecánicas más importantes de un material y se entiende como la resistencia del mismo a la fractura por el choque de una carga.

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

En el rango de *temperaturas intermedias* (de +33°F a +800°F) los aceros al carbón son suficientes. Arriba de los 800°F se comportan de forma elástica, es decir, la estructura retorna a sus dimensiones originales cuando las fuerzas aplicadas son removidas.

A *temperaturas elevadas* (por encima de 800°F) ocurren cambios notorios en los aceros. Comienzan a mostrar una caída en la resistencia máxima elástica y dejan de ser elásticos, volviéndose parcialmente plásticos. Los aceros utilizados en la construcción de tanques a presión:

- Aceros de carbono-molibdeno, aceros de baja aleación de cromo-molibdeno y aceros de mediana aleación de cromo-molibdeno.
- Acero ferroso inoxidable.
- Acero austenítico inoxidable.
- Aleaciones especiales resistentes a altas temperaturas.

El criterio a emplear para la selección del material para la construcción del tanque será la temperatura de diseño, utilizando la tabla **3.2** que muestra una guía para la selección de material.

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Tabla 3.2 Guía de selección de Material

TEMPERATURA DE SERVICIO (°F)		PLACA
Criogénica	-425 a -321	SA-240 tipo 304, 304 L, 347
	-320 a -151	SA-240 tipo 304, 304 L, 316, 316L SA-353
Temperatura baja	-150 a -76	SA-203 gr. D o E
	-75 a -51	SA-203 gr. A o B
	-50 a -21	SA-516 todos los grados que tengan la prueba de impacto
	-20 a 4	SA-516 todos los grados que tengan la prueba de impacto mayores a 1 pulgada de espesor
	5 a 32	SA-516 todos los grados que tengan la prueba de impacto mayores a 2 pulgadas de espesor
Temperatura media	33 a 60	SA-285 gr. C $\frac{3}{4}$ pulg de espesor máx. SA-515 gr. 55,60, 65, 1.5 pulg. de espesor máx. SA-516 todos los grados, todos los espesores
	61 a 775	SA-285 gr. C $\frac{3}{4}$ pulg. de espesor máx. SA-515 gr. 55, 60, 65, 1.5 pulg de espesor máx. SA-516 todos los grados, todos los espesores.
Temperatura elevada	776 a 875	SA-204 gr. B o C
	876 a 1000	SA-387 gr. 11 C1.1 SA-387 gr. 12 C1.1
	1000 a 1100	SA-387 gr. 22 C1.1 SA-387 gr. 21
	1100 a 1500	SA-240 tipos 304, 316, 321, 347
	>1500	Tipo 310 inoxidable de la marca Incoly

Fuente: Pressure Vessel Design Handbook Henry H. Bednar-Krieger Pub

De acuerdo al *Reglamento para Construcción y Operación de Plantas de Engarrafado de Gas Licuado de Petróleo (GLP)*, el tanque de almacenamiento de GLP, Anexo 4, la temperatura de almacenamiento debe ser de 395 °F (201°C), la cual está en el rango de *temperaturas medias* según la tabla 3.2. Lo que da las siguientes opciones:

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

- a) SA-285 gr. C 3/4 pulg. de espesor máx.
- b) SA-515 gr. 55, 60, 65, 1.5 pulg. de espesor máx.
- c) SA-516 todos los grados, todos los espesores.

La opción a y b pone un límite de espesor de la placa, éste es un dato que depende de la presión, esfuerzo máximo permisible y otras variables que se mencionará más adelante, por lo que no se puede asumir su valor.

Por lo tanto, se optará por la opción c, la que nos permite diseñar un tanque con un espesor de acuerdo a las necesidades del usuario.

Dentro del acero SA-516 55, 60, 65, 70; el último grado tiene mayor esfuerzo máximo permisible, lo que lo hace el más resistente de todos.

Finalmente, el material elegido será SA-516 gr. 70 para el cuerpo cilíndrico y los cabezales.

3.2 Cargas

Las cargas o fuerzas son las "causas" de los esfuerzos en los tanques a presión.

(UG-22) Las cargas a ser consideradas en el diseño de tanques a presión incluyen:

- a) Presión interna: Es la presión a la que está sometida la parte interna del tanque.
- b) Presión externa: Si el tanque no se diseña considerando que el vacío ocurre sólo ocasionalmente, debe instalarse una válvula de alivio de vacío, especialmente.
- c) Peso del tanque y de su contenido en condiciones de funcionamiento o de prueba.

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

- d) Reacciones estáticas superpuestas del peso de los equipos conectados, como motores, maquinaria, otros tanques, tuberías, revestimientos y aislamiento.
- e) Apoyos y soportes del tanque como: anillos, faldones, silletas y patas.
- f) Reacciones cíclicas y dinámicas debidas a la presión o variaciones térmicas, o de equipos montados en un tanque, y cargas mecánicas
- g) Viento, nieve, reacciones sísmicas: Los tanques largos con relaciones pequeñas de t/r (espesor/radio) están sujetos a deformación por presión del viento. Según Zick "la experiencia indica que un tanque diseñado para presión externa de 1 lb/pulg^2 puede resistir satisfactoriamente las cargas externas que se presenten en el servicio normal"
- h) Reacciones de impacto como las debidas al choque de fluidos.
- i) Gradientes de temperatura y expansión térmica diferencial.

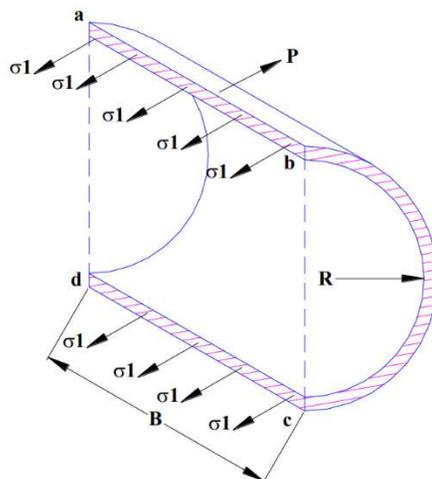
El código no proporciona una orientación al diseño o fórmulas para las cargas que no sean presión interna y externa, entonces el espesor de diseño deberá ser suficiente para resistir los esfuerzos impuestos.

3.3 Esfuerzos

3.3.1 Esfuerzo circunferencial

Este esfuerzo se distribuye de manera uniforme sobre el espesor de la pared, siempre que espesor sea pequeño respecto al radio.

Figura 3.1 Esfuerzo circunferencial

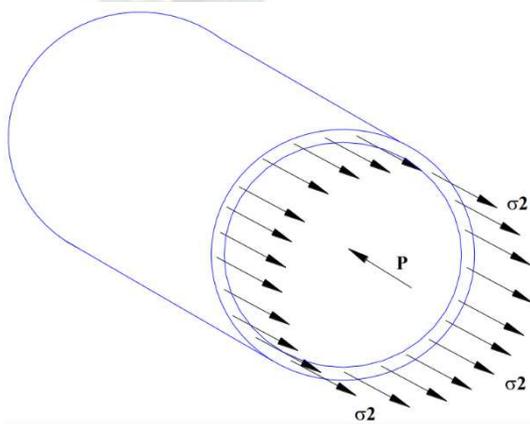


Fuente: Tesis Diseño, e inspección de recipientes a presión y ficha técnica, Instituto Tecnológico de Costa Rica

3.3.2 Esfuerzo longitudinal

Este esfuerzo actúa en sentido longitudinal flexionando el tanque al aplicar una determinada carga sobre éste, la carga es producida por el peso del tanque mismo y el peso de su contenido interior.

Figura 3.2 Esfuerzo longitudinal



Fuente: Tesis Diseño, e inspección de recipientes a presión y ficha técnica, Instituto Tecnológico de Costa Rica

3.3.3 Esfuerzo cortante tangencial

Este esfuerzo actúa sobre las silletas cuando la carga producida por el peso del tanque y su contenido actúan con dirección al centro de la tierra provocada por la gravedad, entonces la silleta aplica en dirección opuesta, otra fuerza de igual magnitud.

3.3.4 Máximo esfuerzo admisible

El valor del máximo esfuerzo admisible para cada material avalado por el código ASME se encuentra en ASME SECCION II, PARTE D (METRIC) TABLA 1A, a distintas temperaturas. Se debe diseñar el tanque en función a dicho valor.

Figura 3.3 Máximo esfuerzo permisible para cada material

2010 SECTION II, PART D (METRIC)

TABLE 1A (CONT'D)
SECTION I; SECTION III, CLASSES 2 AND 3;* SECTION VIII, DIVISION 1; AND SECTION XII
MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES S FOR FERROUS MATERIALS
(*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

Line No.	Nominal Composition	Product Form	Spec No.	Type/Grade	Alloy Designation/ UNS No.	Class/ Condition/ Temper	Size/Thickness, mm	P-No.	Group No.
1	Carbon steel	Plate	SA/GB 6654	16MnR	...	...	60 < t ≤ 100	1	1
2	Carbon steel	Plate	SA/GB 6654	16MnR	...	...	36 < t ≤ 60	1	1
3	Carbon steel	Plate	SA-455	...	K03300	...	15 < t ≤ 19	1	2
4	Carbon steel	Bar	SA-675	70	...	...	...	1	2
5	Carbon steel	Forgings	SA-105	...	K03504	...	...	1	2
6	Carbon steel	Forgings	SA-181	...	K03502	70	...	1	2
7	Carbon steel	Castings	SA-216	WCB	J03002	...	...	1	2
8	Carbon steel	Forgings	SA-266	2	K03506	...	...	1	2
9	Carbon steel	Forgings	SA-266	4	K03017	...	...	1	2
10	Carbon steel	Forgings	SA-350	LF2	K03011	1	...	1	2
11	Carbon steel	Forgings	SA-350	LF2	K03011	2	...	1	2
12	Carbon steel	Forgings	SA-508	1	K13502	...	...	1	2
13	Carbon steel	Forgings	SA-508	1A	K13502	...	...	1	2
14	Carbon steel	Forgings	SA-541	1	K03506	...	...	1	2
15	Carbon steel	Forgings	SA-541	1A	K03020	...	...	1	2
16	Carbon steel	Cast pipe	SA-660	WCB	J03003	...	...	1	2
17	Carbon steel	Forgings	SA-765	II	K03047	...	...	1	2
18	Carbon steel	Plate	SA-515	70	K03101	...	...	1	2
19	Carbon steel	Plate	SA-516	70	K02700	...	...	1	2
20	Carbon steel	Plate	SA/JIS G3118	SGV480	...	...	...	1	2
21	Carbon steel	Wld. pipe	SA-671	CB70	K03101	...	...	1	2
22	Carbon steel	Wld. pipe	SA-671	CC70	K02700	...	...	1	2
23	Carbon steel	Wld. pipe	SA-672	B70	K03101	...	...	1	2
24	Carbon steel	Wld. pipe	SA-672	C70	K02700	...	...	1	2

Fuente: ASME Sección II, parte D

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Figura 3.4 Máximo esfuerzo permisible para cada material

2010 SECTION II, PART D (METRIC)

TABLE 1A (CONT'D)
SECTION I; SECTION III, CLASSES 2 AND 3; * SECTION VIII, DIVISION 1; AND SECTION XII
MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES *S* FOR FERROUS MATERIALS
(*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

Line No.	Maximum Allowable Stress, MPa (Multiply by 1000 to Obtain kPa), for Metal Temperature, °C, Not Exceeding														
	-30 to 40	65	100	125	150	200	250	300	325	350	375	400	425	450	475
1	131	131	131	131	131	131	131	...	...	...	...	...	...	...	...
2	134	134	134	134	134	134	134	...	...	...	...	...	...	...	...
3	138	138	138	138	138	137	132	126	122	119	...	...	...	...	...
4	138	138	138	138	138	137	132	126	122	119	114	101	83.9	67.0	51.1
5	138	138	138	138	138	138	136	129	125	122	117	101	83.9	67.0	51.1
6	138	138	138	138	138	138	136	129	125	122	117	101	83.9	67.0	51.1
7	138	138	138	138	138	138	136	129	125	122	117	101	83.9	67.0	51.1
8	138	138	138	138	138	138	136	129	125	122	117	101	83.9	67.0	51.1
9	138	138	138	138	138	138	136	129	125	122	117	101	83.9	67.0	51.1
10	138	138	138	138	138	138	136	129	125	122	117	101	83.9	67.0	51.1
11	138	138	138	138	138	138	136	129	125	122	117	101	83.9	67.0	51.1
12	138	138	138	138	138	138	136	129	125	122	117	101	83.9	67.0	51.1
13	138	138	138	138	138	138	136	129	125	122	117	101	83.9	67.0	51.1
14	138	138	138	138	138	138	136	129	125	122	117	101	83.9	67.0	51.1
15	138	138	138	138	138	138	136	129	125	122	117	101	83.9	67.0	51.1
16	138	138	138	138	138	138	136	129	125	122	117	101	83.9	67.0	51.1
17	138	138	138	138	138	138	136	129	125	122	117	101	83.9	67.0	51.1
18	138	138	138	138	138	138	138	136	132	128	123	101	83.8	67.1	51.0
19	138	138	138	138	138	138	138	136	132	128	123	101	83.8	67.1	51.0
20	138	138	138	138	138	138	138	136	132	128	123	101	83.8	67.1	51.0
21	138	138	138	138	138	138	138	136	132	128	123	...	...	...	...
22	138	138	138	138	138	138	138	136	132	128	123	...	...	...	...
23	138	138	138	138	138	138	138	136	132	128	123	...	...	...	...
24	138	138	138	138	138	138	138	136	132	128	123	...	...	...	...
25	138	138	138	138	138	138	138	138	138	135	123	101	83.8	67.0	51.0
26	138	138	138	138	138	138	138	138	138	135	123	101	83.8	67.0	51.0
27	138	138	138	138	138	138	138	138	138	135	123	101	83.7	67.6	45.5
28	117	117	117	117	117	117	117	117	117	115	104	86.1	71.3	56.9	43.4
29	138	138	138	138	138	138	138	138	138	135	123	101	83.8	67.0	51.0

Fuente: ASME Sección II, parte D

De acuerdo a la tabla 1A de la sección II del código ASME, el valor del esfuerzo máximo permisible del material SA-516 gr. 70 es de 138000 KPa.

$$S = 138000 \text{ KPa} = 20015.2 \text{ Psi}$$

3.4 Temperatura de diseño

La temperatura de diseño es más una condición ambiental que una carga de diseño, ya que sólo un cambio de temperatura o cierto gradiente de temperatura originará un esfuerzo térmico.

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Sin embargo, es una condición de diseño importante que influye, en gran medida, en el material seleccionado para la construcción.

Los fenómenos que hay que tomar en cuenta para el diseño son: la resistencia del material reduce al incrementar la temperatura, la fragilidad aumenta al reducir la temperatura y las dimensiones cambian.

La temperatura de diseño requerida por el Código no debe ser menor que la temperatura media de la pared del tanque metálico esperada en las condiciones de funcionamiento.

Para la mayoría de los estándares de los tanques a presión, la temperatura de diseño es la máxima temperatura del fluido en servicio más 50°F (10°C) como un margen de seguridad, o la mínima temperatura del fluido en operación, si el tanque es diseñado para un servicio de baja temperatura (<-20°F).

La temperatura mínima de diseño para los tanques a presión de almacenamiento debe tomarse como 15 ° F sobre la temperatura ambiente promedio más baja registrada en la ubicación de estudio (Bednar, 1991).

La temperatura que recomienda el Reglamento para Construcción y Operación de Plantas de Engarrafado de Gas Licuado de Petróleo es de 201°C.

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Entonces la temperatura de diseño será:

$$201^{\circ}\text{C} + 10^{\circ}\text{C} = 211^{\circ}\text{C}$$

$$T = 211^{\circ}\text{C}$$

3.5 Clasificación de presiones en tanques a presión

3.5.1 Presión de operación (P_o)

Es la presión que se requiere en el proceso del que forma parte el tanque, a la cual trabaja normalmente éste.

3.5.2 Presión de diseño (P)

Es la presión que se emplea para diseñar el tanque. (UG-21) Cada elemento de un tanque a presión se debe diseñar para, al menos, la condición más severa de presión.

$$\text{Si } P_o > 300 \text{ (psi)} \quad \rightarrow \quad P = 1.1 * P_o$$

$$\text{Si } P_o \leq 300 \text{ (psi)} \quad \rightarrow \quad P = P_o + 30 \text{ (psi)}$$

Como la presión del sistema es 300 psi se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 3.1 Presión de diseño

$$P = 1,1 * P_o$$

Donde:

P = Presión de diseño

P_o = Presión de operación

3.5.3 Presión de trabajo máxima permitida (*MAWP*)

Es la presión interna a la que está sujeto el elemento más débil del tanque correspondiente al esfuerzo máximo admisible, cuando se supone que el tanque está:

- a) En estado de desgaste por corrosión
- b) A una temperatura determinada
- c) En posición normal de trabajo
- d) Bajo el efecto de otras cargas (carga de viento, presión externa, presión hidrostática, etc.) que son aditivas a la presión interna.

3.6 Corrosión

La corrosión se conoce como el deterioro de un material o aleación a causa de un ataque químico directo o por reacción electroquímica provocando el desgaste del hierro dentro del acero lo que implica la pérdida de sus características como la dureza o resistencia.

Los tanques o las partes del tanque sujetas a desgaste por la corrosión, erosión o abrasión mecánica deberán tener aumento en el espesor del material sobre el determinado por las fórmulas de diseño.

El equipo debe ser diseñado para cierto mínimo de vida de servicio bajo condiciones de operación específica.

Para este proyecto se tomará en cuenta el Manual de tanques a presión (Megyesy, Manual de recipientes a presión, 1992) que dice lo siguiente:

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

“Un desgaste por corrosión de 5 milésimas de pulgada por año generalmente es satisfactorio para tanques y tuberías.” Este tanque será diseñado para un tiempo de servicio de 20 años porque es un equipo difícil de reemplazar y además costoso.

Calculando la tolerancia a la corrosión (C):

$$20 \text{ años} * \frac{5 * 10^{-3} \text{ pulgadas}}{1 \text{ año}} = 0,1 \text{ plg}$$

$$C = 0,1 \text{ (plg)}$$

3.7 Soldadura

Hoy en día, la soldadura es el método más comúnmente usado en la fabricación del cuerpo del tanque a presión. La estructura, las partes que no están sometidas a presión tales como anillos atiesadores, orejas de levantamiento, bandejas internas, y otros equipos usualmente están unidos a las paredes del tanque mediante soldadura.

El método de soldadura industrial más usado es el proceso de arco eléctrico sumergido, que es como cualquiera de varios procesos de soldadura donde el calor de fusión es generado por un arco eléctrico.

Para verificar si una soldadura ha sido bien ejecutada se realiza una inspección mediante una prueba radiográfica.

Esta prueba puede ser: Radiografía completa (full), Radiografía por puntos (spot), sin radiografía (non) (UW-11).

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Se requiere una **radiografía completa** para:

- Todas las soldaduras a tope en cascos y cabezas de tanques que contengan sustancias letales.
- Todas las soldaduras a tope en cascos y cabezales de tanques en los que t en la unión soldada sea superior a 1 ½ pulgada.
- Todas las soldaduras a tope en calderas con presiones
 - (1) Que superen los 50PSI
 - (2) No superior a 50 pero con un espesor nominal en la junta soldada superior al especificado en el punto anterior.
- Todas las soldaduras a tope en boquillas y cámaras de comunicación, etc.
 - (1) Con un t que exceda el menor de los espesores prescritos en la subsección de materiales o
 - (2) Adheridas a un tanque que deba ser radiografiado en su totalidad
- Todas las soldaduras a tope categorías A y D en secciones de tanques o cabezas donde el diseño de la junta o de la parte esté basado en la eficiencia de la junta permitida por UW-12(a), en cuyo caso:
 - (1) Soldaduras de categoría A y B que conectan el cuerpo o las cabezas de los tanques serán del tipo No. (1) o del tipo No. (2)

Se requiere una **Radiografía spot** para:

- Las soldaduras a tope categorías B o C que intercepten soldaduras a tope categoría A, o conecten secciones sin costura o cabezas deberán, como mínimo, cumplir los requisitos para Radiografía "Spot" (por puntos).

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

- La radiografía por “spot” (puntos) es una herramienta de inspección y un chequeo de control de calidad. La mínima extensión de un “spot” (punto) a examinar por RT (radiografía) debe incluir:

Un “spot” (punto) de 6 (150mm) por cada incremento de soldadura de 50 ft (15m) o fracción de este.

Cada incremento de 50 ft (15m) tiene que incluir un número suficiente de puntos para examinar el trabajo de cada soldador.

No radiografía:

- Se puede evitar el examen radiográfico si se cumplen las siguientes condiciones:
- El espesor nominal en la junta soldada no debe exceder 1/ 4 pulg. (6 mm).
- Para materiales ferromagnéticos, las soldaduras son examinadas por la técnica de examen de partículas magnéticas de acuerdo con el Apéndice Obligatorio 6 del código ASME o examinadas por la técnica de examen de líquido penetrante.

3.7.1 Eficiencia de juntas

Es un valor (E) que indica el grado de confiabilidad en la unión o en esa parte del equipo para resistir los efectos de las cargas bajo las cuales estará sometida. Depende no sólo del tipo de soldadura, sino también del grado de examen radiográfico. Cuando se realiza una radiografía del 100 % en una junta soldada, ésta es muy confiable.

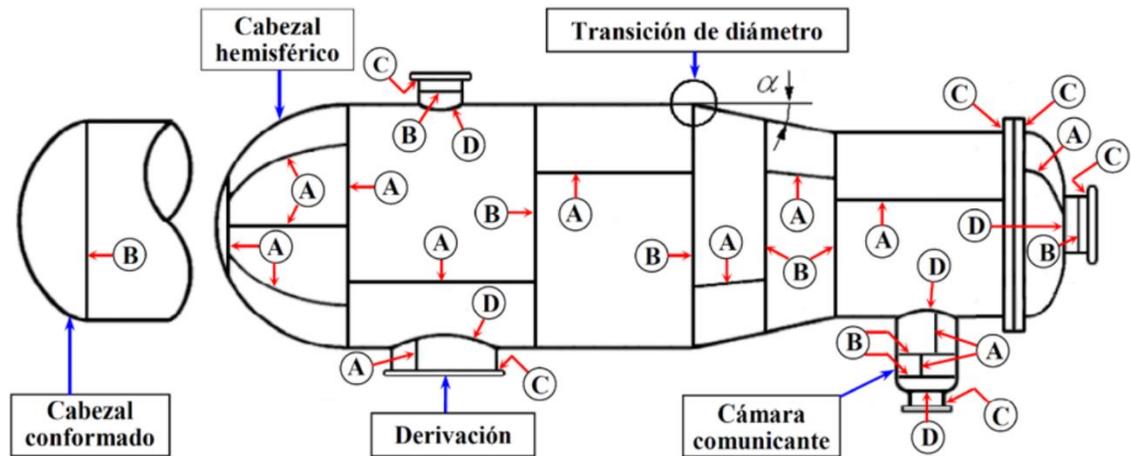
3.7.2 Categoría de juntas

El término “categoría” es usado para definir la localización de la junta soldada en el tanque, pero no el tipo de junta.

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Las categorías de las juntas soldadas se utilizan para especificar requerimientos especiales sobre: a) tipo de junta permitida y b) grado de inspección.

Figura 3.5 Categoría de juntas



Fuente: ASME sección VIII, División 1, Parte UW-12

Categoría A

- 1) Uniones longitudinales en: *i)* cuerpo principal, *ii)* cámaras comunicadas, *iii)* transiciones de diámetro y *iv)* derivaciones.
- 2) Uniones soldadas en: *i)* tanques esféricos, *ii)* cabezales conformados o *iii)* cabezales planos.
- 3) Uniones circunferenciales que conectan los cabezales hemisféricos con: *i)* el cuerpo principal, *ii)* transiciones de diámetro, *iii)* derivaciones o *iv)* cámaras comunicadas.

Categoría B

Uniones soldadas circunferenciales en el depósito principal, transiciones de diámetro, incluyendo las juntas entre la transición y el cilindro, uniones soldadas circunferenciales conectadas que forman la tapa hemisférica de los depósitos, las transiciones de diámetro a las boquillas.

Categoría C

Uniones que conectan a las bridas, las placas de tubos o los cabezales planos con el cuerpo principal, los cabezales conformados, las transiciones de diámetro, las derivaciones o las cámaras comunicadas.

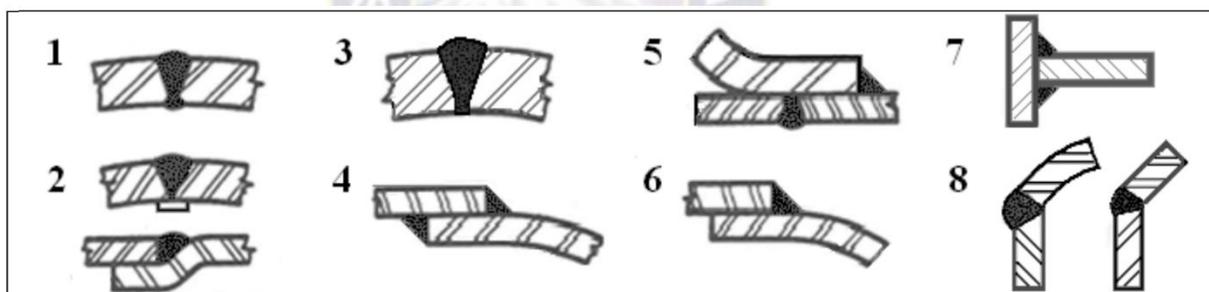
Categoría D

Las juntas soldadas uniendo boquillas al cuerpo principal, a las esferas, a las transiciones de diámetro, a las tapas.

*El ángulo de transición α no será superior a 30 grados

3.7.3 Tipos de juntas

Figura 3.6 Tipos de juntas soldadas



El tipo de junta define la configuración de la junta soldada y a continuación se describen las juntas (J.Massa-J.Giro-A.Giudici, 2015).

- **Tipo 1:** Son juntas a tope de doble arco de soldadura, (con depósito de material en las superficies interna y externa).
- **Tipo 2:** Son juntas a tope de simple arco de soldadura, con respaldo, el cual permanece en el interior del tanque.
- **Tipo 3:** Son juntas a tope de simple arco de soldadura, sin respaldo

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

- **Tipo 4:** Son juntas a filete completas de doble solape.
- **Tipo 5:** Son juntas completas de simple solape con soldaduras tipo enchufada (plug).
- **Tipo 6:** Son juntas a filetes completas de simple solape.
- **Tipo 7:** Son juntas de esquina.
- **Tipo 8:** Son juntas de ángulo

A continuación, se describe una tabla para la selección de la eficiencia de las juntas:

Tabla 3.3 Eficiencias máximas admisibles de juntas para juntas soldadas

Tipo de junta	Limitaciones	Categoría de juntas	Eficiencia de la junta (E)		
			Full	Spot	None
1	ninguna	A, B, C y D	1	0,85	0,7
2	a) ninguna excepto lo indicado en b)	A, B, C y D	0,9	0,8	0,65
	b) Uniones a tope circunferenciales	A, B y C	0,9	0,8	0,65
3	Sólo juntas circunferenciales con espesor $t \leq 5/8"$, y DE hasta 24"	A, B y C	NA	NA	0,6
4	a) Juntas longitudinales con $t \leq 3/8"$	A	NA	NA	0,55
	b) Juntas circunferenciales con $t \leq 5/8"$	B y C	NA	NA	0,55
5	a) Juntas circunferenciales, cabezal a cuerpo donde el espesor del cuerpo es $t \leq 1/2"$ y $DE \leq 24"$	B	NA	NA	0,5
	b) Juntas circunferenciales, Cuerpo de chaquetas donde el espesor $t \leq 5/8"$	C	NA	NA	0,5

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

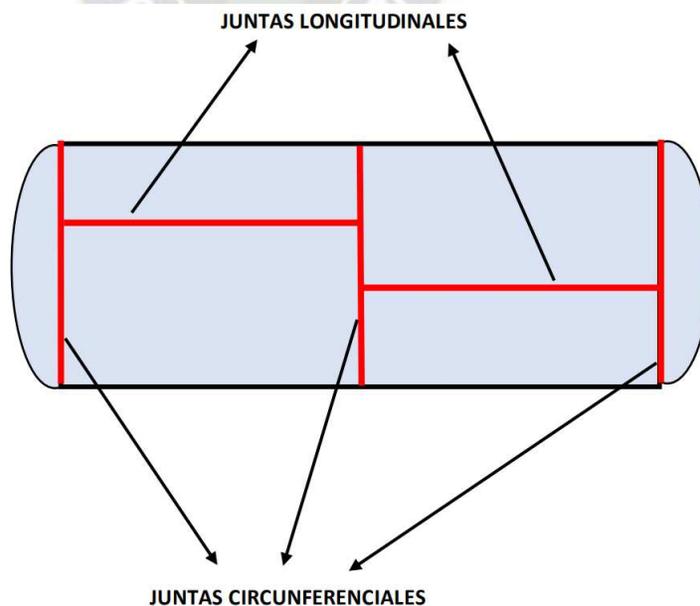
6	a) Cabezas convexas a cuerpo donde el espesor requerido del cuerpo $t \leq 5/8"$	A y B	NA	NA	0,45
	b) Cabezal al cuerpo donde el espesor requerido del cuerpo $t \leq 1/4"$	A y B	NA	NA	0,45
7	como lo delimita la figura UE-13.2 del código ASME	C y D	NA	NA	NA
8	Diseño por U-2 (g)	B, C y D	NA	NA	NA

Fuente: ASME Sección VIII, División 1, UW-12

3.7.4 Eficiencia de juntas en el cuerpo

Para el cálculo de la eficiencia de las juntas en el cuerpo es importante señalar que a lo largo del cilindro habrá uniones tanto longitudinales como circunferenciales y uniones en las boquillas, lo que determina que las categorías de juntas en esa sección serán A, B y D.

Figura 3.7 Juntas longitudinales y circunferenciales



Fuente: Elaboración en base al tipo de juntas en un tanque a presión

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

La elección del tipo de juntas será del tipo 1 porque admite las categorías tan A, B, C y D y no tiene restricciones con el espesor y los diámetros.

El tanque a diseñar tendrá una presión mayor a 50 psi y una vida útil de 20 años, por lo tanto, se va a requerir en el cuerpo o envolvente una prueba radiográfica del 100 % (full), ya que es preciso un control de calidad más estricto.

Con todos estos datos y la tabla 3.3, se determina el valor de la eficiencia de la junta del cuerpo:

$$E = 1$$

3.7.5 Eficiencia de juntas en el cabezal

Para este diseño se va a seleccionar un semiesférico los cuales son usados para alta presión y grandes diámetros.

Generalmente estos cabezales no pueden ser formados de una sola plancha plana, entonces debe ser fabricado con costuras.

Las juntas del cabezal semiesférico son de categoría A y del Tipo Nro. 1. Y, al igual que el cuerpo, requiere de una prueba radiográfica completa. Por lo tanto, el valor de la eficiencia de junta del cabezal es 1.

$$E = 1$$

3.8 Necesidades del usuario

Para un buen diseño se debe tener en cuenta los requerimientos del cliente en base a las características del sistema de operación, el ambiente en el que estará sometido el tanque y el uso que se le da al mismo, etc.

Presión de operación= 300 Psi

Presión de diseño= 330 psi

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Temperatura de operación: Temperatura ambiente 75,2°F (24°C)

Temperatura de diseño: 211 °C (411,8 °F)

Fluido a almacenar: Gas Licuado de Petróleo (GLP)

Capacidad de almacenamiento del tanque: $78 \text{ m}^3 = 4759852,04 \text{ pulg}^3$

Diámetro del tanque: 2,54 m=100 pulg

Radio del tanque: 1,27 m = 50 pulg



4 Capítulo IV Aplicación Práctica-Diseño de tanque a presión para almacenar GLP

4.1 Cálculo del espesor de los cabezales a presión interna

Cuando la presión de diseño no excede $0,665 \cdot S \cdot E$, se opta por cabezales semiesféricos y se utiliza la siguiente fórmula para determinar el mínimo espesor requerido UG-32:

- El espesor mínimo requerido del cuerpo o envolvente se calcula con la siguiente fórmula:

Ecuación 4.1 Espesor mínimo requerido de cabezal

$$t = \frac{P * L}{2 * S * E - 0,2 * P}$$

Donde:

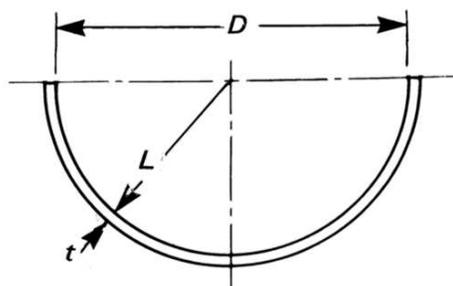
P = Presión de diseño, psi

L = Radio de la corona, pulg

S = Máximo esfuerzo permisible del material, psi

E = Eficiencia de las juntas soldadas

Figura 4.1 Variables de un cabezal semiesférico



Fuente: ASME Sección VIII, división 1

$$t_{requerido} = \frac{330(psi) * 50(plg)}{2 * 20015,2(psi) * 1 - 0,2 * 330(psi)}$$

$$t_{requerido} = 0,41 \text{ pulg}$$

- El espesor de diseño es el resultado de la suma del espesor mínimo requerido más el margen de corrosión.

Ecuación 4.2 Espesor de diseño

$$t_{diseño} = t_{requerido} + C$$

$$t_{diseño} = 0,41 \text{ pulg} + 0,1 \text{ pulg}$$

$$t_{diseño} = 0,51 \text{ pulg}$$

- El espesor nominal es el espesor comercial cuyo valor es el inmediato superior al espesor de diseño.

$$t_{nominal} = 0,625 \text{ pulg} = \frac{5}{8} \text{ pulg}$$

4.2 Cálculo de altura de la faldilla del cuerpo del cilindro

En el fondo del cuerpo se encuentra la línea de transición de una figura bombeada a una cilíndrica. Esta línea de transición, denominada línea de tangencia, está sometida a grandes tensiones axiales y, debido a eso, éste es el punto más débil del tanque; por ese motivo no se recomienda realizar la soldadura de unión cabezal-cuerpo a lo largo de esta línea.

El cabezal debe tener una parte cilíndrica denominada faldilla para permitir una correcta transición de espesores cabezal-cuerpo y evitar que se realice una soldadura en

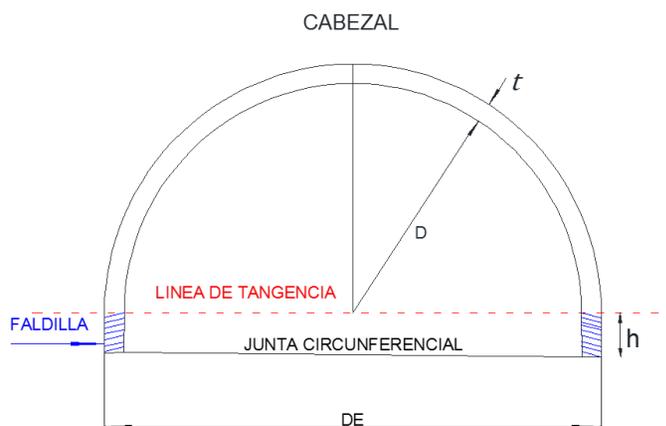
DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

la línea de tangencia. La faldilla debe tener una altura mínima h que se obtiene de la siguiente fórmula:

Ecuación 4.3 Altura de la faldilla del cabezal

$$h = 0,3 * \sqrt{DE * t}$$

Figura 4.2 Faldilla de un cabezal semiesférico



Fuente: Elaboración realizada con uso de Autocad

Donde:

DE = Diámetro exterior cabezal

t = espesor cabezal

D = Diámetro interior del cabezal

h = altura del cabezal

$$DE = D + 2 * t$$

$$DE = 100 \text{ pulg} + 2 * \frac{5}{8} \text{ pulg}$$

$$DE = 101,25 \text{ pulg}$$

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

$$h = 0.3 \sqrt{101,25 (plg) * \frac{5}{8} (plg)}$$

$$h = 2,4 plg = 0,06096 (m)$$

Con los datos hallados, procedemos a calcular la longitud del casco cilíndrico:

Ecuación 4.4 Capacidad total del tanque

$$\text{Capacidad del recipiente} = Cap_{cilindro} + Cap_{esfera} + 2 * Cap_{faldilla}$$

$$Cap = \frac{\pi}{4} * D^2 * L + \frac{\pi}{6} * D^3 + 2 * \frac{\pi}{6} * D^2 * h$$

$$L = \frac{Cap - \frac{\pi}{6} * D^3 - \frac{\pi}{3} * D^2 * h}{\frac{\pi}{4} * D^2}$$

$$L = \frac{78(m^3) - \frac{\pi}{6} * (2,54 m)^3 - \frac{\pi}{3} * (2,54 m)^2 * 0,06096 m}{\frac{\pi}{4} * (2,54 m)^2}$$

$$L = 13,62 m = 536,22 plg$$

4.3 Cálculo del espesor del cuerpo cilíndrico por presión interna

- El espesor mínimo requerido UG-27:

Ecuación 4.5 Espesor mínimo requerido del cuerpo cilíndrico del tanque

$$t = \frac{P * R}{S * E - 0,6 * P}$$

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Donde:

P = Presión de diseño, psi

R = Radio del cilindro, pulg

S = Máximo esfuerzo permisible, psi

E = Eficiencia de las juntas

$$t_{requerido} = \frac{330(\text{psi}) * 50 (\text{plg})}{20015,2(\text{psi}) * 1 - 0,6 * 330(\text{psi})}$$

$$t_{requerido} = 0,83 \text{ pulg}$$

- Espesor de diseño.

$$t_{diseño} = t_{requerido} + C$$

$$t_{diseño} = 0,83 \text{ pulg} + 0,1 \text{ pulg}$$

$$t_{diseño} = 0,93 \text{ pulg}$$

- El espesor nominal, en este caso es de 1 pulg

$$t_{nominal} = 1 \text{ pulg}$$

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Tabla 4.1 Resumen de las dimensiones calculadas para los cabezales del tanque

Dimensiones de cabezales del tanque		
Espesor mínimo requerido	t_{min}	0,41
Espesor de diseño	$t_{diseño}$	0,51
Espesor nominal	$t_{nominal}$	0,625
Altura de la faldilla	$h_{faldilla}$	2,4
Diámetro interno	DI	100
Diámetro externo	DE	101,225

Fuente: Elaboración en base a los resultados obtenidos de cálculo de las dimensiones del tanque

Tabla 4.2 Resumen de las dimensiones calculadas para el cuerpo cilíndrico del tanque

Dimensiones del cuerpo cilíndrico del tanque (plg)		
Espesor mínimo requerido	t_{min}	0,83
Espesor de diseño	$t_{diseño}$	0,93
Espesor nominal	$t_{nominal}$	1
Longitud entre las líneas de soldadura cuerpo/cabezales	L	536,22
Diámetro interno	DI	100
Diámetro externo	DE	102

Fuente: Elaboración en base a los resultados obtenidos de cálculo de las dimensiones del tanque

4.4 Diseño del espesor a presión externa (vacío)

El tanque se encontrará trabajando a una presión externa atmosférica (15 psi), y el este diseño servirá para verificar que el material esté apto para soportar tal presión al momento de estar al vacío, de no ser así, se deberá diseñar anillos atiesadores en el casco cilíndrico. Se usa la siguiente formula:

Ecuación 4.6 Presión externa del tanque

$$P_a = \frac{4 * B}{3 * (D_o/t)}$$

Donde:

P_a =Presión máxima de trabajo permitida, psi

D_o =Diámetro exterior del cilíndrico

t=Espesor de pared mínimo requerido

L=Distancia entre las tangentes de los cabezales

B=Factor determinado por medio de la gráfica mostrada en la figura No 4.3, cuyo valor depende del material a utilizado y de la temperatura de diseño.

Figura 4.3 Longitud del cuerpo de un tanque horizontal



Fuente: Elaboración realizada con uso de Autocad

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

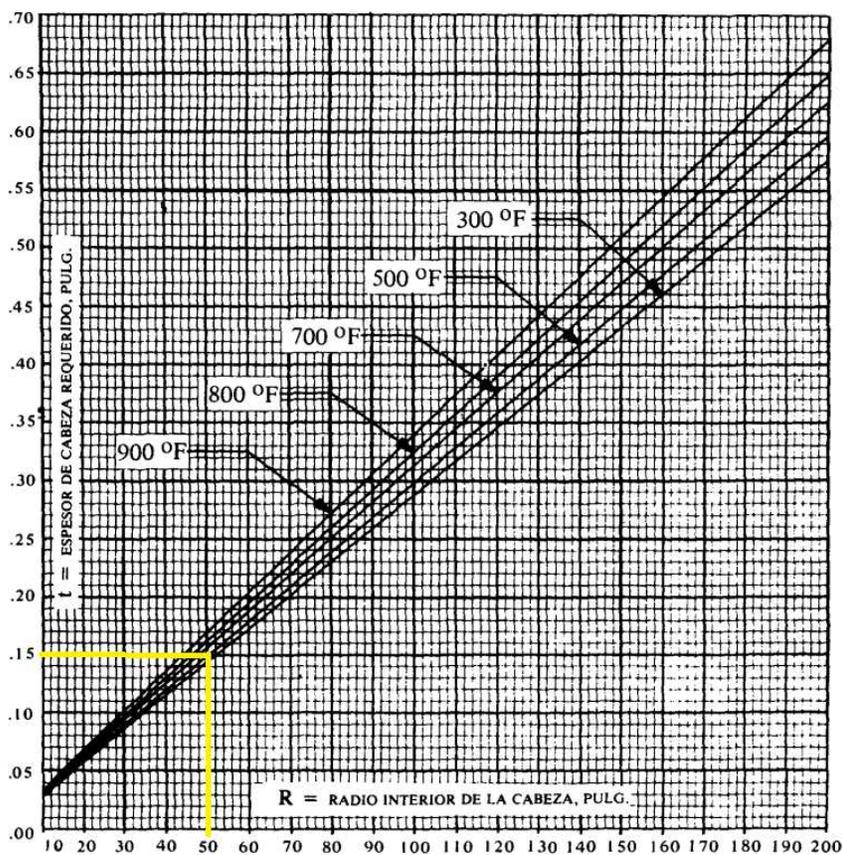
EL valor de L se encuentra de la siguiente manera:

$$L = L_{cilindro} + 2 * h = 536,22 + 2 * 2,4 = 541,02 \text{ pulg}$$

El valor de B deberá determinarse por el siguiente procedimiento:

1. Suponer un valor para t utilizando la gráfica 4.1

Gráfica 4.1 Gráfica para determinar el espesor de pared de tanques sujetos a vacío completo



Fuente: *MANUAL DE RECIPIENTES A PRESIÓN*, Eugene F. Megyesy

t = 0,15 pulg

2. Hallar:

$$\frac{L}{D_o} = \frac{536,22}{102} = 5,25$$

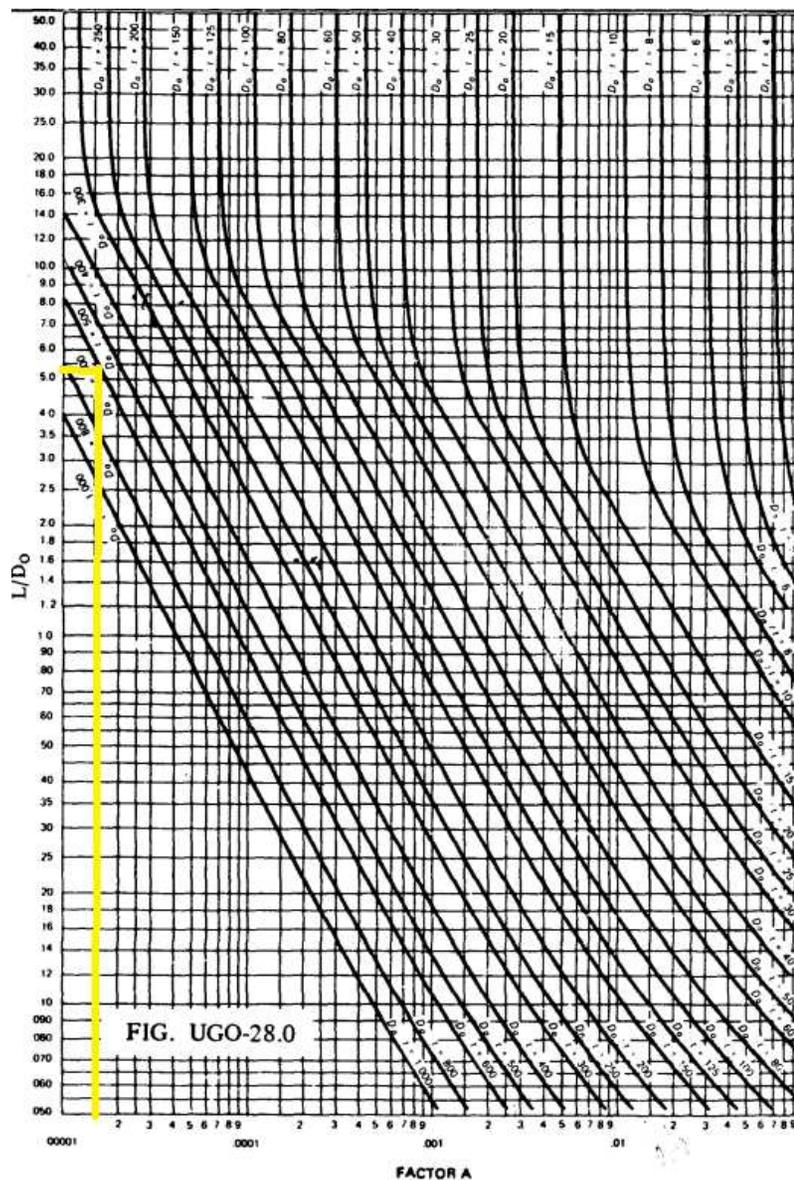
∧

$$\frac{D_o}{t} = \frac{102}{0,15} = 680$$

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

3. Con la gráfica 4.2 y los valores de $\frac{L}{D_o}$ y $\frac{D_o}{t}$, hallar el valor de A

Gráfica 4.2 VALORES DEL FACTOR A QUE SE USAN EN LAS FORMULAS PARA TANQUES SOMETIDOS A PRESION EXTERNA



VALORES DEL FACTOR A QUE SE USAN EN LAS FORMULAS PARA RECIPIENTES SOMETIDOS A PRESION EXTERNA

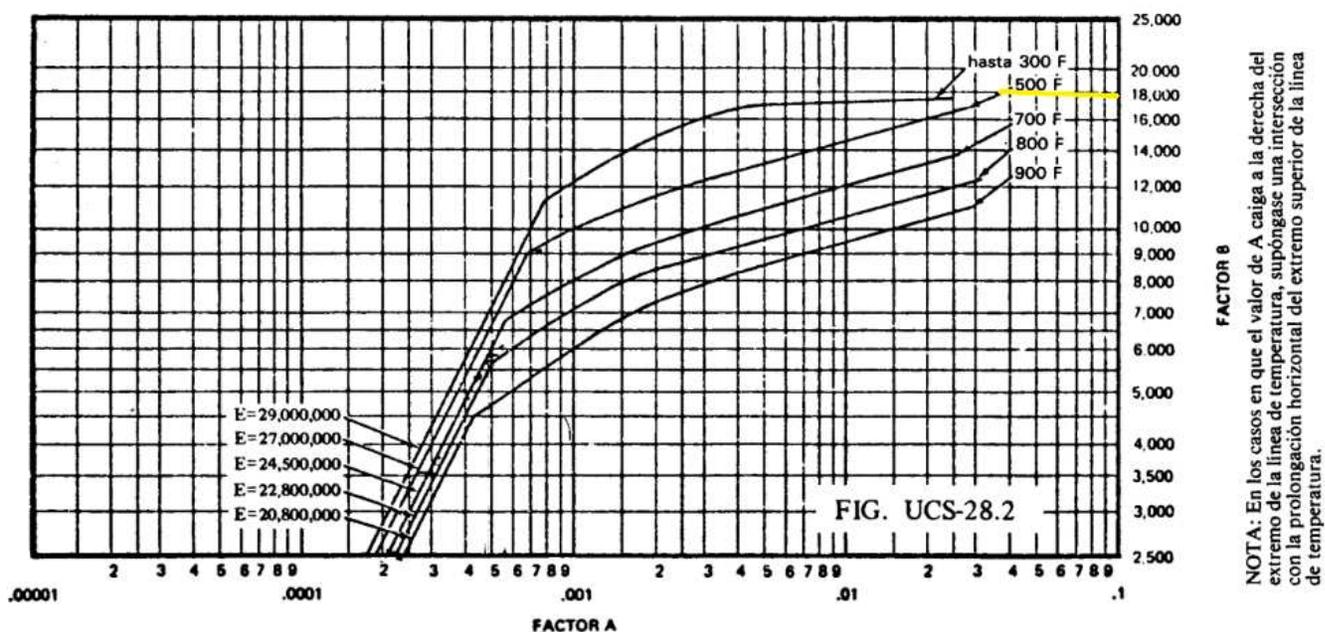
Fuente: MANUAL DE RECIPIENTES A PRESIÓN, Eugene F. Megyesy

A=0,000012

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

4. Con la gráfica 4.3, se debe entrar con el valor de A en la gráfica del material aplicable. Seguir verticalmente hasta la línea de temperatura y seguir horizontalmente hasta obtener el valor de B

Gráfica 4.3 VALORES DEL FACTOR B QUE SE EMPLEAN EN LAS FORMULAS PARA TANQUES SUJETOS A PRESION EXTERNA para el material SA 516-70



Fuente: Fuente: MANUAL DE RECIPIENTES A PRESIÓN, Eugene F. Megyesy

B=18000

5. Reemplazar todos los valores en la fórmula de P_a

$$P_a = \frac{4 * 18000}{3 * (102/0,15)}$$

$$P_a = 35,29 \text{ psi} > 15 \text{ psi}$$

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Como la máxima presión permitida P_a es mayor que la presión de diseño (P_{atm}), el material soporta la presión de vacío y no es necesario diseñar anillos atiesadores en el casco cilíndrico.

4.5 Cálculo de las silletas

Los métodos de diseño de los soportes para tanques horizontales se basan en el análisis presentado en 1951 por L. P. Zick (Pressure Vessel and Piping Design) como práctica recomendada.

Según el Reglamento para Construcción y Operación de Plantas de Engarrafado de Gas Licuado de Petróleo (GLP), “el montaje de los tanques se hará de tal forma que evite la concentración de cargas excesivas en los apoyos o soportes, los que deberán ser de hormigón armado.”

Para este cálculo se usará el *Compendio de Cálculo Estructural II -FCEFN-UNC*.

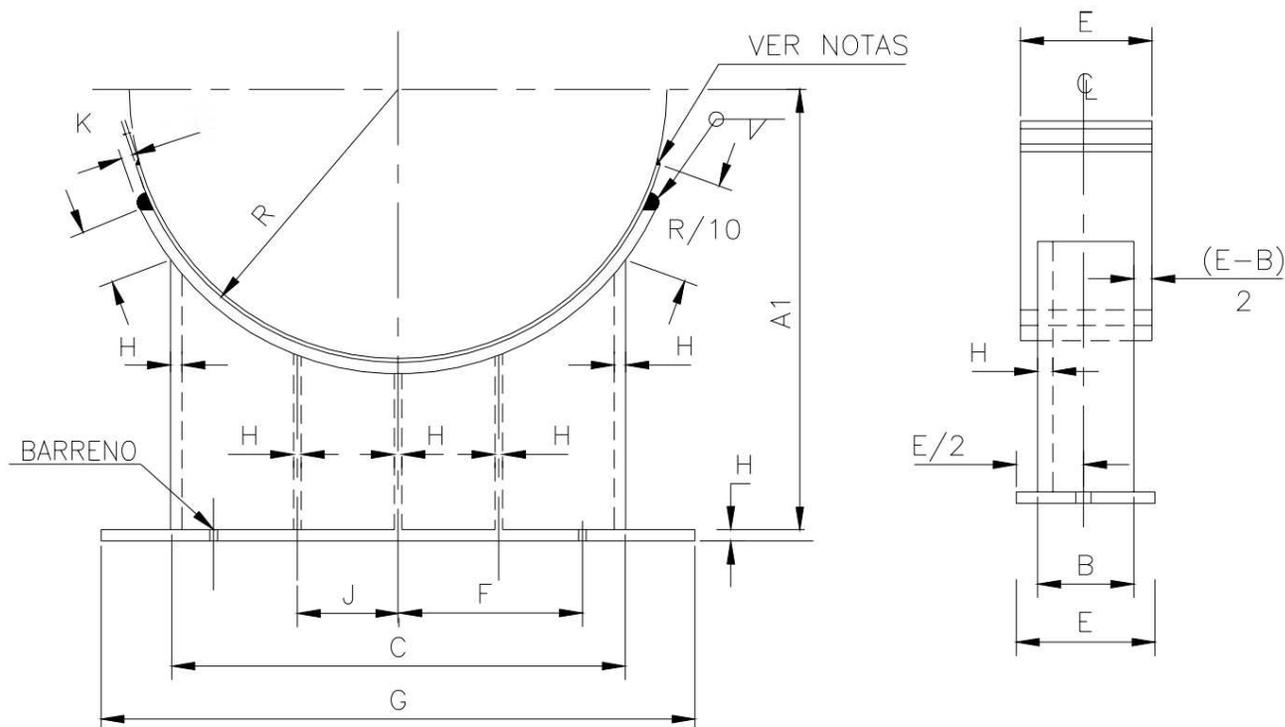
Un tanque horizontal montado sobre soportes de silleta actúa como una viga, con las siguientes diferencias:

1. Las condiciones de carga son diferentes para el tanque total o parcialmente lleno.
2. Los esfuerzos sobre el tanque varían según el ángulo formado por las silletas.
3. La carga del tanque sólo se combina con las demás cargas.

4.5.1 Dimensiones de las siletas o soportes

Para esta parte del diseño se utilizan tablas basadas en código ASME sección VIII división 1.

Figura 4.4 Dimensiones de siletas para tanques de 24" a 144" Ø



Fuente: DISEÑO Y CÁLCULO DE TANQUES SUJETOS A PRESIÓN, ING. JUAN MANUEL LEÓN ESTRADA, EDICIÓN 2001

El material recomendado para las siletas es SA-283 gr C

Las dimensiones finales de las siletas o soportes, de acuerdo a la siguiente figura serán:

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Figura 4.5 Características y dimensiones de soportes para tanques horizontales de 24" a 144" Ø

		SOPORTE PARA RECIPIENTES HORIZONTALES																NORMAS	
																		FIGURA No. 65	
DIAM. RECIPIENTE D	CARGA MÁX. POR SOPORTE kg	CARACTERÍSTICAS																CAMBIOS RECIPIENTES	
		TODAS LAS DIMENSIONES EN PULGADAS																	
A1	B	C	D	E	F	G	H	J	K	DIÁMETRO ANCA		DIÁMETRO BARRIL		DIÁMETRO DE LA SOLICITUD		PESO DE CADA SOPORTE kg			
24	3410	19	6	22	3/8	7	8	23	5/16	11	3/16	3/4	1	1x1-1/2	1/4		23	1	
30	4545	22	6	27	7/16	7	10-1/2	29	5/16	13-1/2	3/16	3/4	1	1x1-1/2	1/4	30	1		
36	6818	25	6	32	1/2	7	12-1/2	34	3/8	16	1/4	3/4	1	1x1-1/2	1/4	41	1		
42	9090	28	6	38	9/16	7	16	40	1/2	19	5/16	3/4	1	1x1-1/2	5/16	50	1		
48	18180	31	8	43	5/8	9	18	45	1/2	21-1/2	3/8	7/8	1-1/8	1-1/8-3/4	3/8	91	1		
54	22727	34	8	48	5/8	9	20	50	1/2	12	3/8	7/8	1-1/8	1-1/8-3/4	3/8	110	2		
60	27270	37	8	53	5/8	9	23	55	1/2	13	3/8	7/8	1-1/8	1-1/8-3/4	3/8	123	2		
66	34090	40	8	58	5/8	9	25	60	1/2	14	3/8	7/8	1-1/8	1-1/8-3/4	3/8	136	2		
72	38636	43	8	63	5/8	9	28	65	1/2	16	3/8	7/8	1-1/8	1-1/8-3/4	3/8	148	2		
78	45455	46	8	69	5/8	9	31	71	1/2	17	3/8	7/8	1-1/8	1-1/8-3/4	3/8	160	2		
84	68180	49	9	74	3/4	10	33	76	5/8	19	1/2	7/8	1-1/8	1-1/8-3/4	1/2	225	2		
90	79540	52	9	79	3/4	10	35	81	5/8	20	1/2	7/8	1-1/8	1-1/8-3/4	1/2	250	2		
96	90900	55	9	84	3/4	10	37	86	5/8	21	1/2	1	1-1/4	1-1/4-1/2	1/2	270	2		
102	104540	58	9	90	3/4	10	40	92	5/8	23	1/2	1	1-1/4	1-1/4-1/2	1/2	295	2		
108	125000	61	10	95	3/4	11	42	97	5/8	24	1/2	1	1-1/4	1-1/4-1/2	1/2	320	2		
114	159100	64	10	100	3/4	11	44	102	5/8	25	1/2	1	1-1/4	1-1/4-1/2	1/2	345	2		
120	177270	67	10	105	3/4	11	46	107	5/8	26	1/2	1	1-1/4	1-1/4-1/2	1/2	365	2		
126	200000	70	10	110	3/4	11	48	112	5/8	28	1/2	1	1-1/4	1-1/4-1/2	1/2	385	2		
132	227270	73	10	116	3/4	11	51	118	5/8	29	1/2	1	1-1/4	1-1/4-1/2	1/2	410	2		
138	245450	76	10	121	3/4	11	53	123	5/8	30	1/2	1	1-1/4	1-1/4-1/2	1/2	430	2		
144	263600	79	10	126	3/4	11	55	128	5/8	32	1/2	1	1-1/4	1-1/4-1/2	1/2	455	2		

Fuente: DISEÑO Y CÁLCULO DE TANQUES SUJETOS A PRESIÓN, ING. JUAN MANUEL LEÓN ESTRADA, EDICIÓN 2001

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Maxima carga para 2 soportes = 104540 Kg = 230471,25 lb

Las dimensiones de las silletas serán:

Tabla 4.3 Dimensiones de las silletas del tanque

A1	58 plg
B	9 plg
C	90 plg
D	$\frac{3}{4}$ plg
E	10 plg
F	40 plg
G	92 plg
H	$\frac{5}{8}$
J	23 plg
K	$\frac{1}{2}$ plg

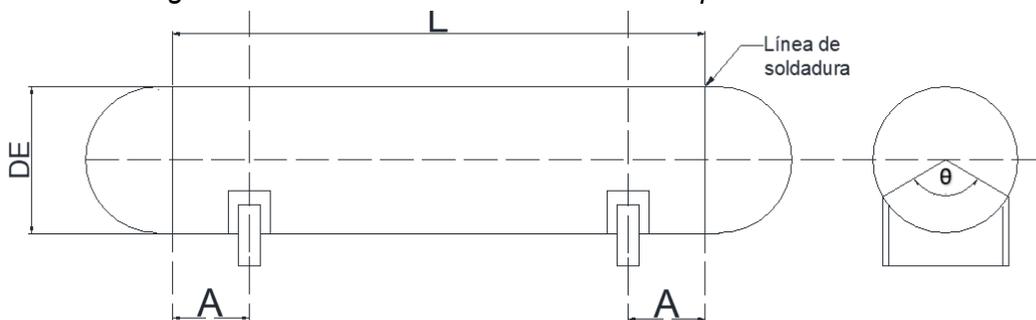
Fuente: Elaboración propia en base al manual DISEÑO Y CÁLCULO DE TANQUES SUJETOS A PRESIÓN, ING. JUAN MANUEL LEÓN ESTRADA, EDICIÓN 2001

4.5.2 Ubicación de las silletas

Según el Manual de tanques a presión (Megyesy, 1992), “desde los puntos de vista estático y económico, se prefiere el uso de dos silletas únicamente a diferencia del sistema de varios soportes, y eso es válido aun cuando es necesario usar anillos atiesadores.

La ubicación de las silletas debe ser en los puntos estáticamente óptimos y se toma en cuenta las siguientes variables:

Figura 4.6 Ubicación de las silletas del tanque horizontal



Fuente: Elaboración realizada con uso de Autocad

Donde:

L = longitud del casco cilíndrico

DE=Diámetro externo del cilindro

θ = Angulo de contacto, El código ASME recomienda un ángulo de contacto de 120°

A = Distancia desde la línea de soldadura cabezal-cilindro hasta el centro de la silleta

El valor de A debe cumplir:

$$0,2 DE \leq A \leq 0,2 L$$

$$0,2*102" \leq A \leq 0,2*536,22"$$

$$20,4" \leq A \leq 107,24$$

Se escoge un valor promedio entre ambos y se tiene que:

$$A= 60 \text{ plg}$$

4.5.3 Cálculo del peso total del tanque

El peso total del tanque estará dado por la suma del peso del tanque vacío y el peso de agua que ocupe la capacidad total del tanque.

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Ecuación 4.7 Peso total del tanque lleno de agua

$$W_{total} = W_{tanque} + W_{H_2O}$$

$$W = V * \gamma$$

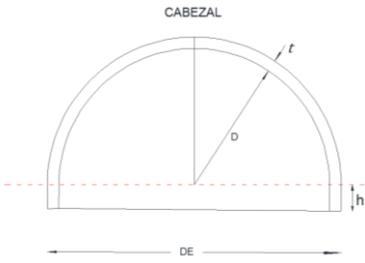
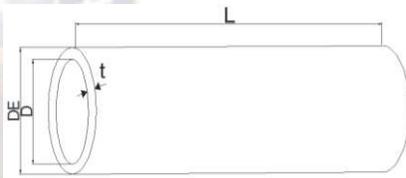
$$\gamma_{H_2O} = 3,61 \times 10^{-2} \text{ lb/pulg}^3$$

$$\gamma_{acero SA-516 70} = 0,285 \text{ lb/pulg}^3$$

Ecuación 4.8 Volumen total del tanque

$$V_{tanque} = V_{cilindro} + V_{cabezales}$$

Tabla 4.4 Cálculo del volumen del cuerpo del tanque

VOLUMEN CABEZALES	VOLUMEN CILINDRO
 <p>Diagram of a hemispherical head with diameter DE, thickness t, and height h.</p> $V_{cabezales} = V_{esfera\ hueca} + 2 * V_{faldilla}$ $V_{cabezales} = \frac{\pi}{6} * DE^3 - \frac{\pi}{6} * D^3 + 2 * \left(\frac{\pi}{4} * DE^2 * h - \frac{\pi}{4} * D^2 * h \right)$ $V_{cabezales} = \frac{\pi}{6} * (DE^3 - D^3) + \frac{\pi}{2} * h * (DE^2 - D^2)$ $V_{cabezales} = \frac{\pi}{6} * (101.25^3 - 100^3) + \frac{\pi}{2} * 2.4 * (101.25^2 - 100^2)$ $V_{cabezales} = 20829,78 \text{ pulg}^3$	 <p>Diagram of a cylindrical body with length L, diameter DE, and thickness t.</p> $V_{cilindro\ hueco} = \frac{\pi}{4} * L * (DE^2 - D^2)$ $V_{cilindro\ hueco} = \frac{\pi}{4} * 536.22 * (102^2 - 100^2)$ $V_{cilindro\ hueco} = 170143,07 \text{ pulg}^3$

Fuente: Elaboración en base a cálculos realizados

$$V_{tanque} = 190972,85 \text{ pulg}^3$$

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

$$W_{tanque} = 190972,85 \text{ pulg}^3 * 0,285 \text{ lb/pulg}^3$$

$$W_{tanque} = 54427,26 \text{ lb}$$

Nota: Para tomar en cuenta el peso de boquillas, soldadura y accesorios, se debe asumir que el peso de estos es el 10% del peso del tanque.

$$W_{tanque} = 54427,26 \text{ lb} + 0,1 * 54427,26 \text{ lb}$$

$$W_{tanque} = 59870 \text{ lb}$$

El volumen de agua será igual a la capacidad del tanque:

$$V_{H_2O} = 4759852,04 \text{ pulg}^3$$

$$W_{H_2O} = 4759852,04 \text{ pulg}^3 * 3,61 \times 10^{-2} \text{ lb/pulg}^3$$

$$W_{H_2O} = 171830,66 \text{ lb}$$

Finalmente.

$$W_{total} = 59870 \text{ lb} + 171830,66 \text{ lb}$$

$$W_{total} = 231700,66 \text{ lb}$$

4.5.4 Análisis de esfuerzos

Un tanque horizontal que reposa en dos soportes o silletas puede ser analizado como una viga descansando la carga uniforme del peso del tanque y su contenido.

El objetivo de analizar estos esfuerzos es para ver si es necesario instalar anillos de refuerzos en los planos de los soportes o silletas.

Los tanques soportados por silletas están sujetos a:

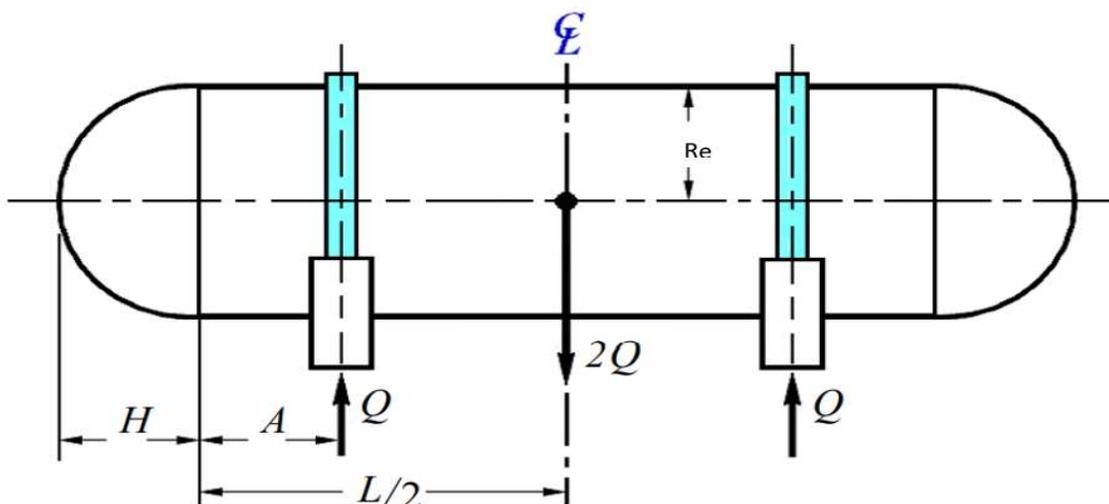
DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

1. Esfuerzo flexionante longitudinal
2. Esfuerzo cortante tangencial
3. Esfuerzo circunferencial

4.5.4.1 Esfuerzos longitudinales por la flexión

Los esfuerzos longitudinales por la flexión en el cuerpo del tanque se deben analizar en el plano medio del tanque y en los planos de las silletas.

Figura 4.7 Tanque horizontal a presión con anillos de refuerzo ubicados en los soportes



Fuente: <https://www.coursehero.com/file/pgkbcq/En-cambio-para-tanques-largos-y-de-espesores-relativamente-grandes-la/>

Nota: $2Q$ es el peso total del tanque que se calculó anteriormente (W_{total}), y en cada soporte actúa la mitad de ese peso (Q ó $W_{total}/2$)

$$Q = \frac{W_{total}}{2} = \frac{231700,66 \text{ lb}}{2} = 115850,33 \text{ lb}$$

1. ESFUERZOS LONGITUDINALES EN EL PLANO DE LOS SOPORTES DEL TANQUE

El esfuerzo máximo S_1 en los planos de los soportes debido al peso propio y a su contenido, se calculan con la siguiente formula:

Ecuación 4.9 Esfuerzo máximo en los soportes del tanque

$$S_1 = \pm \frac{Q \cdot A}{K^* R e^2 \cdot t} \left(1 - \frac{1 - A/L + (R_e^2 - H^2)/(2 \cdot A \cdot L)}{1 + 4 \cdot H/(3 \cdot L)} \right)$$

Donde:

Q=Carga sobre cada soporte, mitad del peso total del tanque, lb

A=Distancia entre el centro del soporte y la unión cuerpo-cabezal, pulg

L=longitud del casco cilíndrico, pulg

Re=Radio exterior del cuerpo, pulg

H=Altura del cabezal, pulg

t=Espesor del cuerpo, pulg

$\theta=120^\circ$

K^* =factor adimensional, cuyo valor depende de lo que pasa en los planos de los soportes. Ver tabla 4.5

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

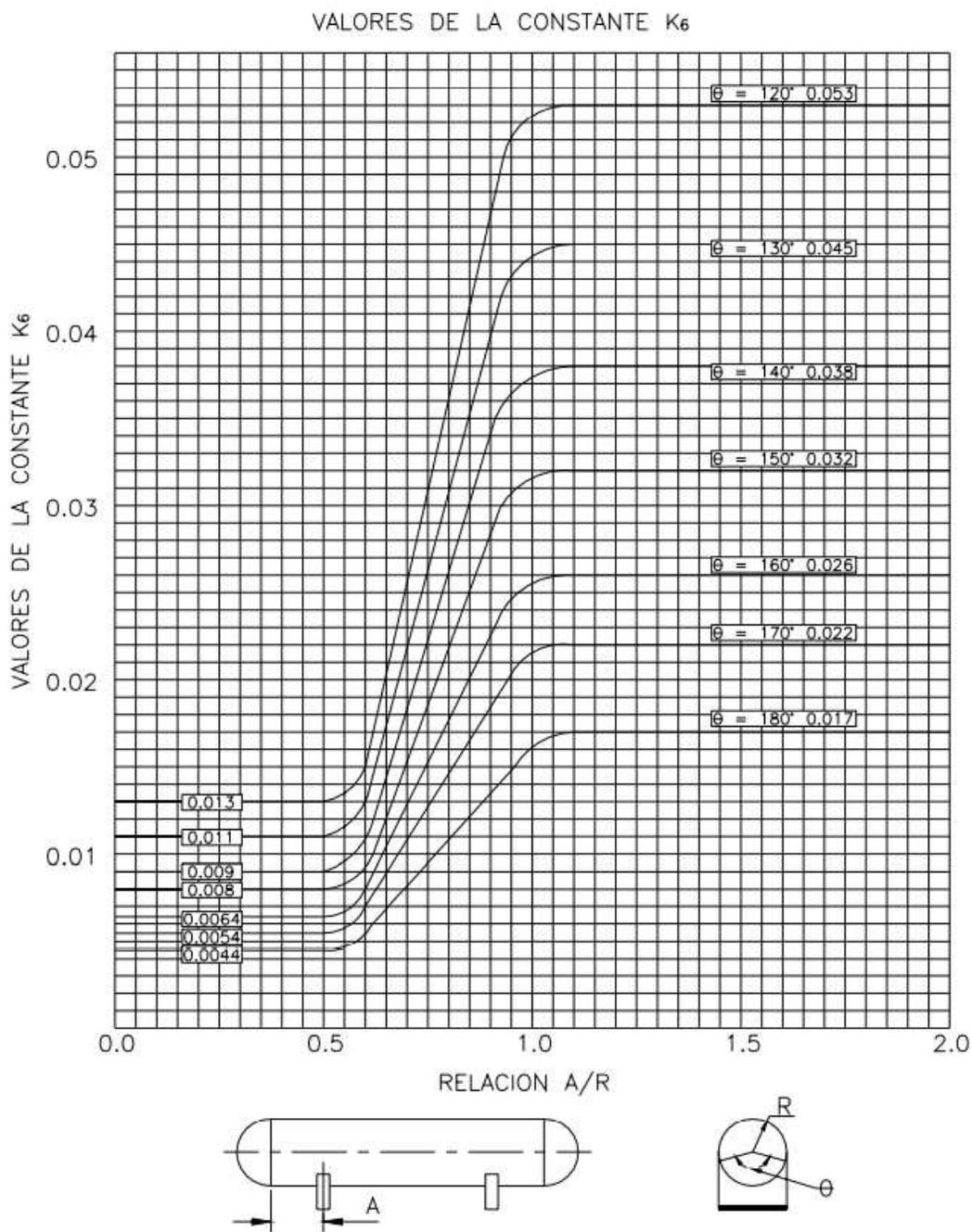
Tabla 4.5 Valores de la constante K

VALORES DE LA CONSTANTE "K" (INTERPOLAR PARA VALORES INTERMEDIOS)											
ANGULO DE CONTACTO θ	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁
120	0.335	1.171		0.880	0.401		0.760	0.603	0.34	0.053	0.204
122	0.345	1.139		0.846	0.393		0.753	0.618			
124	0.355	1.108		0.813	0.385		0.746	0.634			
126	0.366	1.078		0.781	0.377		0.739	0.651			
128	0.376	1.050		0.751	0.369		0.732	0.669			
130	0.387	1.022		0.722	0.362		0.726	0.680	0.33	0.045	0.222
132	0.398	0.996		0.694	0.355		0.720	0.705			
134	0.409	0.971		0.667	0.347		0.714	0.722			
136	0.420	0.946		0.641	0.340		0.708	0.740			
138	0.432	0.923		0.616	0.344		0.702	0.759			
140	0.443	0.900		0.592	0.327		0.697	0.780	0.32	0.037	0.241
142	0.455	0.879		0.569	0.320		0.692	0.796			
144	0.467	0.858		0.547	0.314		0.687	0.813			
146	0.480	0.837		0.526	0.308		0.682	0.831			
148	0.492	0.818		0.505	0.301		0.678	0.853			
150	0.505	0.799		0.485	0.295		0.673	0.876	0.30	0.032	0.259
152	0.518	0.781		0.466	0.289		0.669	0.894			
154	0.531	0.763		0.448	0.283		0.665	0.913			
156	0.544	0.746		0.430	0.278		0.661	0.933			
158	0.557	0.729		0.413	0.272		0.657	0.954			
160	0.571	0.713		0.396	0.266		0.654	0.976	0.29	0.026	0.279
162	0.585	0.698		0.380	0.261		0.650	0.994			
164	0.599	0.683		0.365	0.256		0.647	1.013			
166	0.613	0.668		0.350	0.250		0.643	1.033			
168	0.627	0.654		0.336	0.245		0.640	1.054			
170	0.642	0.640		0.322	0.240		0.637	1.079	0.27	0.022	0.298
172	0.657	0.627		0.309	0.235		0.635	1.097			
174	0.672	0.614		0.296	0.230		0.632	1.116			
176	0.687	0.601		0.283	0.225		0.629	1.137			
178	0.702	0.589		0.271	0.220		0.627	1.158			
180	0.718	0.577		0.260	0.216		0.624	1.183	0.25	0.017	0.318

* K₁ = 3.14 SI EL RECIPIENTE TIENE ANILLO DE REFUERZO O CABEZA (A < R/2)

Fuente: DISEÑO Y CÁLCULO DE RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN, ING. JUAN MANUEL LEÓN ESTRADA, EDICIÓN 2001

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Gráfica 4.4 valores de K_6 

Fuente: DISEÑO Y CÁLCULO DE RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN, ING. JUAN MANUEL LEÓN ESTRADA, EDICIÓN 2001

En los soportes, se tienen dos casos: **tensión o compresión**.

a) Esfuerzo de tensión

Se dan en la parte superior de los planos de los soportes y K^* toma el valor de K_1 que varía de acuerdo al ángulo de contacto θ .

Para obtener el esfuerzo de comparación σ^* , se debe sumar ese esfuerzo S_1 al esfuerzo longitudinal S_L debida a la presión interna P . Posteriormente σ^* debe ser menor o igual al máximo esfuerzo admisible S del material del tanque afectado por la eficiencia de junta E :

$$\sigma^* = +S_1 + S_L \leq S * E$$

Donde:

S_1 Esfuerzo longitudinal por flexión

S_L Esfuerzo longitudinal por presión interna

S Máximo esfuerzo admisible del material del tanque

E Eficiencia de junta

El esfuerzo longitudinal S_L debido a la presión interna se puede obtener con la ecuación 4.10 en función del radio exterior R_e y la presión interna P .

Ecuación 4.10 Esfuerzo longitudinal debido a la presión interna

$$S_L = \frac{P * R_e}{2 * t}$$

Calculando S_1 , S_L y σ^*

Datos:

$$Q = 115850,33 \text{ lb}$$

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

$$A = 60 \text{ plg}$$

$$K^1 = 0,335$$

$$R_e = 56 \text{ plg}$$

$$t = 1 \text{ plg}$$

$$L = 536,22 \text{ plg}$$

$$H = 53,025 \text{ plg}$$

$$S = 20015,2 \text{ psi}$$

$$E = 1$$

$$P = 330 \text{ psi}$$

$$S_1 = + \frac{115850,33 * 60}{0,335 * 56^2 * 1} \left(1 - \frac{1 - 60/536,22 + (56^2 - 53,025^2)/(2 * 60 * 536,22)}{1 + 4 * 53,025/(3 * 536,22)} \right)$$

$$S_1 = 2381,95 \text{ psi}$$

$$S_L = \frac{330 * 56}{2 * 1} = 9240 \text{ psi}$$

$$\sigma^* = 2381,95 \text{ psi} + 9240 \text{ Psi} = 11621,95 \text{ psi}$$

$$SE = 20015,2 * 1 = 20015,2 \text{ psi}$$

$$\sigma^* = 11621,95 \leq 20015,2$$

Se cumple la condición.

b) Esfuerzo de compresión

Los esfuerzos longitudinales de compresión se encuentran en la parte inferior de los planos de los soportes y se debe analizar dos casos:

- i. Cuando $\frac{t}{R_e} \geq 0.005$ el diseño del tanque está gobernado por la presión interna y no es necesario considerar S_1 .
- ii. Cuando $\frac{t}{R_e} < 0.005$ entonces K^* toma el valor de K^7

$$\frac{t}{R_e} = \frac{1}{56} = 0,01785 > 0,005$$

Cumple con el primer caso, entonces no se toma en cuenta S_1 y $\sigma^* = +S_L$

$$\sigma^* = +S_L = 9240 \text{ psi}$$

$$\sigma^* \leq SE$$

$$9240 \text{ psi} \leq 20015,2 \text{ psi}$$

Cumple con la condición

2. ESFUERZOS LONGITUDINALES EN EL PLANO MEDIO DEL TANQUE

Los máximos esfuerzos S_1 en el plano medio del tanque, debidas al peso propio y su contenido, se calculan con la siguiente fórmula:

Ecuación 4.11 Esfuerzo longitudinal en el plano medio del tanque

$$S_1 = \pm \frac{Q * L}{4 * \pi * R_e^2 * t} \left(\frac{1 + 2 * (R_e^2 - H^2) / L^2}{1 + 4 * H / (3 * L)} - \frac{4A}{L} \right)$$

Para obtener el esfuerzo de comparación σ^* y contrastarla con el esfuerzo admisible se procede del mismo modo que en el análisis de los esfuerzos en los planos de los soportes.

a) Esfuerzo de tensión en la parte inferior

Calculando S_1 :

$$S_1 = \pm \frac{115850,33 * 536,22}{4 * \pi * 56^2 * 1} \left(\frac{1 + 2 * (56^2 - 53,025^2) / 536,22^2}{1 + 4 * 53,025 / (3 * 536,22)} - \frac{4 * 60}{536,22} \right)$$

$$S_1 = 690,33 \text{ psi}$$

$$S_L = \frac{330 * 56}{2 * 1} = 9240 \text{ psi}$$

$$\sigma^* = 690,33 \text{ psi} + 9240 \text{ psi} = 9930,33 \text{ psi}$$

$$\sigma^* \leq S * E$$

$$9930,33 \text{ psi} \leq 20015,2 \text{ psi} * 1$$

Cumple con la condición

b) Esfuerzos de compresión en la parte superior

- i. Cuando $\frac{t}{R_e} \geq 0,005$ el diseño del tanque esta gobernado por la presión interna y no es necesario considerar S_1 .
- ii. Cuando $\frac{t}{R_e} < 0,005$ entonces K^* toma el valor de K^7

$$\frac{t}{R_e} = \frac{1}{56} = 0,01785 > 0,005$$

Cumple con el primer caso, entonces no se toma en cuenta S_1 y $\sigma^* = +S_L$

$$\sigma^* = +S_L = 9240 \text{ psi}$$

$$\sigma^* \leq S * E$$

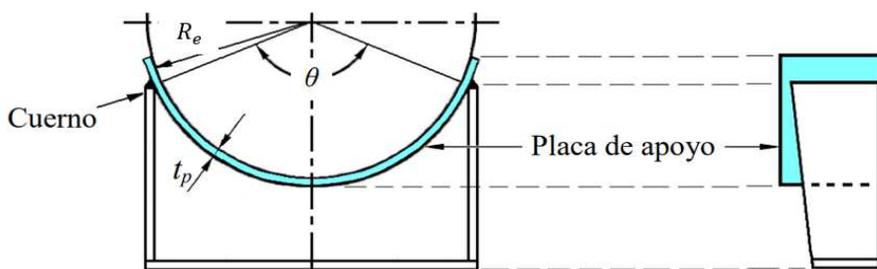
$$9240 \text{ psi} \leq 20015,2 \text{ psi}$$

Cumple con la condición

4.5.4.2 Esfuerzo cortante tangencial

La distribución de los esfuerzos de corte (originados por el peso propio y el contenido) dependen de cómo esté reforzado el tanque, con anillos rigidizadores y/o placas en los apoyos tipo montura como se muestra en la figura 4.8.

Figura 4.8 Soportes o silletas de un tanque horizontal



Fuente: <https://www.coursehero.com/file/pgkbcq/En-cambio-para-tanques-largos-y-de-espesores-relativamente-grandes-la/>

El máximo esfuerzo de corte se presenta en las puntas del soporte (cuernos).

Para calcular S_2 , se toman dos casos según sea el valor de A comparado con R_e :

- Cuando $A > R_e/2$, el máximo esfuerzo de corte S_2 en el cuerpo cilíndrico, se calcula como:

$$A > R_e/2 \quad \rightarrow \quad S_2 = \frac{\bar{K} * Q}{R_e * t} \left(\frac{L - 2 * A}{L + 4 * H / A} \right) \quad (A)$$

Donde:

Q carga sobre cada soporte

A distancia entre el centro del soporte y la unión cuerpo-cabezal

L longitud del cuerpo cilíndrico

R_e Radio exterior del cuerpo cilíndrico

H Altura del cabezal

t Espesor del cuerpo

\bar{K} Factor adimensional cuyo valor depende de lo que pasa en los planos de los soportes, se pueden dar dos situaciones distintas a saber:

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

- i. Cuando se usan anillos rigidizadores en los planos de los soportes

$$\bar{K} = 1/\pi$$

- ii. Cuando no hay anillos de refuerzo, \bar{K} toma el valor de k_2 , que varía con el ángulo de contacto θ (ver tabla 4.5)

- Cuando $A < R_e/2$, el máximo esfuerzo de corte S_2 en el cuerpo cilíndrico se calcula con la siguiente expresión:

$$A < R_e/2 \quad \rightarrow \quad S_2 = \frac{K_3 * Q}{R_e * t} \quad (B)$$

Donde:

Q carga sobre cada soporte

R_e Radio exterior del cuerpo cilíndrico

t Espesor del cuerpo

K_3 Factor adimensional que varía con el ángulo de contacto (ver tabla 4.5)

Para ambos casos, el esfuerzo de corte no debe ser mayor al 80% del máximo esfuerzo admisible del material.

$$S_2 < 0,8 * S$$

Calculando $R_e/2$

$$\frac{R_e}{2} = \frac{56}{2} = 28$$

$$A > \frac{R_e}{2}$$

$$60 > 28$$

Como $A > \frac{R_e}{2}$ y el cuerpo no tiene anillos de refuerzo, se usa la ecuación (A)

y \bar{K} toma el valor de k_2

Datos:

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

$$k_2 = 1,171$$

$$Q = 115850,33 \text{ lb}$$

$$R_e = 56 \text{ plg}$$

$$A = 60 \text{ plg}$$

$$L = 536,22 \text{ plg}$$

$$H = 53,025 \text{ plg}$$

Nota: Al valor de t se le debe sumar el espesor t_p de la placa de apoyo.

$$t_p = 1/2 \text{ plg}$$

$$t = \frac{1}{2} * \text{plg} + 1 \text{ plg} = 1,5 \text{ plg}$$

Reemplazando:

Ecuación 4.12 Esfuerzo de corte tangencial

$$S_2 = \frac{k_2 * Q}{R_e * t} \left(\frac{L - 2 * A}{L + 4 * H/A} \right)$$

$$S_2 = \frac{1,171 * 115850,33}{56 * 1,5} \left(\frac{536,22 - 2 * 60}{536,22 + 4 * 53,025/60} \right)$$

$$S_2 = 1245,38 \text{ psi}$$

$$S_2 < 0,8 * S$$

$$1245,38 \text{ psi} < 0,8 * 20015,2 \text{ psi}$$

$$1245,38 \text{ psi} < 16012,16 \text{ psi}$$

Cumple con la condición

4.5.4.3 Esfuerzos circunferenciales

En el área de las silletas, la transmisión de cargas origina esfuerzos circunferenciales En el cuerpo cilíndrico tanto en la zona en contacto con la punta del apoyo tipo montura (cuerno) como con el fondo del apoyo (como se muestra en la figura 4.8)

1. EFUERZOS CIRCUNFERENCIALES EN LA ZONA DEL CUERNO DEL SOPORTE CUANDO NO HAY ANILLO

Si el tanque no tiene anillos rigidizadores, los esfuerzos circunferenciales S_3 en el cuerpo cilíndrico en la zona del cuerno del soporte se pueden evaluar con la siguiente expresión:

Ecuación 4.13 Esfuerzo circunferencial en la zona del cuerno del tanque

$$S_3 = \begin{cases} -\frac{Q}{4*t*(b+1.56*\sqrt{R_e*t})} - \frac{3*K_6*Q}{2*t^2} & \text{cuando: } L \geq 8 * R_e \\ -\frac{Q}{4*t*(b+1.56*\sqrt{R_e*t})} - \frac{12*K_6*Q*R_e}{L*t^2} & \text{cuando: } L < 8 * R_e \end{cases}$$

Donde:

Q Carga sobre cada soporte

L Longitud del cuerpo

R_e Radio exterior del cuerpo

t Espesor del cuerpo

b Ancho del soporte o silleta

K_6 Factor adimensional que depende del ángulo de contacto θ y del cociente entre A y el radio R_e . Se obtiene de la gráfica 4.4

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

El esfuerzo S_3 calculado no debe ser mayor que una vez y medio del esfuerzo máximo admisible del material del cuerpo:

$$|S_3| < 1.5 * S$$

Calculando S_3

Datos:

$$Q = 115850,33 \text{ lb}$$

$$L = 536,22 \text{ plg}$$

$$R_e = 56 \text{ plg}$$

$$t = 1,5 \text{ plg}$$

$$b = 10 \text{ plg}$$

$$K_6 = 0,045$$

$$S = 20015,2 \text{ psi}$$

Nota: t en este caso es la suma del espesor del cuerpo más el espesor de la placa de apoyo y K_6 se obtuvo de la gráfica 4.4

$$8 * R_e$$

$$8 * 56 = 688 \text{ plg}$$

$$L < 8 * R_e$$

$$S_3 = -\frac{115850,33}{4 * 1,5 * (10 + 1,56 * \sqrt{56 * 1,5})} - \frac{12 * 0,045 * 115850,33 * 56}{536,22 * 1,5^2}$$

$$S_3 = -3698,37 \text{ psi}$$

$$|S_3| < 1,5 * S$$

$$|-3698,37| < 1,5 * 20015,2$$

$$|-3698,37| \text{ psi} < 30022,8 \text{ psi}$$

Si cumple

2. ESFUERZOS CIRCUNFERENCIALES EN LA ZONA DEL FONDO DE LA SILLETA

El esfuerzo S_3 correspondiente al fondo de los apoyos o silletas se calcula con la siguiente formula:

Ecuación 4.14 Esfuerzo circunferencial en la zona de fondo de la silleta

$$S_3 = \frac{K_5 * Q}{t * (b + 1.56 * \sqrt{R_e * t})}$$

Donde:

Q Carga sobre cada soporte

R_e Radio exterior del cuerpo

t Espesor del cuerpo

b Ancho del soporte o silleta

K_5 Factor adimensional que depende del ángulo de contacto θ (ver tabla 4.5)

El esfuerzo S_3 no debe ser mayor que la mitad de la tensión de fluencia del material del cuerpo cilíndrico.

$$|S_3| < 0,5 * S_y$$

Donde S_y es la tensión de fluencia del material del cuerpo cilíndrico y se obtiene de la tabla 1A de la SECCION II, PARTE 2 del código ASME.

Calculando S_3

Datos

$$K_5 = 0,401$$

$$S_y = 260 \text{ MPa} = 37709,8 \text{ psi}$$

$$S_3 = -\frac{0,401 * 115850,33}{1,5 * (10 + 1,56 * \sqrt{56 * 1,5})}$$

$$S_3 = -1274,64 \text{ psi}$$

$$|S_3| < 0,5 * S_y$$

$$|-1274,64| < 0,5 * 37709,8$$

$$|-1274,64| \text{ psi} < 18854,9 \text{ psi}$$

Cumple con la condición

Al demostrar que los esfuerzos calculados en los puntos anteriores no exceden los esfuerzos admisibles del cuerpo cilíndrico, no es necesario instalar anillos de refuerzo en el tanque ya que, con el material escogido y las dimensiones de las silletas, es suficiente para soportar los esfuerzos.

4.6 Cálculo de las orejas de izaje

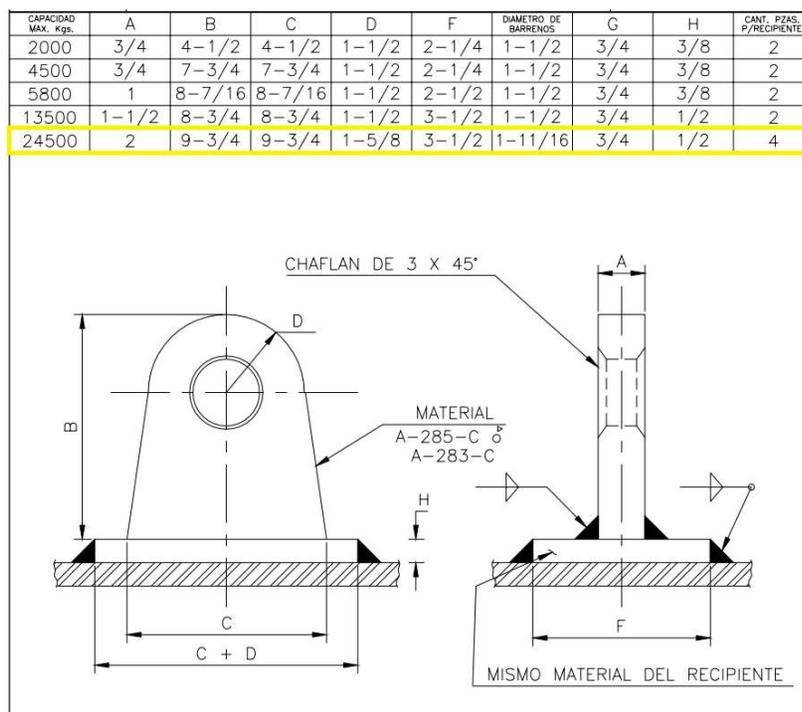
4.6.1 Dimensiones de las orejas de izaje

El dato de referencia para tener las dimensiones de las orejas de izaje es el peso del tanque vacío.

$$W_{\text{tanque vacío}} = 59870 \text{ lb} = 27156,57 \text{ Kg}$$

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Figura 4.9 Dimensiones de las orejas de izaje en pulgadas



Fuente: DISEÑO Y CÁLCULO DE TANQUES SUJETOS A PRESIÓN, ING. JUAN MANUEL LEÓN ESTRADA, EDICIÓN 2001

Dimensiones de las orejas de izaje

Tabla 4.6 Dimensiones de orejas de izaje

A	2 plg
B	9 3/4 plg
C	9 3/4 plg
D	1 5/8 plg
F	3 1/2 plg
G	3/4 plg
H	1/2 plg

Fuente: DISEÑO Y CÁLCULO DE TANQUES SUJETOS A PRESIÓN, ING. JUAN MANUEL LEÓN ESTRADA, EDICIÓN 2001

El material que se utilizará para las orejas de izaje será SA-283-C, ya que no estará sometido a presión.

Al requerir cuatro orejas de izaje, se recomienda soldarlas a un costado de las silletas.

Figura 4.10 Orejas de izaje de un tanque



Fuente: Archivo YPFB

4.7 Aberturas y boquillas

Para la construcción de tanques a presión se debe tomar en cuenta el diseño de boquillas y conexiones de entrada y salida del producto, válvulas de seguridad, entrada de hombre, venteo, accesorios, etc.

Para la instalación de dichas boquillas es necesario hacer un agujero en la placa del cuerpo o cabezal en que se vaya a instalar. Al realizar un agujero se está quitando área y las líneas de esfuerzos que pasaban por el área que se ha quitado pasarán tangentes al agujero realizado.

El código ASME establece que el área faltante por la abertura debe ser remplazada agregando material extra (refuerzo).

La teoría básica de las aberturas reforzadas es suministrar patrones con material adicional en la región de la abertura para llevar las cargas alrededor de la abertura. Las

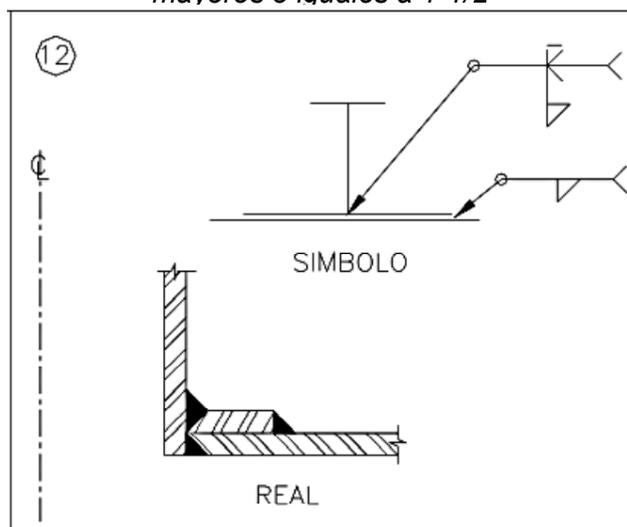
DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

reglas del área de reemplazo de UG-37 a UG-41 asumen que la carga sólo proviene de la presión interna.

La Sección VIII, División 1 usa una regla de reemplazo simple: una porción del material que haya sido removido por la abertura, y la cual es necesaria para satisfacer el equilibrio estático, tiene que ser reemplazado dentro de ciertos límites de la abertura.

Las aberturas en las porciones cilíndricas o cónicas del recipiente, o en las cabezas formadas, deberán ser preferiblemente circulares.

Figura 4.11 Boquilla con placa de refuerzo soldada que se realizara en la unión de boquillas mayores o iguales a 1-1/2"



Fuente: DISEÑO Y CÁLCULO DE TANQUES SUJETOS A PRESIÓN, ING. JUAN MANUEL LEÓN ESTRADA, EDICIÓN 2001

4.7.1 Tamaño de las aberturas

- Cuerpos con diámetros ≤ 60 (1500 mm), la abertura que no exceda $\frac{1}{2}$ del diámetro o 20 (500 mm).

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

- Cuerpos con diámetros >60 (1500 mm), la abertura que no exceda $1/3$ del diámetro o 40 (1000 mm)

Todas las boquillas mayores a 3 pulgadas de diámetro, instaladas en el tanque, deberán tener una placa de refuerzo en la unión del cuello de la boquilla con el tanque.

Las boquillas de menores o igual a $1 - 1/4$ " pueden ser instaladas por medio de coples roscados. Las boquillas mayores o igual que $1 - 1/2$ " deben ser bridadas.

Las boquillas donde se instalarán los accesorios de medidas de temperatura, presión y volumen serán de $3/4$ " y no es necesario una placa de refuerzo.

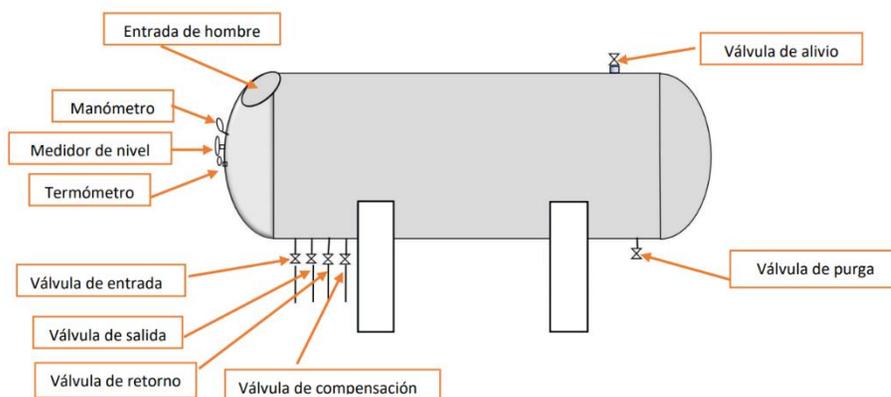
4.7.2 Accesorios y conexiones

Los accesorios y conexiones en el tanque serán:

- Válvula de alivio
- Válvula de entrada
- Válvula de salida
- Válvula de retorno
- Válvula de compensación de presión
- Válvula de purga o drene
- Termómetro
- Manómetro
- Medidor de nivel
- Entrada de hombre

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Figura 4.12 Accesorios y conexiones del tanque



Fuente: Elaboración con base a uso de Autocad

- Manómetro marca Winters

Figura 4.13 Manómetro marca Winters

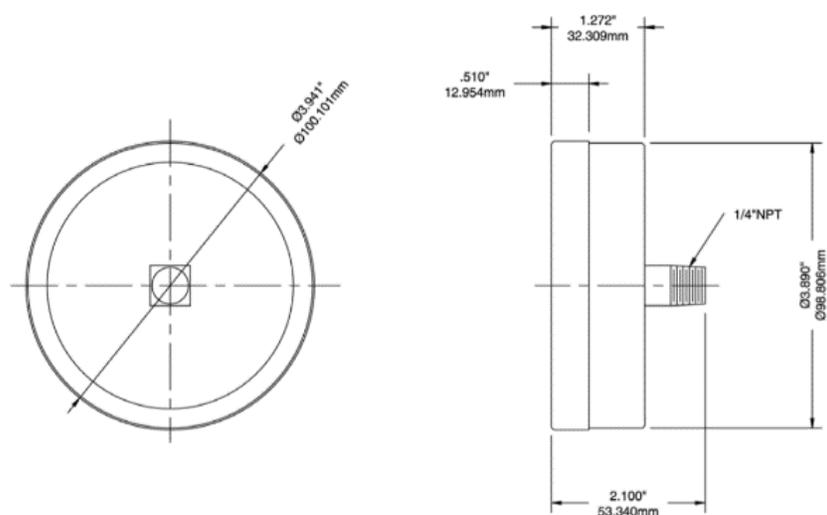


Fuente:

http://www.tecnoval.com/Portals/1/FICHASTECHNICAS/manometro_winters_pam.pdf

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Figura 4.14 Dimensiones manómetro



Fuente:

<http://www.tecnoval.com/Portals/1/FICHASTECHNICAS/>

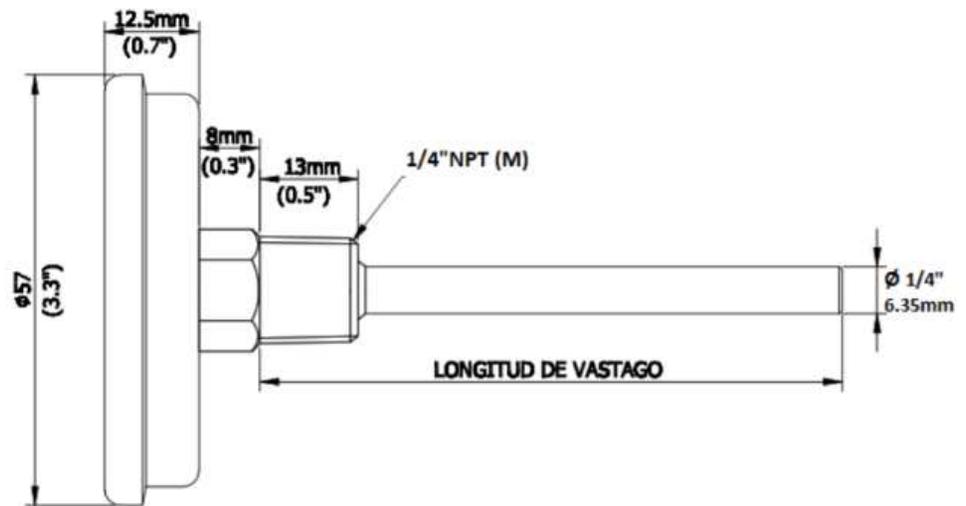
- Termómetro marca DEWIT

Figura 4.15 Termómetro marca DEWIT



Fuente: <https://suministroenmetrologia.com/wp-content/uploads/2019/07/DEWIT-TERM%C3%93METROS-BIMET%C3%81LICOS.pdf>

Figura 4.16 Dimensiones termómetro



Fuente: <https://suministrosenmetrologia.com/wp-content/uploads/2019/07/DEWIT-TERM%C3%93METROS-BIMET%C3%81LICOS.pdf>

- Medidor de nivel marca MAGNATEL

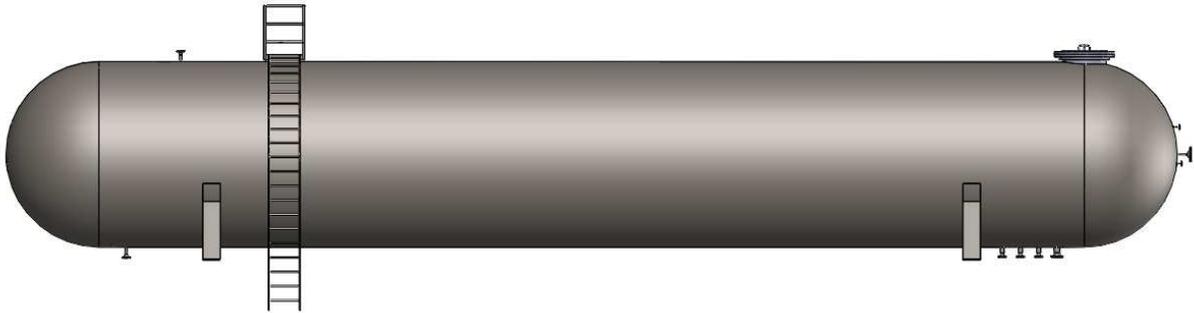
Figura 4.17 Medidor de nivel marca MAGNATEL



Fuente: <https://www.marlia-ing.com/es/productos/rochester.html>

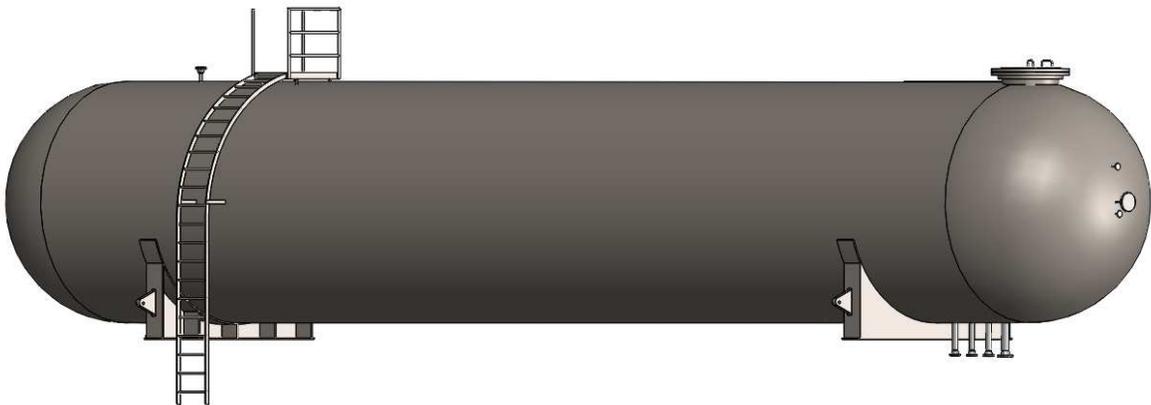
4.8 Diseño final en SolidWorks

Figura 4.18 Vista lateral tanque



Fuente: Elaboración en base al diseño en 3D obtenido mediante el software SolidWorks

Figura 4.19 Modelado de tanque horizontal



Fuente: Elaboración en base al diseño en 3D obtenido mediante el software SolidWorks

4.9 Ubicación del tanque

En la planta se cuenta con un área de aproximadamente 70 m² (figura 4.20) disponible para la instalación del nuevo tanque, justo al lado del resto de tanques para que las conexiones sean óptimas y funcionales.

Figura 4.20 Área disponible para la instalación del tanque

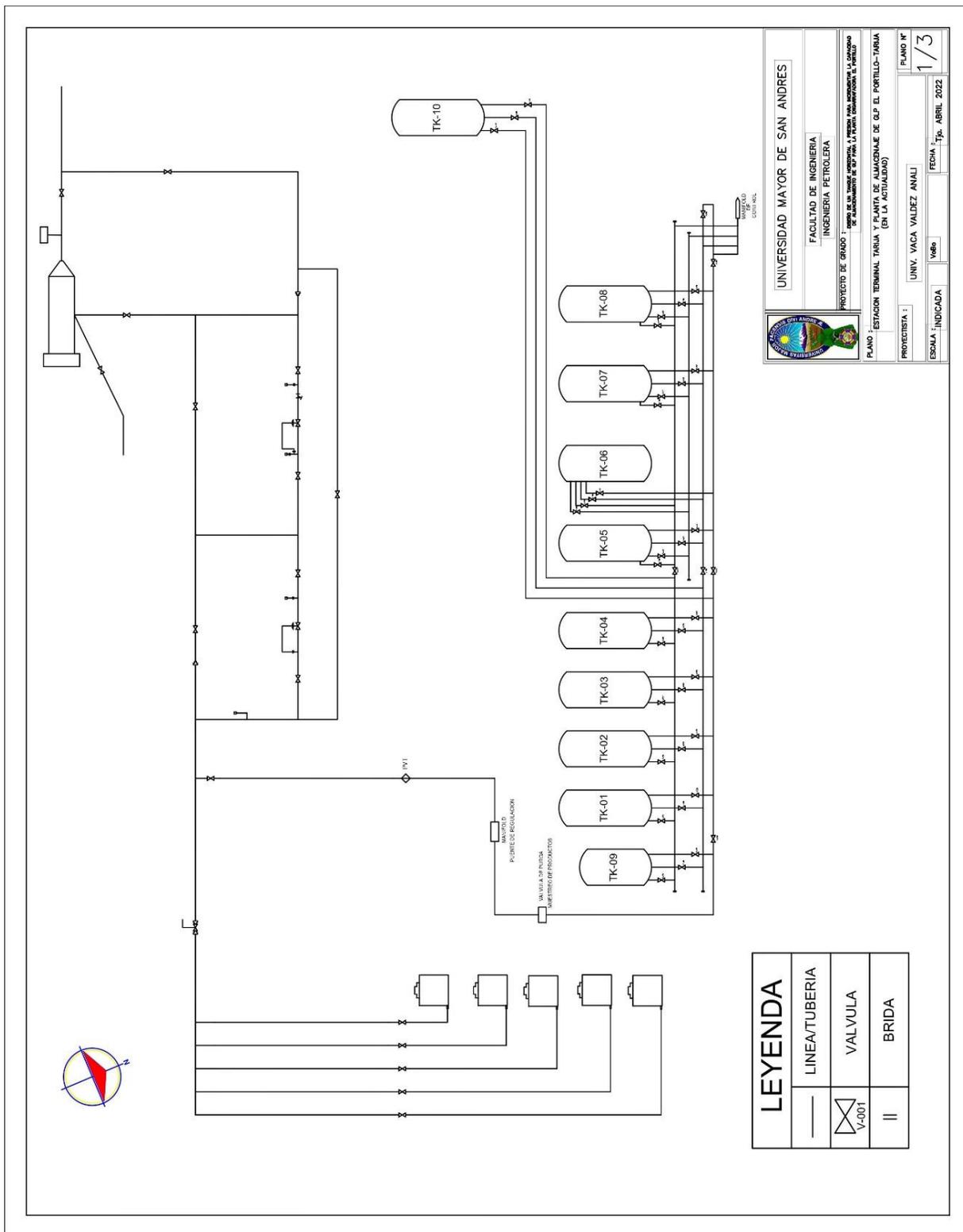


Fuente: Archivos YPF B

Nota: El área disponible es la que está marcada con amarillo en la imagen

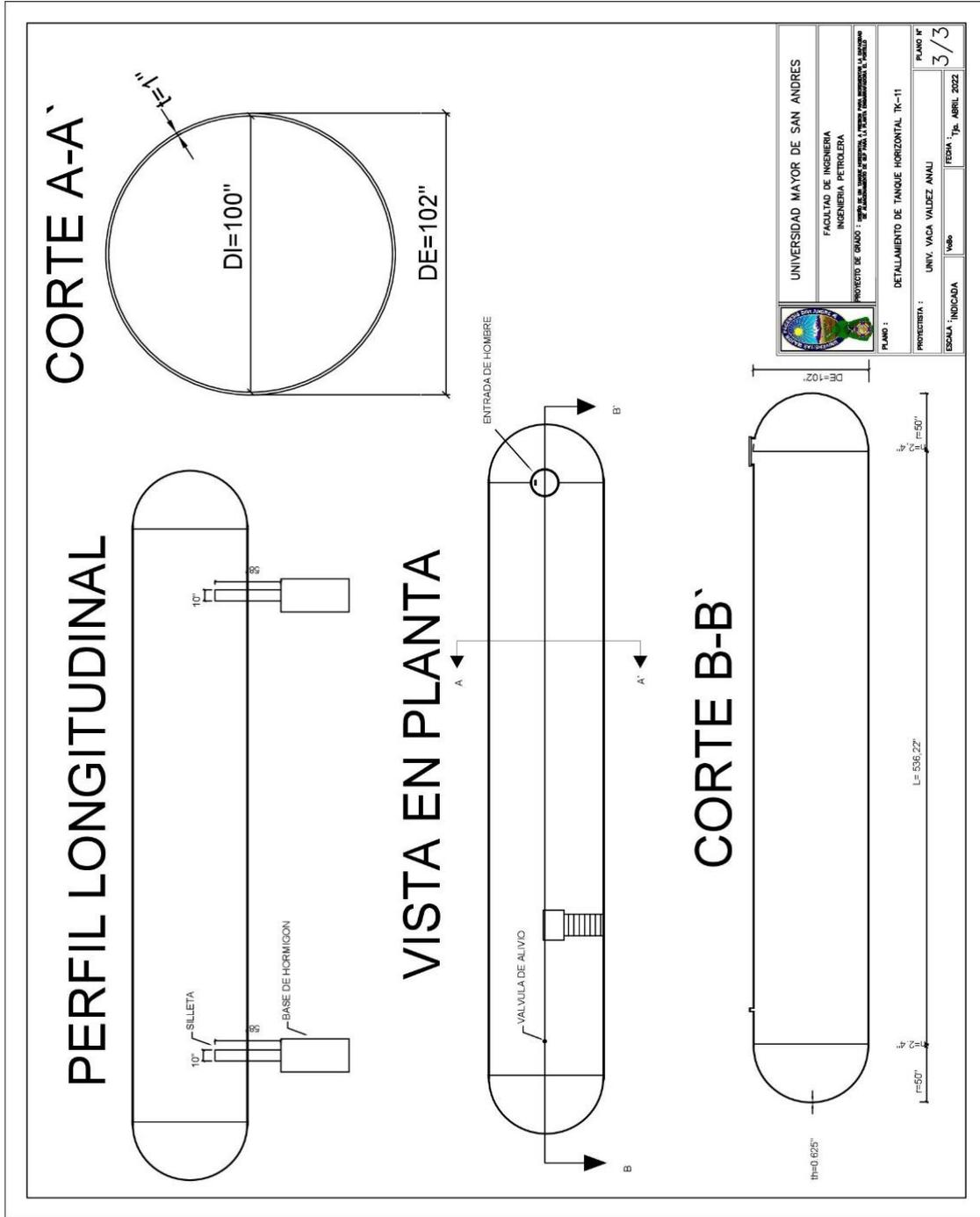
DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Figura 4.21 Plano de la Terminal Tarija y la planta de almacenamiento de GLP El Portillo en la actualidad



Fuente: YPFB Logística

Figura 4.23 Dimensiones del nuevo tanque



Fuente: Elaboración con Autocad en base a los cálculos realizados en este proyecto

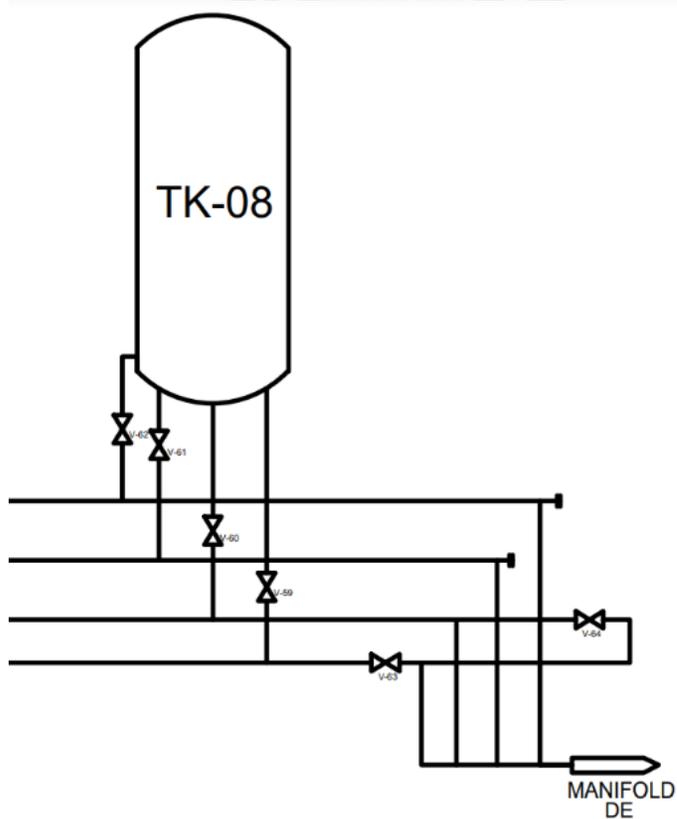
4.10 Modificaciones en la planta por efecto de la ampliación

Las modificaciones son las siguientes:

4.10.1 Ampliación de las líneas

Las líneas de presión, retorno, entrada y salida se deberán ampliar para unir las líneas del nuevo tanque como se muestra en las figuras 4.24 y 4.25.

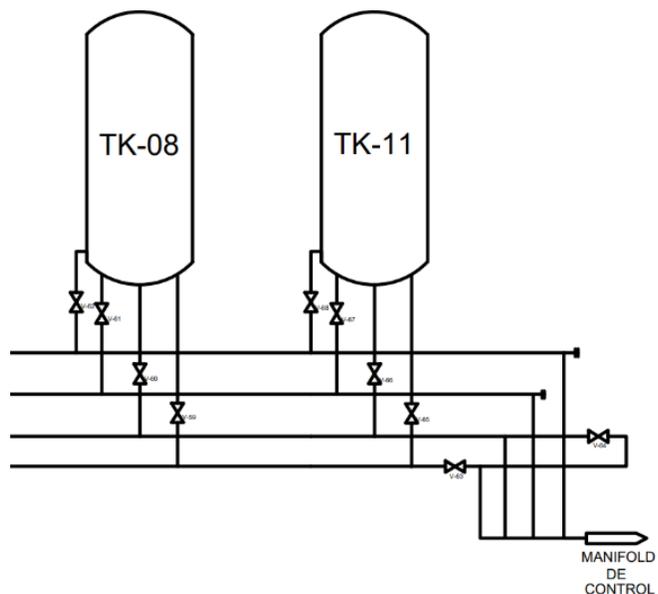
Figura 4.24 Líneas de conexión actualmente



Fuente: YPFB Logística

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Figura 4.25 Líneas de conexión después de la instalación del nuevo tanque (Tk-11)



Fuente: YPFB Logística

4.10.2 Instalación de las gradas

Se va a requerir una plataforma con gradas para poder acceder al medidor de nivel, termómetro y manómetro del nuevo tanque. Como se muestra en la figura 4.26.

Figura 4.26 plataforma con gradas de los tanques



Fuente: Archivos YPFB

4.10.3 Hormigonado del área verde

En la figura 4.27 se puede observar que al lado de la batería de tanques hay un área verde que está disponible para la instalación del nuevo tanque, la cual debe ser hormigonada para dicho fin.

Figura 4.27 Planta de almacenamiento de GLP Tarija



Fuente: Archivos YPFB

4.11 Medidas de Seguridad Industrial aplicadas al proyecto

Para este proyecto de deberá aplicar las siguientes medidas de seguridad:

- Se deberá proteger las paredes del tanque con pintura blanca anticorrosiva para evitar que el ambiente desgaste y adelgace el material. Deberá ser blanco por ser el color que absorbe menos calor por efecto de los rayos del sol.
- Se deberá añadir el rombo NFPA del GLP en la pared lateral del tanque

Figura 4.28 Rombo NFPA de GLP



DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

- El Tanque deberá tener una instalación de sistema de refrigeración contra incendios.

Figura 4.29 Sistema de refrigeración del tanque de GLP



Fuente: Archivos YPFB

- La planta ya cuenta con un sistema de hidrantes, el cual cubre tranquilamente toda la batería de tanques incluyendo el área destinada para la instalación del nuevo tanque.

Figura 4.30 Hidrantes de la planta engarrafadora Tarija.



Fuente: YPFB Tarija

5 Capítulo V Estimación de costos

5.1 Costos de material y fabricación

La estimación de costos del material a usar se basará en el uso del software SolidWorks Costing

Informe de SOLIDWORKS Costing



Nombre del
ensamblaje: Tanque

Fecha y hora del informe:	22/01/2022 08:37:42 p. m.
Peso total:	44657,99 lb
Peso total del material:	1.43E+6 lb

Cantidad para
producir

Número total de ensamblajes:	1
Tamaño del lote:	1

Coste estimado por
ensamblaje: 242661,06 USD

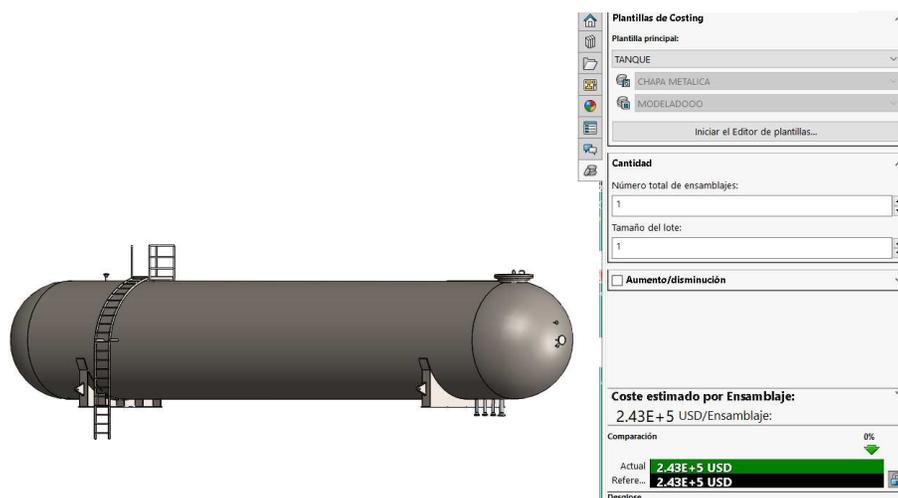
DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Tabla 5.1 Desglose de costes por pieza

Piezas calculadas	Método	Cantidad	Coste de material (USD/Ensamblaje:)	Coste de fabricación (USD/unidad:)	Coste total (USD / Ensamblaje:)
escalera larga	Multibody	1	1000,02	559	1559,02
manómetro	Mecanizado	1			1000
termometro		1			1000
Soporte de escalera	Mecanizado	2	10,39	20	60,78
tapa entrada de hombre	Mecanizado	1	162,08	300	462,08
silleta	Mecanizado	2	1625,69	1000	5251,38
neplo-boquilla	Multibody	3	25	30,25	165,75
medidor de nivel	Mecanizado	1			2800
rosca coples de los accesorios	Mecanizado	1	15,8	21,69	37,49
orejas de izaje	Mecanizado	4	62,97	40	411,88
Membrana (cuerpo cilindrico)	Mecanizado	1	1,11E+05	1,15E+05	226000
boquilla 2"	Mecanizado	5	65,13	150	1075,65
boquilla 3"	Mecanizado	1	78,26	168,03	246,29
neplo-entrada de hombre	Mecanizado	1	110,89	487,57	598,46
brida-entrada de hombre	Mecanizado	1	1262,7	1262,7	2525,4
Total			1,15E+05	119039,24	2,43E+05

Fuente: Elaboración en base al diseño obtenido mediante el software SolidWorks

Figura 5.1 Coste estimado por tanque



Fuente: Elaboración en base al diseño obtenido mediante el software SolidWorks

5.2 Costos de conexión e instalación

El costo de las conexiones del tanque será:

Tabla 5.2 Costos de conexión e instalación de tanques

item	Costo unitario \$US	Cantidad	Costo total \$US
Tubería de acero galvanizado de 2"	150	3	450
Tubería de acero galvanizado de 3"	180	1	180
acoples 3"	3	10	30
acoples 2"	3	30	90
acoples 1"	2,5	10	25
Tubería de acero galvanizado de 1"	140	1	140
Codos de 90° de 2"	18	9	162
Codos de 90° de 3"	20	3	60
Válvula globo de 2"	2000	3	6000
Válvula globo de 3"	2500	1	2500
Válvula bola 1"	180	1	180
Válvula de alivio de 2"	3000	1	3000
Pintura anticorrosiva	500	5	2500

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Base de hormigón armado para la instalación del nuevo tanque	500	2	1000
Trabajos de soldadura	2500	1	2500
Mano de obra para toda la instalación del nuevo tanque	4000	1	4000
Instalación del sistema de refrigeración contra incendios	2000	1	2000
Total			24817

Fuente: Elaboración en base a datos obtenidos en las visitas a la planta engarrafadora Tarija-Bolivia

5.3 Costos totales

La inversión total del tanque sería:

$$2,43E+05 + 24817 = 267817,00$$

Por seguridad de presupuesto, se considerará un aumento del 20% en el precio total del tanque para cubrir posibles variantes en la cotización.

$$\$267817,00 * 20\% = \$53563,4$$

Costo Total tomando un factor de seguridad del 20%: 321380,40 \$US

5.4 Ingresos

La venta del GLP tiene un margen de ganancias alto debido a que es un combustible que se produce en el país.

Al día se comercializa un promedio de 4500 garrafas y, asumiendo 22 días hábiles por mes, la planta tiene un ingreso de 495000 Bs de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 5.3 Ingresos mensuales de la planta

garrafas diarias	4500 garrafas/día
ingreso por garrafa	5 Bs/garrafa
días hábiles por mes	22 días/mes
ingresos mensuales	495000 Bs/mes

Fuente: Elaboración con base a datos adquiridos en visita la Planta

5.5 Evaluación económica del proyecto

- **Valor actual neto (VAN)**

Ecuación 5.1 Ecuación del Valor Neto Actual VAN

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - t_0$$

Donde:

V_t =flujos de caja en periodo t.

t_0 =valor del desembolso inicial de inversión del proyecto.

n =número de periodos considerados.

k = tipo de interés.

Ya que la inversión requerida es alta, se realizará la estimación de costos para un periodo de 7 meses.

El valor de k es cero porque dicha inversión puede ser financiada con recursos de la empresa y de esa manera no existen intereses.

$$VAN = \frac{495000}{(1+0)^1} + \frac{495000}{(1+0)^2} + \frac{495000}{(1+0)^3} + \frac{495000}{(1+0)^4} + \frac{495000}{(1+0)^5} + \frac{495000}{(1+0)^6} + \frac{495000}{(1+0)^7} - 321380,40\$US * 6,96 \frac{BS}{\$US}$$

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

$$VAN = 7 * \frac{495000}{(1+0)^7} - 321380,40 * 6,96$$

$$VAN = 1228192.416 \text{ Bs}$$

Tasa Interna de Retorno (TIR)**Ecuación 5.2 Tasa Interna de Retorno TIR**

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} - I = 0$$

Donde:

F_t =Flujo de caja en un periodo t.

n=Número de periodos

I=Valor de la inversión inicial

$$VAN = \frac{495000 \text{ Bs}}{(1+TIR)^1} + \frac{495000 \text{ Bs}}{(1+TIR)^2} + \frac{495000 \text{ Bs}}{(1+TIR)^3} + \frac{495000 \text{ Bs}}{(1+TIR)^4} + \frac{495000 \text{ Bs}}{(1+TIR)^5} + \frac{495000 \text{ Bs}}{(1+TIR)^6} + \frac{495000 \text{ Bs}}{(1+TIR)^7} - 321380,40\$US * 6,96 \frac{BS}{\$US} = 0$$

$$TIR = 0.12$$

$$TIR = 12\%$$

Analizando los resultados del **VAN>0** y **TIR=12 %**, se llega a la conclusión de que el proyecto es aceptable y la inversión producirá ganancias para la empresa.

5.6 Estimación del tiempo de retorno de la inversión

Considerando el escenario más crítico de comercialización de 4000 garrafas diarias se tendría un ingreso de 440000 Bs/mes.

Con una inversión total de 2236807,584 Bs, se realiza a continuación el análisis para estimar el tiempo de retorno.

$$2236807,584 \text{ Bs} * \frac{\text{mes}}{440000 \text{ Bs}} = 6.08 \text{ meses}$$

Se observa que aún bajo un escenario crítico se recuperaría la inversión en los primeros siete meses de venta de GLP

5.7 Ventajas y desventajas de las consideraciones del diseño

Tabla 5.4 Ventajas y desventajas de las consideraciones de diseño

CONSIDERACION	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Acero SA-516 gr. 70	Mayor resistencia y vida útil. Tiene un mayor esfuerzo admisible	Mayor costo
C=0,1 (plg)	Mayor margen de seguridad durante 20 años	Mayor uso de material
E=1	Confiabilidad alta en las juntas soldadas	Mayor inversión en la inspección radiográfica
h=2.4 plg	Se evita que la soldadura del cuerpo y del cabezal esté justo en la línea de tangencia y se tiene mayor seguridad a altas presiones	Mayor dificultad en la fabricación de los cabezales
Cabezal semiesférico	No tiene un límite dimensional para su fabricación y puede soportar presiones altas	Mayor costo
Pa=35.29 psi	Se puede prescindir de la instalación de anillos atiesadores por lo tanto se ahorra en la inversión	Menos rígido cuando es sometido a una presión externa muy alta

Fuente: *Elaboración en base a los resultados de este proyecto*

Nota:

C= Tolerancia a la corrosión

E= Eficiencia de la junta soldada

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

h = Altura de la faldilla del cuerpo del tanque

P_a = Máxima presión externa permitida



6 Capítulo VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Se diseñó satisfactoriamente un tanque horizontal a presión para incrementar la capacidad de almacenamiento operativa de GLP de $607.2 m^3$ a $669.6 m^3$ en la planta engarrafadora Tarija-Bolivia cumpliendo con la norma ASME Sección VIII, División 1 y el Reglamento para Construcción y Operación de Plantas de Engarrafado de Gas Licuado de Petróleo (GLP).
 - En base a la información recopilada en planta, comercialización de GLP y funcionalidad de las operaciones, se optó por el diseño de un tanque de $78 m^3$ de capacidad.
 - En función a la temperatura de diseño, el espesor calculado y velando por la economía, se seleccionó el material SA-516 gr 70 para el cuerpo cilíndrico y los cabezales. Éste es un material muy comúnmente usado en la industria petrolera. Se determinó las dimensiones del espesor del cuerpo, los cabezales, las silletas, las orejas de izaje; y la selección de la eficiencia de junta para determinar dichas dimensiones.
 - Para asegurarse que éste sea un diseño que soporte las cargas a las que estará sometido, se realizó un análisis de esfuerzos en puntos estratégicos en todo el tanque. Con este análisis se llega a la conclusión de que el material del tanque será capaz de soportar la presión tanto interna como externa, de esa manera no será necesario la instalación de anillos atiesadores en el cuerpo cilíndrico del tanque.
- Se determinó los diámetros de las boquillas para las conexiones y los accesorios del tanque. La selección de los accesorios fue en base al combustible a almacenar y el rango de Presión y Temperatura a la que estará almacenado.

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

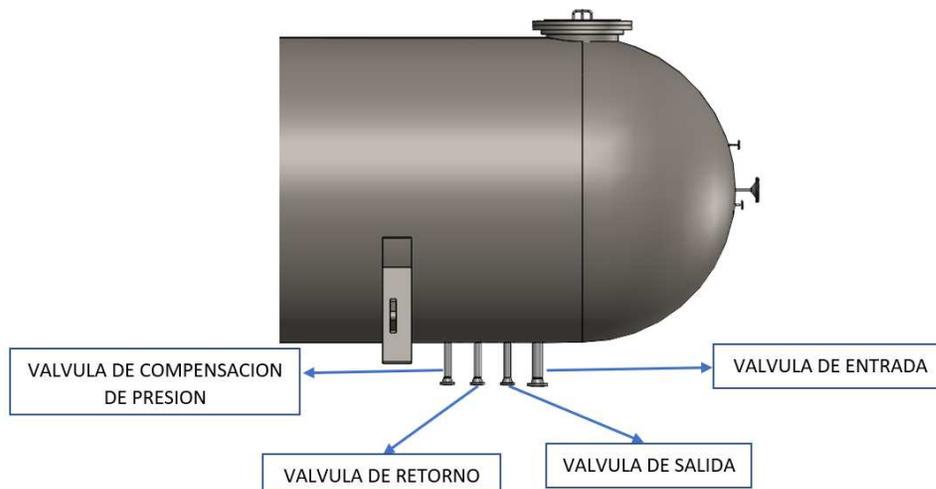
- Se escogió la ubicación del tanque de tal manera que esté en secuencia con los tanques ya instalados y el montaje de las tuberías resulte económico.
- Se hizo un modelado del tanque a escala con todas sus partes y accesorios con ayuda del software SolidWorks. También se incluyó el material en el software para que éste nos brinde un aproximado del precio en material utilizando la herramienta *SolidWorks Costing*. La cotización del montaje, instalación, soldadura, pintura, mano de obra, etc se obtuvo en base a la experiencia de los mecánicos en visitas a la planta.
- Se estudió la factibilidad del proyecto mediante el VAN y el TIR. Los resultados fueron: El resultado del VAN es mayor a cero, lo que nos dice que el proyecto es aceptable y producirá ganancias para la empresa. Con el valor del TIR de 12 %, el proyecto es aceptable y representa una buena inversión.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda la instalación de las 4 balanzas de llenado de GLP para disminuir el tiempo de producción y, con el incremento de la capacidad de almacenaje, llegar a una producción de más de 5000 garrafas diarias para abastecer la demanda.
- Se recomienda expandir la comercialización de garrafas de GLP a más localidades de Tarija donde hay demanda, pero no oferta.
- Es importante realizar un mantenimiento periódico a los tanques con el fin de evitar desgastes en el material y prevenir accidentes.

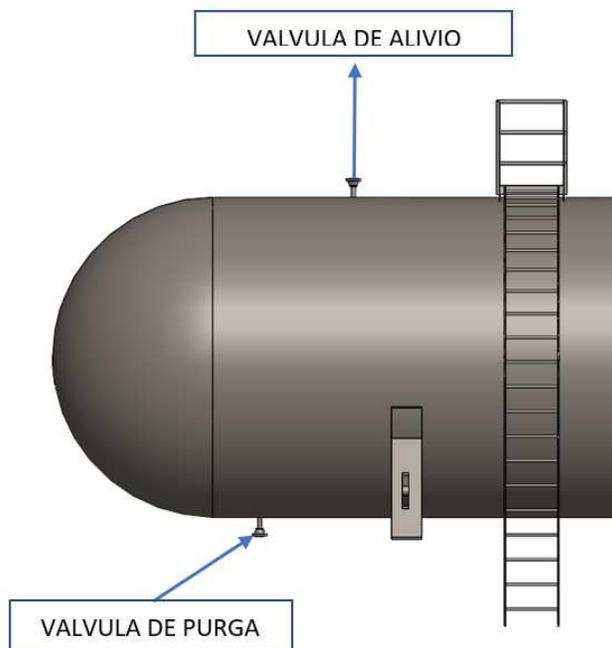
7 CAPITULO VII ANEXOS

Figura 7.1 Válvulas del tanque



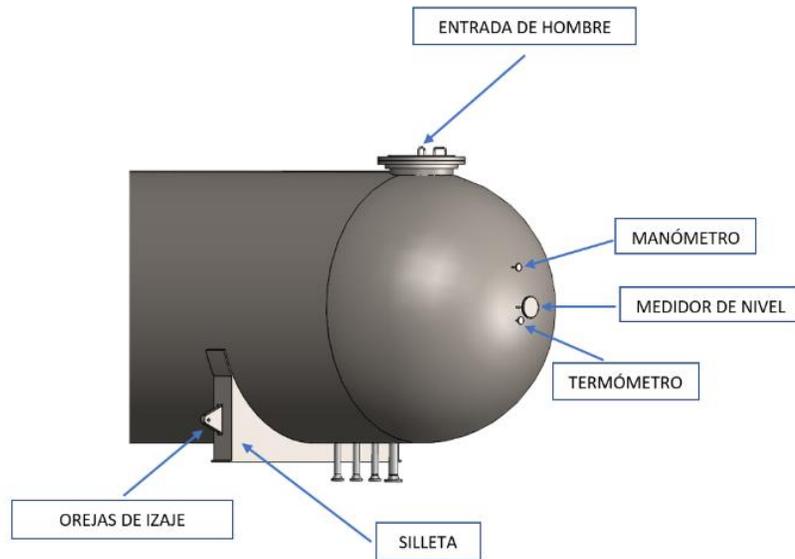
Fuente: Elaboración en base al diseño obtenido mediante el software SolidWorks

figura 7.2 Válvulas del tanque



Fuente: Elaboración en base al diseño obtenido mediante el software SolidWorks

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Figura 7.3 Accesorios y partes del tanque

Fuente: Elaboración en base al diseño obtenido mediante el software SolidWorks

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

Tabla 7.1 Tabla resumen de los parámetros calculados en el proyecto

		Variable	VALOR	UNIDAD	
Consideraciones de diseño	MATERIAL SELECCIONADO		SA-516 gr. 70		
	esfuerzo máximo permisible	S	20015,2	Psi	
	temperatura de diseño	T	211	°C	
	Presión de operación	Po	300	Psi	
	Presión de diseño	P	330	psi	
	tolerancia a la corrosión	C	0,1	plg	
	eficiencia de la junta del cuerpo	E	1		
	eficiencia de junta del cabeza	E	1		
Cálculo del espesor de los cabezales a presión interna	Espesor mínimo requerido	tmin	0,41	plg	
	Espesor de diseño	tdiseño	0,51	plg	
	Espesor nominal	tnominal	0,625	plg	
	Altura de la faldilla	hfaldilla	2,4	plg	
	Diámetro interno	DI	100	plg	
	Diámetro externo	DE	101,225	plg	
Cálculo del espesor del cuerpo cilíndrico por presión interna	Espesor mínimo requerido	tmin	0,83	plg	
	Espesor de diseño	tdiseño	0,93	plg	
	Espesor nominal	tnominal	1	plg	
	Longitud entre las líneas de soldadura cuerpo/cabezales	L	536,22	plg	
	Diámetro interno	DI	100	plg	
Diseño del espesor a presión externa (vacío)	Diámetro externo	DE	102	plg	
	Presión externa del tanque	Pa	35,29	Psi	
Dimensiones de las silletas o soportes		A1	58	plg	
		B	9	plg	
		C	90	plg	
		D	3/4	plg	
		E	10	plg	
		F	40	plg	
		G	92	plg	
		H	5/8	plg	
		J	23	plg	
		K	1/2	plg	
	Dimensiones de las orejas de izaje		A	2	plg
		B	9 3/4	plg	
		C	9 3/4	plg	
		D	1 5/8	plg	
		F	3 1/2	plg	
		G	3/4	plg	
Cálculo del peso total del tanque		H	1/2	plg	
	Peso del tanque vacío	Wtanque	59870	lb	
	Peso del tanque lleno de agua	Wtotal	231700,66	lb	
A) Esfuerzos longitudinales por la flexión	1.- ESFUERZOS LONGITUDINALES EN EL PLANO DE LOS SOPORTES DEL TANQUE	a) Esfuerzo de tensión	σ	11621,9	psi
		b) Esfuerzo de compresión	σ	9240	psi
	2.- ESFUERZOS LONGITUDINALES EN EL PLANO MEDIO DEL TANQUE	a) Esfuerzo de tensión en la parte inferior	σ	9930,33	psi
		b) Esfuerzos de compresión en la parte superior	σ	9240	psi
B) Esfuerzo cortante tangencial		σ	1245,38	psi	
C) Esfuerzos circunferenciales	1. EFUERZOS CIRCUNFERENCIALES EN LA ZONA DEL CUERNO DEL SOPORTE CUANDO NO HAY ANILLO	σ	|-3698,37|	psi	
	2. ESFUERZOS CIRCUNFERENCIALES EN LA ZONA DEL FONDO DE LA SILLETA	σ	|-1274,64|	psi	
La inversión total del tanque		Inversion	2236807,584	Bs	
		VAN	1.228.192.416	Bs	
		TIR	12%		

Fuente: Elaboración en base a los parámetros calculados en este proyecto

8 CAPITULO VIII BIBLIOGRAFIA

Reglamento para Construcción y Operación de Plantas de Engarrafado de Gas Licuado de Petróleo (GLP). (1997).

Bednar, H. H. (1991). *Pressure Vessel Design Handbook*.

DIARIO DIGITAL DE TARIJA. (2020).

Flores, M. (2005). *Consideraciones para el diseño y fabricación de recipientes a presión y tanques atmosféricos (Tesis de Post-Grado, Corporación Mexicana de Investigación en Materiales)*.

J.Massa-J.Giro-A.Giudici. (2015). *Compendio del cálculo estructural II*.

Jubileo. (2011).

Ley 3058. (2005).

(2013). *MANUAL DE OPERACIÓN POLIDUCTO*.

Megyesy, E. F. (1992).

Megyesy, E. F. (1992). *Manual de recipientes a presión*.

Reglamento para Construcción y Operación de Plantas de Engarrafado de Gas Licuado de Petróleo (GLP). (1997).

Rumbo Minero. (3 de Enero de 2022). Obtenido de <https://www.rumbominero.com/bolivia/bolivia-logro-records-en-ventas-de-glp-y-de-recursos-evaporiticos-en-2021/>

DISEÑO DE TANQUE HORIZONTAL A PRESIÓN

MANUAL DE OPERACIÓN DEL POLIDUCTO VILLA MONTES -TARIJA (PVT) YPFB

Logística, 2013