

UTN – LA PLATA

DTO. INGENIERIA MECANICA

Práctica Supervisada



*Desarrollo tanque de Gas Natural
Licuado para combustible en camiones*

Alumno: González Matías Juan
Docente Tutor: Adalberto Comasco

AÑO 2019

Índice

Introducción.....	4
Marco de referencia.	5
Fluidos criogénicos:.....	5
El gas natural.....	5
Gas natural licuado (GNL)	6
Características.	6
El GNL frente a otros combustibles:	7
Combustibles.	7
Diésel	7
Gas natural comprimido (GNC):	9
Gas natural licuado (GNL).	10
Cuerpo central	12
Ejecución del plan de trabajo:	12
Cálculos y diseño.....	13
Tanque interno:.....	15
Tanque externo.	19
Cálculo de la aislación.	21
Diseño de soportes y vinculación entre el tanque interno y externo.....	23
Componentes principales para el funcionamiento del tanque, y medidas de accesorios y cañerías.....	24
Resultados y conclusiones	27
Vinculación del proyecto con las materias de la carrera	28
Lecciones aprendidas y recomendaciones	30
Bibliografía.....	31
Anexo.....	32

Índice de figuras

Figura 1: Composición del gas	6
Figura 2: Croquis casquete	16
Figura 3: Croquis de cotas tanque interno	18
Figura 4: Croquis casquete	19
Figura 5: Croquis cotas tanque externo	20
Figura 6: Partes principales	24

Índice de tablas

Tabla 1 Datos principales para diseño	13
Tabla 2 Simbología	14
Tabla 3 Accesorios	27

Introducción

En la actualidad, Argentina y el mundo, se encuentran en la búsqueda de nuevas tecnologías y soluciones para mejorar la calidad de vida de la población, reduciendo la generación de contaminantes. Es por esto que surgen líneas de investigación y desarrollo asociadas a los combustibles y el impacto que generan los productos de su combustión en las distintas aéreas donde se los aplica.

En este informe se hará hincapié en el desarrollo de recipientes para almacenamiento de combustible. En este caso el combustible a almacenar será **gas natural licuado (GNL)**, el mismo se usará para el funcionamiento de motores de combustión interna particularmente en camiones.

Para poder cumplir este objetivo se plantea el desarrollo de un proyecto de diseño y elaboración de este recipiente junto con la empresa INOXPLA La Plata. La misma se encuentra involucrada en la fabricación de tanques y elementos criogénicos, que son de vital interés en el desarrollo del proyecto.

Marco de referencia.

El objetivo que se persigue en este informe, es desarrollar y diseñar un recipiente capaz de contener y almacenar combustible, en este caso gas natural licuado (GNL).

Se observa un potencial incremento de la utilización de este tipo de recipientes en el país, a causa de la explotación de las reservas de gas en el sur del territorio, y de la creciente demanda de tecnologías que sean inofensivas para el medio ambiente y la población.

Se hará un análisis de las ventajas y desventajas del desarrollo, basados en los aspectos económicos y medioambientales del uso del GNL. Para ponerse en contexto con el tema, se definen algunos conceptos que conciernen al estudio.

Fluidos criogénicos:

Un fluido criogénico es un líquido cuyo punto de ebullición se encuentra por debajo de los -90°C a una presión absoluta de 101,325 kPa.

Debido a las características de estos fluidos, se requieren precauciones durante su almacenamiento y uso. Las bajas temperaturas de los mismos, hacen que materiales como el acero al carbono, plásticos y cauchos, puedan ser fácilmente quebradizos cuando entran en contacto con los fluidos criogénicos.

Los líquidos criogénicos son gases a temperaturas extremadamente bajas, por lo que se debe tener especial cuidado en su manipulación y almacenamiento, ya que una descompresión del fluido puede provocar una rápida expansión que dañe los recipientes y a su vez, al ser liberado a la atmósfera, desplaza al oxígeno con facilidad. Por tal motivo, los recipientes de almacenamiento, se deben ubicar en recintos con muy buena ventilación o preferentemente al aire libre.

El gas natural.

El gas natural, es un combustible fósil, que se lo encuentra en yacimientos que pueden ser de petróleo y gas o solo de gas. Está compuesto principalmente por metano, conteniendo a su vez (en menor proporción), etano, propano, pequeñas cantidades de oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, compuestos de azufre y además se puede

encontrar agua en su composición. Es una energía limpia con bajos niveles de efecto invernadero, que puede ser utilizada de forma directa sin refinamiento.

En la Figura 1, se detalla la composición de este combustible en un gráfico de torta con sus correspondientes porcentajes.

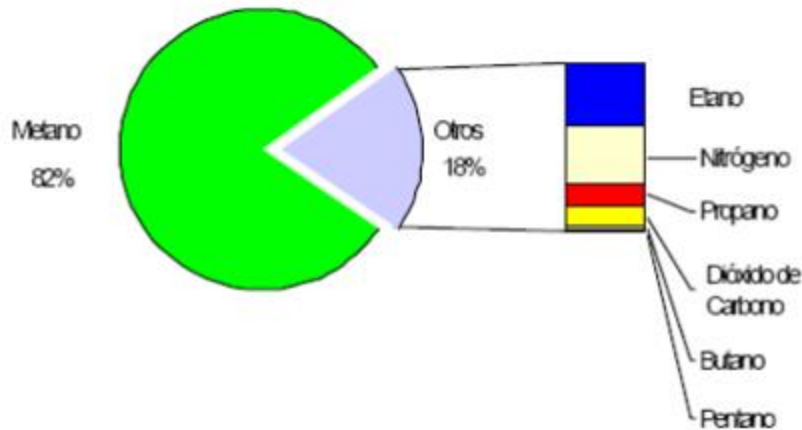


Figura 1: Composición del gas

Gas natural licuado (GNL)

El GNL es gas natural que ha sido sometido a un proceso de licuefacción, que consiste en llevarlo a una temperatura aproximada de -160°C con lo que se consigue reducir su volumen en 600 veces. El GNL luego de este proceso se halla en estado líquido y es considerado un fluido criogénico.

Características.

- Identificación de los riesgos:

Es un gas inflamable, cuya temperatura de líquido (-160°C) provoca peligro de quemaduras por congelación a presión atmosférica.

La vaporización del producto, produce nubes de vapor blanco. Los vapores desprendidos del líquido son muy fríos y 1,5 veces más pesados que el aire, por lo que se expande a nivel del suelo hasta que alcanza los -104°C haciéndose más ligero que el aire.

- Propiedades físico-químicas:

Color: incoloro.

Olor: inodoro.

Temperatura de auto ignición: 540°C

Temperatura de ebullición: -160°C a 1atm.

Punto de congelación: -182°C

Densidad: 460 Kg/m³

Densidad relativa del vapor a temperatura ambiente: 0,6

Límites de explosividad: Superior 15%, inferior 5%.

Calor de combustión: 11900 Kcal/Kg

Peso específico líquido: 0,45

Peso molecular: 16

1m³ de líquido libera aproximadamente 600m³ de gas.

El GNL frente a otros combustibles:

A la hora del desarrollo de este trabajo y sus contenidos es fundamental el análisis del “por qué” se elige realizar el proyecto. Para esto se vuelve interesante destacar las ventajas que presenta dicho combustible y su forma de aplicación frente al resto de los presentes en el mercado, destinados a camiones.

Por lo tanto, se realiza un comparativo entre dos combustibles ya utilizados en camiones, frente al GNL que es el objeto de este estudio.

Combustibles.

Diésel

Es un combustible, en estado líquido que se obtiene en el proceso de destilación del petróleo que es sometido a distintos procesos para eliminar el azufre y otros componentes.

Contiene aditivos que ayudan a mejorar las cualidades y prestaciones de los motores: cuanta más calidad tengan éstos, mejor rendimiento -a nivel de potencia y de cuidado de todos los elementos que formen parte del circuito de alimentación del vehículo- obtendremos, ya que también se encarga de mantener lubricados estos componentes.

Propiedades:

- Densidad a 15°C: 0,84 Kg/Lts
- Punto de ignición: 63°C
- Numero cetano: 45-50
- Calor de combustión: 44 Mj/Kg
- Auto inflamación: 257°C
- Poder calorífico: 10100 Kcal/kg

Ventajas:

- Tiene una gran autonomía en cuanto a la cantidad de kilómetros por litro que pueden recorrer.
- Es económico comparado con las gasolinas.
- Tiene gran capacidad para uso en vehículos de transporte de cargas y pasajeros cuyos motores requieran de gran torque.
- Mayor durabilidad del motor.
- No es necesario personal calificado para el reaprovisionamiento del diésel pudiendo hacerlo el usuario.

Desventajas:

- Alto costo de adquisición de los motores respecto a otros tipos de combustible.
- Motores más ruidosos.
- Mayor vibración.
- Si solo se conduce en ciudad tiende a tener daños por acumulación de carbón y problemas en el sistema anticontaminación del vehículo.
- Mantenimiento periódico, de lo contrario pueden ser altamente contaminantes.
- Por lo general no son para alta velocidad.
- Producen más contaminación que el resto de los combustibles, producen altos niveles de dióxidos de nitrógeno y en algunos casos de azufre, junto con

pequeñas partículas que quedan en suspensión luego de la combustión cuando se produce un mal funcionamiento del motor. Por esto el diésel es uno de los combustibles más contaminantes en ciertas ocasiones.

Gas natural comprimido (GNC):

Es un combustible gaseoso a temperatura y presión ambiente, está compuesto mayoritariamente por metano. Tiene alto índice de hidrogeno, por lo que genera menos dióxido de carbono por unidad de energía producida en la combustión. El gas natural es obtenido en yacimientos de petróleo y gas o solo de gas.

Para tener una buena capacidad de almacenamiento, se procede a comprimir dicho gas hasta una presión de cómo máximo 200bares. Para soportar estas presiones se requieren recipientes suficientemente resistentes.

Propiedades:

- Temperatura de ebullición a 1 atm: $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Peso específico: $0,808\text{ kg/m}^3$
- Densidad en fase líquida (en el punto de ebullición): $0,423$
- Poder calorífico: 9100 Kcal/m^3
- Índice octano: 125
- Densidad relativa al aire: $0,625$

Ventajas:

- Asegura una combustión más limpia, con bajos niveles de emisiones.
- Es económico frente al diésel y la gasolina.
- Gases de escape casi exento de partículas.
- Más liviano que el aire.
- El aceite que lubrica la planta motriz resulta menos contaminado, por lo que aumenta los intervalos entre cambios de aceite y filtros de aceite.

- No forma sedimentos manteniendo las bujías limpias, prolongando hasta 3 veces su duración.

Desventajas:

- Leve pérdida de potencia en el motor.
- Requieren controles minuciosos y periódicos de los recipientes.
- Hay mayores cuidados en cuanto a seguridad.
- Menor autonomía por la poca capacidad de almacenamiento en tanques para autos o camiones.
- El recipiente que lo contiene es pesado.
- Se requiere de muchos recaudos a la hora de recargar los recipientes a causa de las grandes presiones que se manejan.
- El reaprovisionamiento lo realiza personal calificado en las estaciones de recarga.

Gas natural licuado (GNL).

Se obtiene al igual que el gas natural comprimido, el gas es el mismo en ambos casos, tanto GNC como GNL, presentan la misma composición. La diferencia radica en que el GNL es enfriado hasta -160°C para ser almacenado en estado líquido a presión atmosférica comportándose como un fluido criogénico.

Ventajas:

- Es limpio, genera menos emisiones de CO₂.
- Económico.
- Vapores más livianos que el aire.
- No es inflamable a esas temperaturas.
- Puede ser reaprovisionado por el usuario.
- Mayor capacidad de almacenamiento, lo que da mayor autonomía en kilómetros por litro recorridos con una sola recarga.

Desventajas:

- Puede provocar quemaduras criogénicas si se entra en contacto con el mismo.
- Para su recarga requiere equipamiento adecuado.
- Se requiere capacitación del usuario para el reaprovisionamiento del combustible.

Luego del comparativo entre estas tres alternativas, se observa que el GNL es el combustible que mejor se comporta en relación con distintos parámetros que se consideran de gran importancia como ser: la poca contaminación, la economía del combustible, su gran capacidad de almacenamiento y la autonomía que se puede lograr.

Esto motiva a la realización e investigación del proyecto, ya que con el GNL se logra menor contaminación ambiental (algo que en estos tiempos es de vital importancia) y sobre todo una buena relación en cuanto a lo económico, logrando mayor autonomía en Kilómetros con un combustible barato comparado con los disponibles en el mercado, que en la mayoría de los casos es de gran importancia a la hora de elegir el vehículo a utilizar junto con su sistema de impulsión.

Cuerpo central

En esta sección se planteará el desarrollo y diseño del mencionado tanque, teniendo en cuenta los parámetros constructivos requeridos dependiendo del lugar donde será utilizado. Se abordará el cálculo del tanque teniendo en cuenta espesores requeridos, cañerías, aislación, entre otros.

Ejecución del plan de trabajo:

El plan de trabajo consta de una investigación y estudio previo del tema, una selección de la información obtenida y posterior aplicación de la misma para el desarrollo del proyecto.

Se ha recurrido a información brindada por diferentes empresas como ser CHART y AGILITY, dos empresas vinculadas de forma directa con el GNL y sus aspectos principales.

A su vez luego de realizarse la recolección de toda la información necesaria, se plantea la búsqueda de las reglamentaciones y normativas vigentes para el diseño del tanque que se adapten a nuestro país, ya que lo que se encuentra fabricado se basa en reglamentaciones europeas.

Por tal motivo se consideran como aptas para el diseño las normas ISO 21029-1, ISO 21028 y la UNE-EN 13445-3, en la cual se basa el libro Criogenia de Rogelio González Pérez.

Dentro del plan de trabajo realizado, se cuenta con la etapa de recolección de los datos principales necesarios para el cálculo del recipiente.

En la Tabla 1, se detallan datos para diseño, obtenidos de diferentes fuentes, ya sea empresas o documentos y desarrollos por terceros disponibles en la web.

Datos para diseño	Información obtenida	
	Valor	Unidades
Volumen promedio	500	Lts
Presión dirigida al motor	150-1,0342	Psi-Mpa
Presión máxima para válvula de seguridad primaria	230-1,5857	Psi-Mpa

Presión máxima para válvula de seguridad secundaria	350-2,4131	Psi-Mpa
Incremento diario de presión por acción del calor entrante al tanque	(10 a 15)-(0.068 a 0.1034)	Psi-Mpa
Incremento diario de temperatura por acción del calor entrante al tanque	(3 a 5)-(-16.111 a -15)-(256,88 a 258)	°F-°C-°K
Temperatura del GNL a 1atm	(-162)-(111)	°C-°K
Densidad del GNL a -162°C	422,6	Kg/m3
Tensión admisible Acero Inoxidable 304-L	1406	Kg/cm2
Temperatura ambiente considerada	50-323	°C-°K
Diámetro externo cilindro interno Da	660,4	mm
Temperatura inicial del tanque (ti)	(-162)-(111)	°C-°K
Temperatura final del tanque (tf)	(-159,22)-(113,78)	°C-°K

Tabla 1 Datos principales para diseño

Cálculos y diseño.

En la Tabla 2 se presenta la simbología y nomenclatura de cada factor que interviene en el cálculo y diseño del tanque. Todo el informe hace referencia a esta tabla.

Símbolo	Designación	Unidad
p	Presión de diseño	MPa
p_s	Presión máxima permitida	MPa
P_l	Presión ejercida por el contenido líquido	MPa
ρ	Densidad del fluido	Kg/m3
h	Nivel de líquido en el tanque	m
g	Aceleración de la gravedad	m/seg2
p_t	Presión de prueba	MPa
s	Espesor mínimo de pared del tanque	mm
c	Margen para la corrosión	mm
D_a	Diámetro externo, del cilindros interno y externo	mm
D_i	Diámetro interior del cilindro interno y externo	mm

<i>Dicas</i>	Diámetro interno de casquetes interno y externo	mm
<i>V</i>	Factor de unión de soldadura	1
<i>S</i>	Factor de seguridad a la presión de diseño, con respecto a R_e	1
<i>K20</i>	Propiedad del material a temperatura T expresada en 0°C	N/mm ²
<i>R</i>	Radio de curvatura mayor, para radio interior de casquete	mm
<i>r</i>	Radio menor interior del casquete	mm
<i>scas</i>	Espesor del casquete	mm
<i>h 2</i>	Ancho de casquete	mm
<i>ch</i>	Coeficiente de forma para casquetes (elípticos/toriesférico)	-
<i>LT</i>	Largo del cilindro	mm
<i>Vv</i>	Volumen del cilindro	Lts
<i>Vf</i>	Volumen de casquete	Lts
<i>VT</i>	Volumen total del tanque	Lts
<i>Q</i>	Cantidad de calor entrante al tanque	Kcal/día
<i>Ce</i>	Calor específico del fluido	Kcal/Kg ^{°K}
<i>m</i>	Masa de fluido	Kg
<i>tf</i>	Temperatura final	°K
<i>ti</i>	Temperatura inicial	°K
<i>e</i>	Espesor de aislación	mm
λ	Conductividad térmica del aislante en el vacío	Kcal/segm ^{°K}
<i>Tamb</i>	Temperatura ambiente	°C - °K
<i>Tint</i>	Temperatura interna del tanque	°C - °K
<i>ea</i>	Sobre espesor por corrosión	mm
<i>es</i>	Factor de forma (depende de la forma del casquete)	-
<i>Sm</i>	Superficie media de asilamiento	m ²
<i>Sav</i>	Superficie del cilindro	m ²
<i>Saf</i>	Superficie de casquetes	m ²

Tabla 2 Simbología

El cálculo del tanque se realiza en base a la norma ISO 21029-1. Todas las fórmulas, nomenclaturas y criterios de diseño fueron obtenidos de dicha norma.

Tanque interno:

Cálculo de la presión de diseño P.

$$P_s = 350 \text{ psi} = 2.41317 \text{ MPa}$$

$$P_l = \rho * g * h = 422.6 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.66 \text{m}$$

$$P_l = 2733.3 \frac{\text{Kg}}{\text{ms}^2} = 0.0273 \text{ MPa}$$

$$P = P_s + P_l + 0.1 \text{ MPa}$$

$$P = 2.41317 \text{ MPa} + 0.0273 \text{ MPa} + 0.1 \text{ MPa}$$

$$P = 2.54 \text{ MPa}$$

Cálculo de la presión de testeo del tanque P_t.

$$P_t \geq 1.3 (2.41317 \text{ MPa} + 0.3 \text{ MPa})$$

$$P_t \geq 3.527 \text{ MPa}$$

Cálculo del espesor de pared s.

Para este cálculo, se tendrán en cuenta distintos factores y coeficientes de seguridad tomados de los requerimientos que cita la norma. Su simbología esta detallada en la **Tabla 2.** nombrada previamente.

$$s = \frac{D_a * P}{\left(20 * \frac{K_{20}}{S} * V\right) + P} = \frac{660.4 \text{ mm} * 2.54 \text{ MPa}}{\left(20 * \frac{14.06}{1.33} * 1\right) + 2.54 \text{ MPa}} = 7.83 \text{ mm}$$

Donde recordando:

s = es el espesor mínimo de pared del tanque expresado en [mm].

D_a = es el diámetro externo del cilindro en [mm].

P = es la presión de diseño en [Mpa].

K_{20} = propiedad del material a temperatura T expresada a 0°C en [N/mm^2].

V = factor de unión de soldadura adimensional.

S = coeficiente de seguridad.

Por lo tanto, luego de obtenido el resultado, se adopta un espesor de 7.94mm que es un valor estándar de comercialización, al igual que el diámetro D_a de 660.4mm.

Cálculo de los casquetes.

Por norma, y para la utilización que se le dará al tanque, se adoptan los “casquetes elípticos 2:1”. En la Figura 2 se observa un esquema de la forma de los casquetes para el tanque.

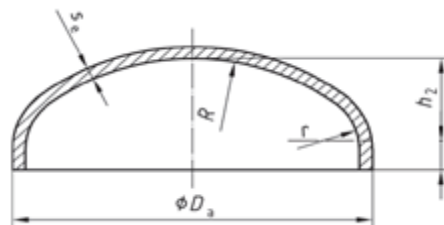


Figura 2: Croquis casquete

$$R = 0.9 * D_a$$

$$R = 594.36\text{mm}$$

$$r = 0.170 * D_a$$

$$r = 112.268\text{mm}$$

Cálculo del espesor de los casquetes.

$$D_i = D_a - 2s$$

$$scas = \frac{P * D_i}{\left(20 * \frac{K_{20}}{S} * V\right) - 0.2 * P}$$

Donde:

scas = espesor mínimo del casquete en [mm].

D_i = diámetro interno del cilindro en [mm].

$$scas = \frac{2.54 MPa * (660.4 mm - 7.94 mm * 2)}{\left(20 * \frac{14.06}{1.33} * 1\right) - 0.2 * 2.54 MPa} = 7.76 mm$$

Se adopta un espesor de casquete estandarizado de 9.52mm.

Dimensionado y medidas principales del tanque.

Estas medidas se obtuvieron en base a las fórmulas de cálculo propuestas por el libro Criogenia de Rogelio González Pérez. Además, todos los factores y datos involucrados se encuentran detallados en la **Tabla 1** y la **Tabla 2**.

El tanque interno, tomando las medidas estándar de comercialización disponibles en el mercado y considerando el volumen promedio al que se pretender llegar, tendrá un diámetro externo D_a de 660.4mm.

En la Figura 3 se muestra un esquema indicativo de las cotas del recipiente, necesarias para su fabricación.

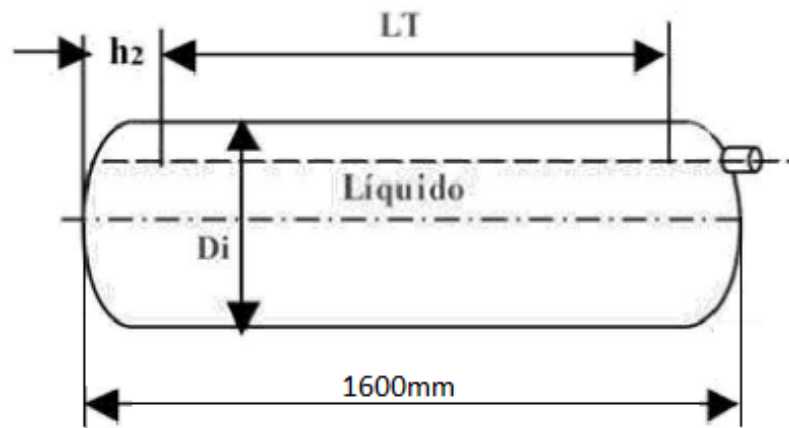


Figura 3: Croquis de cotas tanque interno

$$h_2 = c_h * D_i = c_h * (D_a - 2s)$$

$$h_2 = 0.250 * (660.4\text{mm} - 2 * 7.94\text{mm})$$

$$h_2 = 160.34\text{mm}$$

$$L_T = 1600\text{mm} - 2 * h_2$$

$$L_T = 1279.2\text{mm} \rightarrow 1280\text{mm}$$

$$V_v = 10^{-6} * \pi \frac{D_i^2}{4} L_T$$

$$V_v = 10^{-6} * \pi \frac{(644.52\text{mm})^2}{4} 1280\text{mm}$$

$$V_v = 417.6 \text{ Lts}$$

$$V_f = 10^{-6} * c_f * (D_{icas})^3$$

$$V_f = 10^{-6} * 0.127 * (660.4\text{mm} - 2 * 9.52\text{mm})^3$$

$$V_f = 33.5 \text{ Lts}$$

$$V_T = V_v + 2 * V_f$$

$$V_T = 417.6\text{Lts} + 2 * 33.5\text{Lts} = 484.6\text{Lts}$$

Tanque externo.

El tanque externo (basándose en medidas estándar de comercialización), tendrá un diámetro exterior $D_a=711.2\text{mm}$ o 28".

En cuanto a su espesor, realizando los cálculos necesarios con las presiones de diseño y con los espesores de comercialización estándar, se llega a la siguiente conclusión:

Realizando los cálculos con la guía provista en el código ASME SECCIONES 8D2-Reglas para la construcción de recipientes a presión; y la SECCION 2. Se obtuvo como resultado que el espesor mínimo a utilizar es de 0.75mm para la presión de diseño externa (presión atmosférica).

A mi criterio, el espesor a adoptar para el cilindro será de $S= 3\text{mm}$, ya que se tiene en cuenta la presión no solo atmosférica, sino también la presión que ejercen sobre el tanque los zunchos de sujeción, cuyo diseño no es parte del presente informe. Y por otro lado se adoptará para los casquetes un espesor de $S_{cas}=4\text{mm}$.

Dimensionado del tanque con los espesores adoptados.

Por norma (ISO 21029) los radios de los casquetes teniendo en cuenta que serán dimensionados como "toriesféricos" por una cuestión de costos y poca exigencia en cuanto a presión.

En la Figura 4, se puede ver de forma esquemática la forma del casquete con sus respectivas medidas.

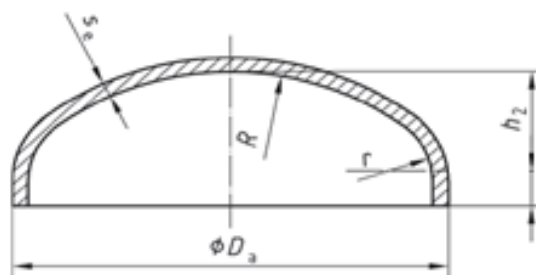


Figura 4: Croquis casquete

$$R = 0.9 * Da$$

$$R = 640.08mm$$

$$r = 0.154 * Da$$

$$r = 109.52mm$$

Las medidas que se encuentran a continuación se obtuvieron en base a las fórmulas de cálculo propuestas por el libro Criogenia de Rogelio González Pérez, al igual que para el tanque interno.

Se aprecia en la Figura 5, el croquis correspondiente en esta oportunidad al tanque externo, con sus debidas cotas.

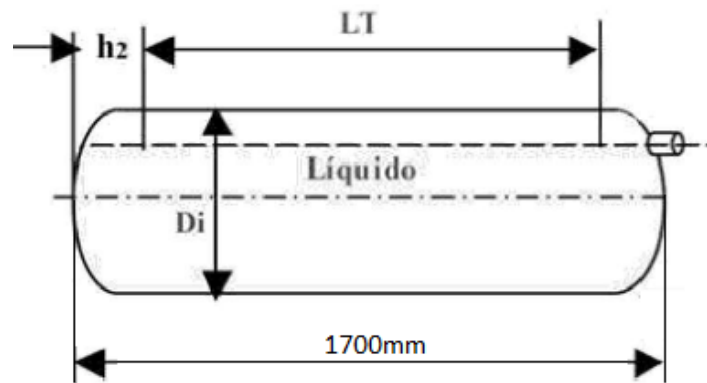


Figura 5: Croquis cotas tanque externo

$$h_2 = c_h * D_i = c_h * (D_a - 2s)$$

$$h_2 = 0.194 * (711.2mm - 2 * 3mm)$$

$$h_2 = 136.8mm$$

$$L_T = 1700mm - 2 * h_2$$

$$L_T = 1426.4mm \rightarrow 1430mm$$

$$V_v = 10^{-6} * \pi \frac{D_i^2}{4} L_T$$

$$V_v = 10^{-6} * \pi \frac{(705.2mm)^2}{4} 1430mm$$

$$V_v = 558.53 Lts$$

$$V_f = 10^{-6} * c_f * (Dicas)^3$$

$$V_f = 10^{-6} * 0.1 * (711.2mm - 2 * 4mm)^3$$

$$V_f = 34.77 Lts$$

$$V_T = V_v + 2 * V_f$$

$$V_T = 558.53Lts + 2 * 34.77Lts = 628.07Lts$$

Cálculo de la aislación.

Para esta etapa se tiene en cuenta la información obtenida de los manuales de operación de la empresa AGILITY para uso de equipos de GNL.

La empresa brinda información acerca de los aumentos de presión y temperatura sufridos en el tanque a causa del ingreso diario de calor.

Teniendo en cuenta los incrementos de presión y temperatura detallados en la **Tabla.1** y la simbología en **Tabla.2**, se procede al cálculo de la aislación.

Cantidad de calor que ingresa diariamente:

Primeramente, se calcula el área de transferencia de calor, para luego hacer el cálculo de la cantidad de calor diaria entrante al tanque.

$$S_{AV} = 10^{-6} * \pi * (D_a + e_a)L_T$$

$$S_{AV} = 10^{-6} * \pi * (660.4mm + 0) * 1280mm = 2.65m^2$$

$$S_{af} = 2 * 10^{-6} * e_s * D_a^2$$

$$S_{af} = 2 * 10^{-6} * 1.072 * (660.4mm)^2 = 0.95m^2$$

$$S_m = S_{AV} + S_{af}$$

$$S_m = 2.65m^2 + 0.95m^2 = 3.6m^2$$

Ahora se procede al cálculo de la cantidad de calor entrante:

$$Q = C_e * m * (t_f - t_i)$$

$$Q = 0.84 \frac{Kcal}{Kg^{\circ}K} * 211.3Kg * (113.78^{\circ}K - 111^{\circ}K)$$

$$Q = 493.42 \frac{Kcal}{dia}$$

$$Q = 493.42 \frac{Kcal}{dia} * \frac{1dia}{24horas} * \frac{1hora}{3600seg} = 5.71 * 10^{-3} \frac{Kcal}{seg}$$

$$Q = \frac{5.71 * 10^{-3} \frac{Kcal}{seg}}{3.6m^2} = 1.586 * 10^{-3} \frac{Kcal}{m^2seg}$$

Cálculo del espesor de aislación requerido:

Para dicho cálculo, se tendrán en cuenta los datos de la **Tabla 1** y la **Tabla 2** de simbología.

A su vez se utiliza la información provista por el fabricante del aislante que se utilizará, quien brinda datos relacionados con la conductividad térmica del aislante en el medio que es de nuestro interés (el vacío).

Para el tanque con las características mencionadas a lo largo de todo el estudio, se necesita realizar una "súper aislación". La misma constará de una cámara de vacío (espacio entre tanque interno y externo) y un papel súper aislante compuesto por láminas de aluminio combinadas con fibra de vidrio no tejida inorgánica.

$$e = \frac{\lambda * (T_{amb} - T_{int})}{Q}$$

Considerando un vacío de aproximadamente 1×10^{-3} Torricelli, entrando en el catálogo provisto por el fabricante (adjunto en bibliografía), se obtiene la conductividad térmica del material $\lambda = 0.045 \frac{mW}{m^{\circ}K}$. Para el cálculo, este dato es necesario plantearlo en función del tiempo, entonces:

$$1 Watt = 0.000239 \frac{Kcal}{seg} \rightarrow \lambda = 1.075 * 10^{-8} \frac{Kcal}{seg m^{\circ}K}$$

Por lo tanto, el espesor queda dado por:

$$e = \frac{1.075 * 10^{-8} \frac{Kcal}{seg m^{\circ}K} * (50^{\circ}C - (-162^{\circ}C))}{1.586 * 10^{-3} \frac{Kcal}{m^2seg}}$$

$$e = \frac{1.075 * 10^{-8} \frac{1}{^{\circ}K} * (323^{\circ}K - 111^{\circ}K)}{1.586 * 10^{-3} \frac{1}{m}} = 1.43 * 10^{-3} m = 1.43 mm$$

Se toma un espesor de 2mm, y teniendo en cuenta que cada capa de aislante tiene un espesor de 0.1mm, estos 2mm, representan 20 capas de aislante.

Este aislante cumple la función de minimizar la radiación de calor producida por el tanque interno. A su vez se suma al mismo, el vacío generado para lograr mayor eficiencia en la aislación.

Diseño de soportes y vinculación entre el tanque interno y externo

Para este apartado se tendrá en cuenta que es necesario evitar, en lo posible, el contacto entre el tanque interno y externo, evitando así la transferencia de calor por conducción entre ambos tanques, perdiendo así aislación el tanque interno con el ambiente.

Por otro lado, se deben tener en cuenta los movimientos del tanque interno propios de la circulación del camión por la carretera y también las contracciones y dilataciones propias de los materiales, a causa de las variaciones en la temperatura.

El sistema de sujeción, consta de un grupo de resortes y planchuelas de acero inoxidable adosadas a los tanques en las cuales se fijarán los mencionados resortes.

Las planchuelas que estarán fijadas al tanque interno, para evitar pérdida de aislación, deberán estar recubiertas con el papel súper aislante seleccionado en el ítem de "cálculo de la aislación". Por otro lado, la vinculación entre estas planchuelas se realizará mediante placas de fibra de vidrio o polímero no conductores del calor. De esta forma se evitan roturas en los materiales amortiguando el movimiento del tanque interno.

Por otro lado, para aumentar aún más la firmeza del tanque interno respecto al externo, se colocarán anillos internos de refuerzo de algún material como el teflón (no conductor del calor), que no solo dará firmeza al tanque interno, sino que también reforzará la resistencia del tanque externo al colapso por efecto de la presión atmosférica y el vacío interno.

Componentes principales para el funcionamiento del tanque, y medidas de accesorios y cañerías.

En las Figura 6 se señala cada uno de los componentes del tanque, los accesorios en la (a) y las conexiones entre los mismos en la (b).

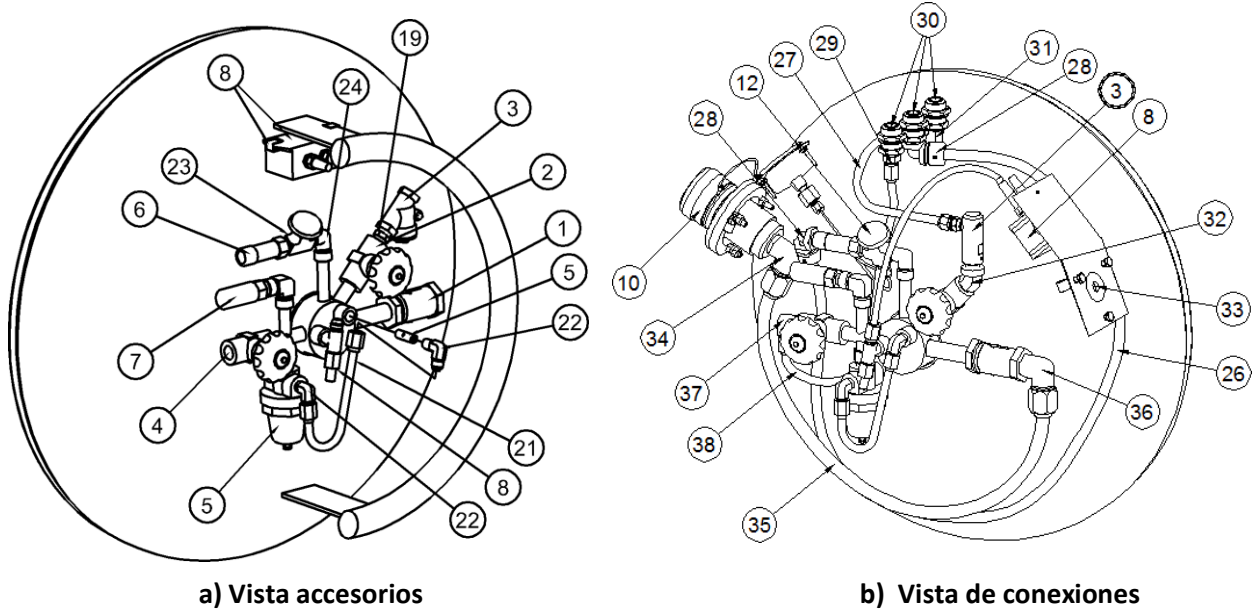


Figura 6: Partes principales

A continuación, en la Tabla 3, se adjuntan las dimensiones de cañerías y accesorios principales del tanque.

Ítem	Descripción
1	Válvula de retención de llenado de 1/2" (tanques > 50 galones)
	Válvula de retención de llenado de 3/8 "(tanques > 50 galones)
	Válvula de retención de llenado de 1/2 "(tanques > 50 galones) (R110)
2	Kit de reparación de corte de combustible (R110) (mango rojo)
3	Válvula de exceso de flujo de acero inoxidable de 3/8 "(tanque cubierto)
4	Kit de la válvula de venteo/cierre de vapor (mango plateado)

5	Regulador y controlador de presión (economizador)
	Válvula de retención interna 2 psi
* 6	Válvula de alivio primaria (230 psi)
	Válvula de alivio primaria (16 bar) (R110)
* 7	Válvula de alivio secundaria (350 psi)
	Cubierta de vinilo rojo
	Válvula de alivio secundaria (24 bar) (R110)
8	Indicador de combustible Sender 12 Volt
	Transmisor indicador de combustible de 12 voltios
9	Intercambiador de calor (no se presenta en este modelo)
10	Ajuste de relleno (Parker)
	Tapa antipolvo (Parker)
	Ajuste de relleno (JC Carter)
	Tapa antipolvo (JC Carter)
	Accesorios de llenado y depósitos con tapa antipolvo <50 galones (NexGen)
	Ajuste de relleno (Parker-R110)
	Ajuste de relleno (Macro-Tech-R110)
11	Válvula de cierre automático de combustible 12 voltios 3/8 "
	Válvula de cierre automático de combustible 12 voltios 1/2 "(R110)
	Válvula de cierre automático de combustible de 24 voltios 1/2 "(R110)
12	Manómetro de tanque 300 psi 1/8 "(no se usa en tanques R110)
	Buje 1/4 "Macho X 1/8" Hembra
13	Regulador de sobrepresión 30-100 psi (rojo)
	Regulador de sobrepresión 100-200 psi (Marrón)
	Regulador de sobrepresión 125-225 psi
	Regulador de sobrepresión preestablecido a 145 psi
14	Conector de ventilación y tapa antipolvo (codo abocinado 45 3/8 ")
	Válvula de desconexión rápida (R110)

15	Dispositivo de señal de baja temperatura
16	Válvula de retención interna 2psi
17	Válvula de retención de venteo de 3/8 "
18	Enchufe: Latón de 1/4 "
19	Nipple hexagonal 3/8 "Inoxidable
20	Codo 1/4 "Latón
21	Conjunto de tubo en U 37 ° de cobre
	Conjunto de tubo en U inoxidable (obsoleto)
22	Codo 37° acampanado 1/4 "Cobre
23	Tee 1/4 "Cobre
24	Codo 1/4 "Cobre
25	Soporte de montaje del remitente inoxidable
	Perno 1 / 4-20 X 1-1 / 2 "Inoxidable
	Tuerca de seguridad 1 / 4-20 inoxidable
*26	Tubo 1/2 "OD Nylon
27	Tubo 3/8 "OD Inoxidable
*28	Codo 1/2 "OD X 3.8" Macho Nylon
29	Conector 3/8 ODT X 3 / 8MPT Cobre
30	Conector de mampara de cobre de 3/8 "
*31	Codo de Compresión 3/8 "Inoxidable
32	45 ° Codo estriado 3/8 "Cobre
33a	Placa de cubierta inoxidable - Tanque individual
33b	Placa de cubierta inoxidable - Tanque doble
33c	Placa de cubierta inoxidable - en blanco
	Ojal
	Perno 1 / 4-20 X 1-1 / 2 "Inoxidable
	Tuerca de seguridad 1 / 4-20 inoxidable
34	Codo 37° acampanado de Cobre 3/4 "
35a	Subconjunto del tubo de llenado (controlador)
35b	Fill Tube Sub Assembly (Passenger)

36a	Codo de 37° acampanado 1/2 " de Cobre
36b	37 ° Codo acampanado 1/2 "Tanque doble inoxidable
37	Codo abocinado 37 °, cobre de 3/8 "
38	Subconjunto del tubo de venteo
39	BNC Patch Cord 3'
	BNC Patch Cord 8'
	BNC Patch Cord 10'

Tabla 3 Accesorios

* La tapa de vinilo rojo es un dispositivo de prevención de agua. La tubería con un drenaje de punto bajo es un dispositivo de prevención de agua y debe agregarse a la válvula de alivio primaria (6 y 7).

Resultados y conclusiones

Los resultados obtenidos desde el punto de vista teórico fueron satisfactorios, pudiéndose obtener todas las medidas necesarias para el planteo del tanque en un programa Cad, y de ser posible (si la economía lo permite) lograr que el mismo pueda ser fabricado en nuestro país.

A su vez, se lograron resultados apropiados para el aislamiento térmico, basándose en la experiencia práctica de la empresa Inoxpla Ingeniería en dicho campo, ya que a pesar de que el tanque ya se encuentra fabricado en el exterior no se puede acceder a información relacionada al tema, por ser considerada "reservada".

En conclusión, el diseño constará de dos tanques, por un lado, el interno, que tendrá un largo de 1600mm, un diámetro exterior de 660.4mm y un espesor de 7.94mm para la parte cilíndrica y 9.52mm para los casquetes. Por otro lado, el tanque externo, tendrá una longitud de 1700mm, un diámetro exterior de 711.2mm, y un espesor de 3mm para la parte cilíndrica y 4mm para los casquetes.

En cuanto a la aislación, se concluyó, que se hará una aislación con vacío y un papel súper aislante, del cual se deberán colocar 20 capas o 20 vueltas. A su vez se hizo un diseño de la sujeción entre ambos tanques que es de gran importancia, ya que el mismo

evita el contacto entre ambos tanques, para evitar la transferencia de calor por conducción.

Desde el punto de vista de los materiales de fabricación, se concluyó que el material a utilizar para ambos tanques será Acero Inoxidable austenítico 304-L. El cual a su vez es el recomendado por las normas para el gas natural licuado. Así mismo puede ser utilizado para las cañerías del sistema, aunque en nuestro caso su diseño se basara en el realizado por una de las empresas fabricantes del tanque en el exterior.

Por último, en el anexo del informe se adjuntarán los planos correspondientes (en formato PDF), los cuales serán necesarios para la fabricación de algún prototipo. Dichos planos fueron realizados en conjunto con un estudiante avanzado de Ingeniería en Materiales de la Universidad Nacional de La Plata, quien fue parte de la investigación y desarrollo.

Vinculación del proyecto con las materias de la carrera

Haciendo un orden cronológico, citando primeramente las materias desde el primero al quinto año de cursada, las materias que tienen vinculación son:

- Física 1 y 2: se aplicaron conceptos básicos, como el cálculo de densidad, fuerzas, etc.
- Sistemas de representación: se aplican los conocimientos adquiridos acerca de la acotación de planos y normas afines al trazado de los mismos.
- Fundamentos de informática: se aplican conocimientos relacionados a software utilizados para el diseño y trazado de planos.
- Estabilidad 1 y 2: se aplican los conceptos básicos para el cálculo de estructuras, recipientes, espesores mínimos admisibles, etc.
- Inglés 1 y 2: se vincula a la traducción de todos los artículos, normas e información hallada en dicho idioma al español.
- Termodinámica: conceptos básicos necesarios para el cálculo de la transferencia de calor relacionada al tanque y el medio ambiente.
- Materiales metálicos: se aplicaron todos los conocimientos adquiridos acerca del comportamiento y resistencia de materiales sometidos a variaciones

continuas de presión, temperatura, dilataciones, etc. La información de dicha materia permitió la elección del material utilizado en el proyecto.

- Tecnología del calor y tecnología del frío: se usó todo el material disponible y aprendido para el cálculo de aislaciones térmicas y estudio de refrigeración de fluidos.
- Mecánica de los fluidos: se utilizó para el dimensionado de las cañerías necesarias del sistema, relacionándose también con tecnología del frío y del calor. Por otro lado, se aplica el cálculo de presiones ejercidas por el fluido en estudio.
- Tecnología de fabricación: vinculada al diseño del tanque, desde el punto de vista del conformado de sus casquetes, aplicación de técnicas de diseño en 3D y formas de mecanizado.
- Metrología e ingeniería de calidad: para el estudio de todas las normativas aplicadas en este proyecto y el cumplimiento de los requerimientos de las mismas.

Lecciones aprendidas y recomendaciones

Durante este trabajo se adquirieron gran cantidad de conocimientos relacionados al área de la “criogenia”. Los conocimientos adquiridos van desde aprender el comportamiento de los fluidos criogénicos y sus características; el comportamiento de los materiales sometidos al contacto de dichos fluidos, conceptos básicos de aislación en frío, entre otros.

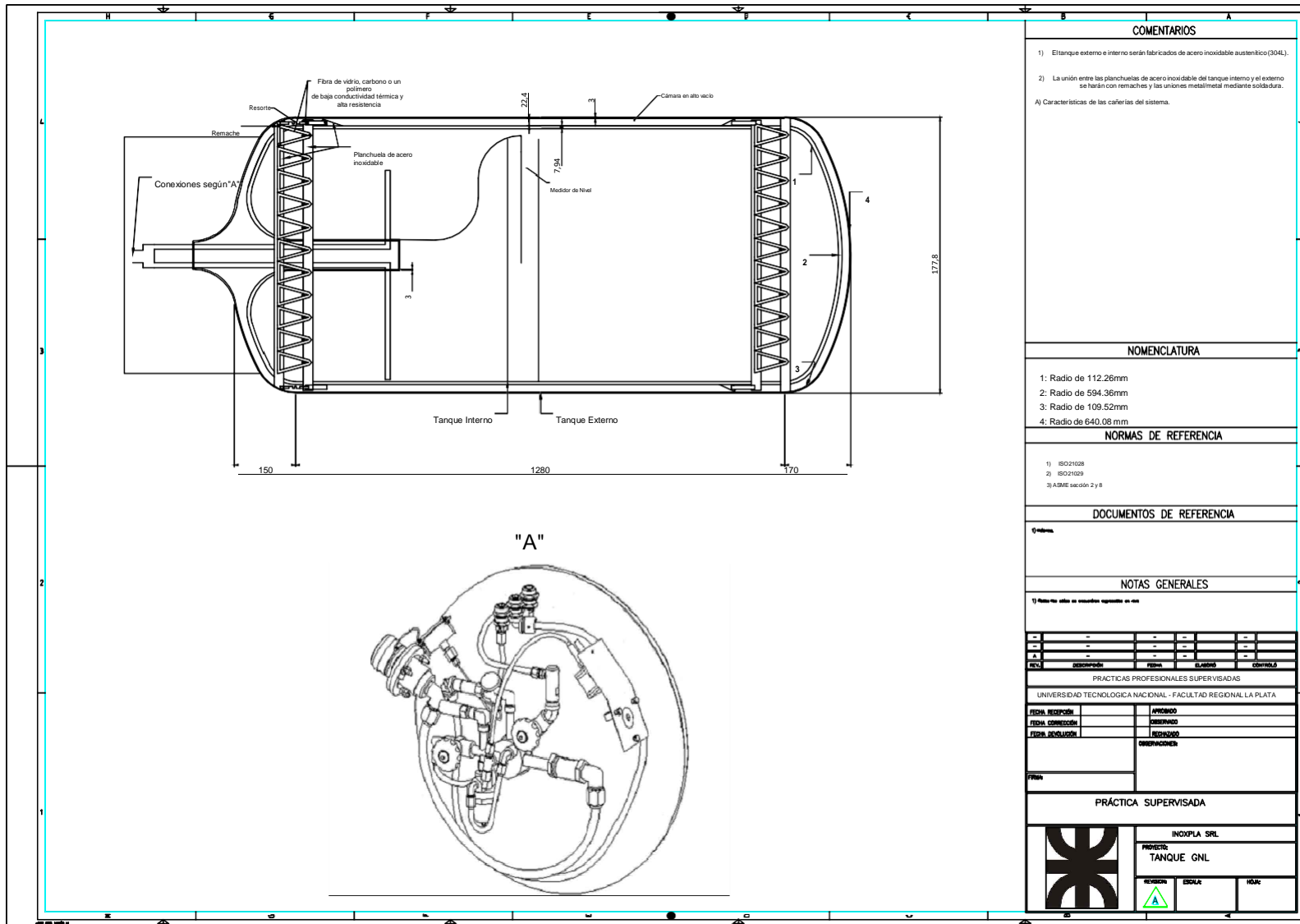
Se adquirieron conocimientos relacionados a los derivados del petróleo, en este caso el GNL, y la situación actual de nuestro país en dicho campo y la cantidad de proyectos en vísperas de desarrollo para el aprovechamiento máximo y distribución de este recurso a lo largo de todo el territorio argentino, de los cuales sería interesante ser parte o aportar al avance de los mismos, como se busca hacer con este proyecto. Aportar conocimientos e ideas afines al avance de las tecnologías capaces de aportar nuevas posibilidades de desarrollo a la población.

Desde el punto de vista de las recomendaciones, es recomendable como lineamiento a un futuro cercano, realizar el estudio de mercado necesario para la aprobación de este proyecto, con la idea firme de fabricarlo en Argentina en Inoxpla Ingeniería. Y no solo fabricarlo para que sea utilizado solo en camiones como originalmente se planteó, sino buscar la forma de adaptar al GNL y toda la tecnología que lo rodea (no solo el tanque) a otro tipo de vehículos utilizados cotidianamente para el transporte de cargas y personas.

Bibliografía

- 1- ADRIANA MARÍA GÓMEZ CUBILLOS (2008). Almacenamiento de gases y fluidos criogénicos, [en línea]. Disponible en: https://www.arlsura.com/images/stories/documentos/fluidos_criogenicos.pdf
- 2- GUILLERMO PITA (2006). Introducción al GNL, [en línea]. Disponible en: http://koweindl.com.ar/kya_articulos/introduccion_al_gas_natural_licuado.pdf
- 3- ENAGAS (2003). Ficha de seguridad GNL, [en línea]. Disponible en: <http://www.ecosmep.com/cabecera/upload/fichas/4702.pdf>
- 4- Diésel (combustible)- Características, propiedades y usos (2018), [en línea]. Disponible en: <http://como-funciona.co/el-diesel/>
- 5- ROCÍO SARMIENTO TORRES. Propiedades físicas y químicas del biodiesel vs diésel del petróleo, [en línea]. Disponible en: <https://www.energiaadebate.com/blog/2072/>
- 6- YPF (2010). Ficha técnica GNC, [en línea]. Disponible en: <https://www.ypf.com/productosyservicios/Descargas/GNC.pdf>
- 7- CAMUZZI GAS. Ventajas del GNC, [en línea]. Disponible en: <http://www.camuzzigas.com.ar/gnc/ventajas-del-gnc>
- 8- Norma ISO 21029 (2018) -Cryogenic vessels — Transportable vacuum insulated vessels of not more than 1000 litres volume — Part 1: Design, fabrication, inspection and tests.
- 9- Operations Manual - Vehicle Fuel Tank System – LNG. Disponible en: www.ChartLNG.com
- 10- Rogelio González Pérez (2013). Criogenia. Cálculo de equipos y recipientes a presión. Díaz de Santos.
- 11- MEDIOS SUPER AISLANTES. Medios super aislantes CRS Wrap, [en línea]. Disponible en: <http://www.lydallpm.com/products/low-temperature-insulation/crs-wrap-super-insulating-media/overview/>
- 12- AGILITY FUEL SOLUTIONS. LNG fuel system, [en línea]. Disponible en: <https://agilityfuelsolutions.com/lng-fuel-systems/>

Anexo



COMENTARIOS

- 1) El tanque externo e interno serán fabricados de acero inoxidable austenítico (304L).
 - 2) La unión entre las planchuelas de acero inoxidable del tanque interno y el externo se harán con remaches y las uniones metal-metal mediante soldadura.
- A) Características de las cañerías del sistema.

NOMENCLATURA

- 1: Radio de 112.26mm
- 2: Radio de 594.36mm
- 3: Radio de 109.52mm
- 4: Radio de 640.08 mm

NORMAS DE REFERENCIA

- 1) ISO21028
- 2) ISO21029
- 3) ASME sección 2 y 8

DOCUMENTOS DE REFERENCIA

0 items

NOTAS GENERALES

1) Referirse a las especificaciones en caso

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COMENTARIO

PRACTICAS PROFESIONALES SUPERVISADAS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL - FACULTAD REGIONAL LA PLATA

FECHA RECEPCIÓN	APROBADO
FECHA CORRECCIÓN	DESAPROBADO
FECHA REVOLUCIÓN	RECHAZADO

OBSERVACIONES:

PRÁCTICA SUPERVISADA

	INOXPLA SRL	
	PROYECTO: TANQUE GNL	
	ESCALA	HOJA