

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

Facultad Regional La Plata



Ingeniería Mecánica

2018

PRACTICA PROFESIONAL SUPERVISADA

**REPARACION Y PLANIFICACION DEL
MANTENIMIENTO, DE TANQUES
CRIOGENICOS PARA GASES
ATMOSFERICOS Y DIOXIDO DE CARBONO**

Alumno: Emiliano Gabriel Carbonari

Docente a cargo: Ing. Jose Cordero

Empresa: Inoxpla SRL a cargo del Ing. Oscar Timossi

INDICE

CAPITULO 1

	PAGINA
1 GENERALIDADES	4
1.1 TECNOLOGIA CRIOGENICA	4
1.2 PRODUCCION DE GASES ATMOSFERICOS	4
1.2.1 PROCESOS DE DESTILACION CRIOGENICA	5
1.2.1.1 ADMISION	7
1.2.1.2 COMPRESION	7
1.2.1.3 PURIFICACION	8
1.2.1.4 ENFRIAMIENTO	8
1.2.1.5 DESTILACION	8
1.2.1.6 ALMACENAMIENTO	9
1.2.2 APLICACION DE LOS GASES ATMOSFERICOS	9
1.3 TANQUES CRIOGENICOS	9
1.3.1 TIPOS DE TANQUES CRIOGENICOS	10
1.3.1.1 TANQUES CRIOGENICOS ESTATICOS	10
1.3.1.2 TANQUES CRIOGENICOS CISTERNA	12
1.3.1.3 TANQUES CRIOGENICOS MOVILES	13
1.3.2 DESCRIPCION DE TANQUES CRIOGENICOS	13
1.3.2.1 TANQUE CRIOGENICO PARA GASES ATMOSFERICOS	14
1.3.2.2 TANQUE CRIOGENICO PARA DIOXIDO DE CARBONO	16
1.3.2.3 TANQUE CON AISLAMIENTO DE POLIURETANO PARA DIOXIDO DE CARBONO	17
1.3.3 COMPONENTES DE LOS TANQUES CRIOGENICOS	18
1.3.3.1 TANQUE DE ALMACENAMIENTO	18
1.3.3.2 SISTEMA DE VACÍO	19
1.3.3.3 LINEA DE LLENADO DEL PRODUCTO	20
1.3.3.4 LINEA DE REGULACION DE PRESION	21
1.3.3.5 LINEA DE SEGURIDAD DE SOBREPRESION	23
1.3.3.6 LINEA DE MEDICION	26
1.3.3.7 LINEA DE SUMINISTRO	28
1.3.4 OPERACION DEL TANQUE CRIOGENICO	29
1.3.4.1 LLENADO DE PRODUCTO EN EL TANQUE	30
1.3.4.2 SUMINISTRO DE PRODUCTO	32
1.3.4.3 REGULACION DE PRESION	33
1.3.4.4 LIBERACION DE SOBREPRESION	37
1.3.4.5 MEDICION DE NIVEL Y PRESION	38

CAPITULO 2

2 TAREAS DE MANTENIMIENTO Y ENSAYOS DE TANQUES CRIOGENICOS	39
2.1 TAREAS DE ADECUACION DE TANQUES CRIOGENICOS	39
2.2 ENSAYOS EN TANQUES CRIOGENICOS	42

2.2.1	TOMA DE VACÍO DE TANQUES CRIOGÉNICOS Y ENSAYO DE FUGA DE HE	42
2.2.1.1	TOMA DE VACÍO DE TANQUES CRIOGÉNICOS	42
2.2.1.2	ENSAYO DE FUGA DE HE	43
2.2.2	ENSAYO DE PUNTO DE ROCIO	45
2.3	ANEXOS PLANILLAS Y DOCUMENTOS	46

CAPITULO 3

3	REPARACION Y PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO DEL TANQUE Nº19 3000	57
3.1	ADECUACION DEL TANQUE CRIOGENICO	57
3.1.1	ENTRADA DEL TANQUE	57
3.1.2	ORDEN DE TRABAJO R-R	61
3.1.3	REALIZACION DE TAREAS	62
3.1.4	RESUMEN DE PUNTOS QUE SE TUVIERON EN CUENTA	71
3.1.5	REGISTROS QUE REQUIERE EL CLIENTE	77
3.1.6	TANQUE TERMINADO	85
3.1.7	PLAN DE MANTENIMIENTO	86
3.1.8	REGISTRO R-R2.34	87
3.1.9	DOCUMENTO R-R2.35 - Certificado de Performance y Calidad	88
3.2	HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA LA REPARACION DEL TANQUE	89

	BIBLIOGRAFIA	93
--	--------------	----

Introducción

En este trabajo se desarrolló la planificación del mantenimiento de tanques criogénicos para gases atmosféricos y dióxidos de carbono en la empresa INOXPLA SRL.

Para cumplir con el objetivo fue necesario desarrollar los conceptos teóricos referentes a: tecnología criogénica, producción de gases, componentes del equipo, funcionamiento y mantenimiento de tanques criogénicos.

En primera instancia se desarrollaron los conceptos generales de: tecnología criogénica, proceso de destilación criogénica, y la clasificación y descripción de los tanques criogénicos. Posteriormente se realizó el estudio para establecer las tareas de mantenimiento, ensayos a realizar en tanques criogénicos y se desarrolló la gestión de la información disponible (Se anexan tablas y documentos de las mismas). Se detallan los pasos a seguir para realizar el mantenimiento de un tanque criogénico y la planificación del mantenimiento luego de ser reparados.

Adicionalmente se ejecutó la inspección general de un tanque criogénico (tanque nº19 3000) en la empresa, lo cual permitió determinar los problemas físicos y funcionales presentes en el mismo, entre los principales problemas detectados se encontraron los siguientes: pintura del tanque desgastada, inexactitud de los indicadores de nivel de producto, falta de señalética de seguridad, válvulas de control en malas condiciones de uso y vencimiento en la verificación de las válvulas de seguridad y reguladores de presión.

Además el cliente pidió la colocación de válvulas primas en el tanque criogénico.

Para el desarrollo de la planificación de mantenimiento se estableció la metodología del Mantenimiento Total Productivo: planificación, ejecución y control del mantenimiento.

El periodo de planificación se desarrolló en cinco etapas, las cuales son:

- 1 conocimiento del equipo
- 2 limpieza e inspección del equipo
- 3 análisis de averías
- 4 reparaciones del equipo y sus instrumentos
- 5 planificación del mantenimiento para el cliente

Además se elaboró un banco de datos con la información recopilada en el proceso de reparación del tanque criogénico. Complementariamente se tomaron fotos y se realizó un seguimiento detallado de cada uno de los ensayos realizados, reparaciones y modificaciones que se realizaron en el tanque. Finalmente se indicaron las conclusiones y recomendaciones obtenidas como planificación del mantenimiento para el cliente.

CAPITULO 1

1 GENERALIDADES

1.1 TECNOLOGIA CRIOGENICA

La criogenia es el estudio de los procesos que se producen a temperaturas extremadamente bajas. Se considera el campo de la criogenia a temperaturas inferiores de 123.15 K (-150 °C), la cual es una línea divisoria que se basa en las temperaturas de ebullición normales de los llamados gases permanentes, tales como: helio, hidrógeno, neón, nitrógeno, oxígeno y argón. La tecnología criogénica en la actualidad ha alcanzado diversas aplicaciones en las áreas científicas y tecnológicas. Las aplicaciones más comunes de la tecnología criogénica son: propulsores criogénicos, agujas de nitrógeno líquido para operaciones médicas, dispositivos súper-conductivos, motores súper-conductivos, preservación de sangre y tejidos, congelamiento rápido de alimentos, fabricación de acero, inertización con nitrógeno, almacenamiento de producto para hospitales con alta demanda, entre otras aplicaciones. La producción de gases criogénicos requiere de altos consumos de energía y altos costos; a pesar de ello las ventajas de la tecnología criogénica permiten la viabilidad en la producción de gases atmosféricos.

Los principales beneficios son los siguientes:

- Capacidad: Traslado, almacenamiento y suministro de grandes cantidades de producto gaseoso en estado líquido.
- Carga: El sistema de recarga del tanque criogénico reduce los trabajos de operación con tubos o cilindros de gas a presión.
- Pureza: Mayor pureza del producto gaseoso que en los tubos o cilindros.
- Retorno: No hay retorno de gas a la planta de llenado como sucede en los tubos o cilindros.
- Distribución: El tanque criogénico permite la instalación de una red centralizada de distribución de gases.
- Seguridad: Evita el traslado de tubos o cilindros dentro de las instalaciones, reduciendo los riesgos de trabajo de los operadores.

1.2 PRODUCCIÓN DE GASES ATMOSFÉRICOS

La producción de los gases atmosféricos (oxígeno, nitrógeno y argón) parte de la separación de los componentes del aire. Entre los procesos más comunes para la producción de gases atmosféricos se encuentran los siguientes: destilación criogénica, absorción por barrido y separación por membrana. La destilación criogénica permite la producción masiva de gases a comparación del resto de métodos de separación. La separación de gases por destilación criogénica aprovecha las temperaturas de ebullición de los gases en estado líquido.

La siguiente tabla indica la temperatura aproximada de ebullición de los gases más utilizados en la industria e ingeniería del país:

Gas	Temperatura ebullición en °k	Temperatura ebullición en °C
Dióxido de Carbono	216	-57
Oxígeno	90	-183
Argón	87	-186
Nitrógeno	78	-195
Hidrogeno	20	-253
Helio	4	-269

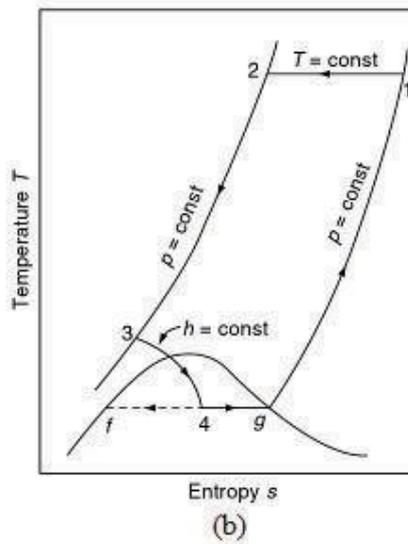
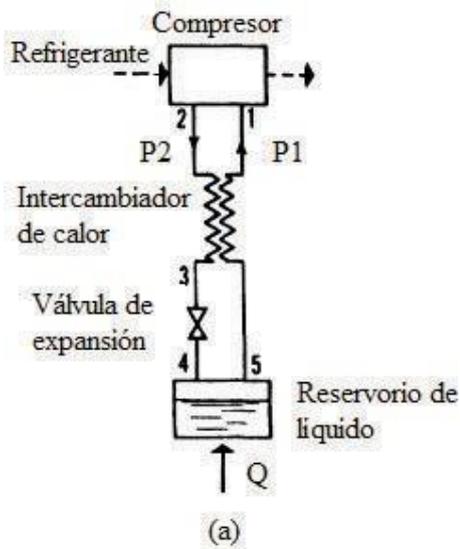
- Temperatura de ebullición: temperatura en la cual un elemento o sustancia pasa de estado líquido a gaseoso.
- Grados Kelvin a Celsius: $1^{\circ}\text{k} = -273^{\circ}\text{C}$

1.2.1 PROCESO DE DESTILACIÓN CRIOGÉNICA

El proceso de separación por destilación criogénica del aire se utiliza en gran medida para producir nitrógeno, oxígeno y argón a gran escala; en estado gaseoso y/o líquido. La complejidad del proceso de separación criogénica de aire se determina según: la cantidad de producto gaseoso y líquido, la pureza de los gases, la tasa de producción y la presión de entrega del producto. Generalmente la planta criogénica se diseña para la coproducción de oxígeno y nitrógeno, esto permite aumentar la eficiencia de las ganancias y reducir la energía requerida. La producción de argón requiere un proceso de purificación adicional que permite obtener argón de alta pureza.

El ciclo termodinámico esencial de la destilación criogénica fue desarrollado por el Dr. Carl Linde. El ciclo Linde de destilación criogénica incluye: un compresor con sistema refrigerante, una columna simple de destilación y una válvula de estrangulación. La principal desventaja del ciclo Linde se debe al bajo rendimiento debido al proceso de estrangulación, otra desventaja del ciclo Linde de columna simple es que no permite la producción simultánea de oxígeno y nitrógeno. En la figura siguiente se indica el ciclo termodinámico ideal desarrollado por el Dr. Carl Linde.

Diagrama T-S Ciclo Linde- Hampson



El proceso del ciclo Linde es el siguiente: En la primera etapa de 1-2 se comprime el aire atmosférico isotérmicamente, en la segunda etapa de 2-3 se enfría el aire a presión constante, en la tercera etapa de 3-4 se expande el aire comprimido mediante la válvula de estrangulación; la etapa de expansión permite alcanzar el estado licuado del aire, finalmente en el estado 4-1 del ciclo se obtiene una mezcla líquido- gas; para la obtención del producto criogénico se extrae la parte líquida de la mezcla.

$$y = \frac{h_1 - h_2}{h_2 - h_f}$$

Donde:

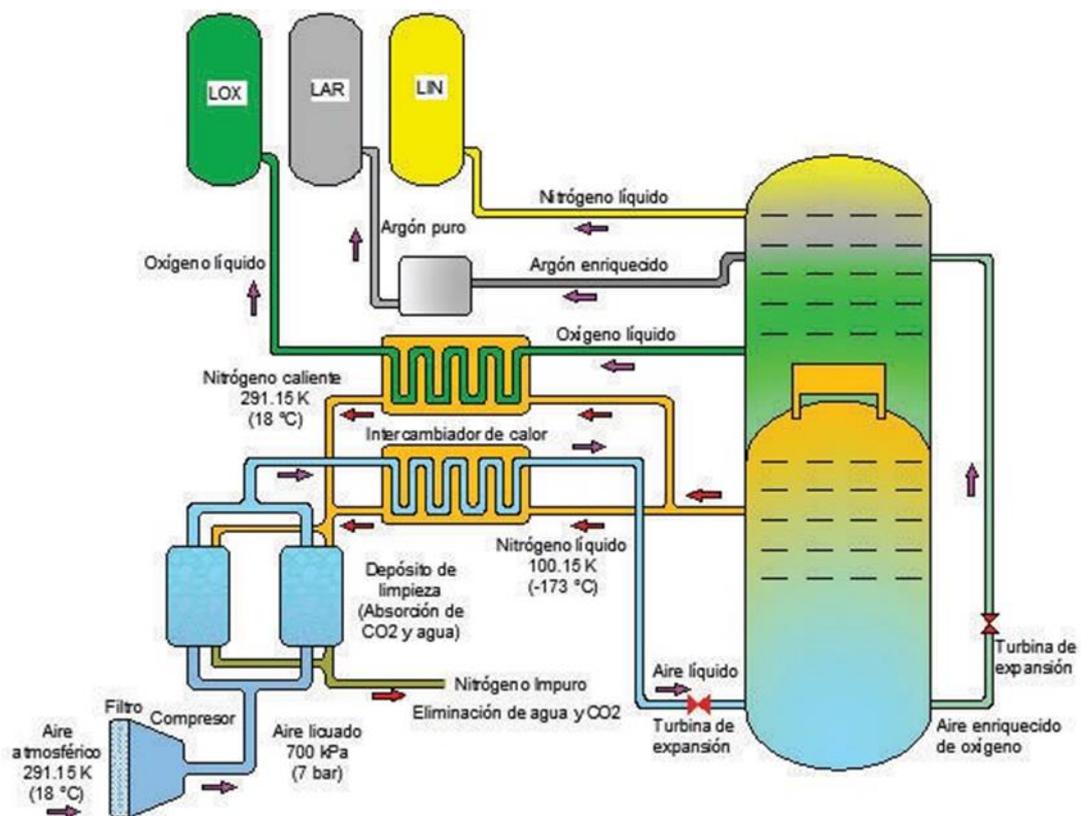
y: Calidad de la mezcla líquido-gas

h1: Entalpía específica del aire al ambiente

h2: Entalpía específica del aire comprimido

hf: Entalpía específica del líquido producido

Debido a la ineficiencia del ciclo de columna simple, el Dr. Carl Linde y el Dr. Hampson desarrollaron el ciclo Linde-Hampson de doble columna de destilación. El ciclo Linde-Hampson posee un mejor rendimiento y permite la producción simultánea de oxígeno y nitrógeno, con la posibilidad de producir argón. Las plantas criogénicas actualmente se diseñan bajo el ciclo Linde- Hampson. Las etapas de la planta criogénica de ciclo Linde-Hampson son: admisión, compresión, purificación, enfriamiento y destilación.



1.2.1.1 Admisión

La primera etapa de la planta criogénica permite la admisión de aire atmosférico al turbo compresor mediante ventiladores centrífugos. El aire que ingresa a la tobera de admisión es conducido hacia los filtros de partículas, los cuales retienen las partículas sólidas del aire como son: polvo, plumas, insectos y basuras. Generalmente el filtro de admisión se compone de una malla metálica de aluminio de 100 μ m, y una malla en fibra de vidrio cruzado para retención de partículas mayores a 3 μ m.

1.2.1.2 Compresión

Posteriormente se conduce el aire hacia la etapa de compresión. En la etapa de compresión se aumenta la presión del aire gaseoso mediante turbo compresores de varias etapas; los compresores poseen una alta relación de compresión de aproximadamente 1/7. Entre las etapas de compresión se dispone de refrigeradores intermedios para mejorar la eficiencia del trabajo de compresión del aire. La presión del aire comprimido al final del proceso es aproximadamente 700 kPa (7 Bar).

1.2.1.3 Purificación

El aire comprimido requiere un proceso de purificación, por tal razón se lo conduce hacia tamices moleculares. Los tamices moleculares son fabricados de silicato de aluminio, los cuales permiten eliminar el vapor de agua y el dióxido de carbono del aire comprimido. La planta generalmente dispone de dos depósitos de limpieza los cuales trabajan alternadamente. En la primera etapa el aire ingresa al depósito de purificación y los cristales de silicato de aluminio absorben las partículas de agua y dióxido de carbono presentes en el aire, luego se retira el aire del dispositivo y finalmente se ingresa nitrógeno licuado a una temperatura de $-173\text{ }^{\circ}\text{C}$ (100.15 K). El nitrógeno licuado se encarga de barrer el vapor de agua y el dióxido de carbono del dispositivo, lo cual lo realiza mediante el efecto de adhesión. El nitrógeno impuro se purga del dispositivo y se repite el proceso de purificación del aire nuevamente. Adicionalmente en esta etapa se enfría el aire hasta la temperatura aproximada de $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (278.15 K), lo cual se produce debido al intercambio de calor con el dispositivo de limpieza que se enfría por el nitrógeno licuado al momento de barrido. El proceso de tamizado molecular del aire requiere un tiempo aproximado de 6 a 7 horas.

1.2.1.4 Enfriamiento

El aire purificado se conduce hacia los intercambiadores de calor. El aire se enfría debido al intercambio de calor con el nitrógeno licuado, el cual se obtiene del proceso de rectificación en la torre de destilación. El aire alcanza la temperatura aproximada de $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ (123.15 K). Finalmente el aire frío se conduce a la turbina de expansión, lo que permite obtener aire en estado de licuefacción. El proceso de expansión permite que una parte de los gases alcancen el estado líquido a una temperatura aproximada de $-185\text{ }^{\circ}\text{C}$ (88.15 K).

1.2.1.5 Destilación

El aire licuado se dirige hacia la primera torre de destilación, también conocida como torre de rectificación. El nitrógeno debido a que posee una temperatura de ebullición inferior se mantiene en estado gaseoso y por tanto asciende al domo de la torre, quedando en el fondo de la torre aire enriquecido con oxígeno; aproximadamente la cantidad de oxígeno en la mezcla de aire enriquecido es del 40%. La primera etapa de destilación permite obtener nitrógeno gaseoso frío el cual se utiliza para el proceso de enfriamiento del aire comprimido de la etapa inicial del ciclo. Para cumplir con el proceso de destilación la mezcla de aire enriquecido se somete a un segundo proceso de expansión; lo cual permite alcanzar una temperatura aproximada de $-185\text{ }^{\circ}\text{C}$; lo cual permite obtener la condensación de la mezcla de aire. La mezcla de aire enriquecido se dirige a la segunda torre de destilación en donde es posible separar el oxígeno, argón y nitrógeno; lo cual se realiza mediante los platos internos de la torre. Los gases atmosféricos debido a las diferentes temperaturas de ebullición se distribuyen en diferentes niveles de la torre, es decir: el oxígeno por tener una temperatura de ebullición de $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ (90.15 K) se condensa y cae al fondo de la torre; el nitrógeno tiene una temperatura de ebullición de $-195\text{ }^{\circ}\text{C}$ (78.15 K), por tal razón se mantiene en estado gaseoso y asciende al domo de la torre, para conseguir el estado líquido del nitrógeno se eleva la presión del mismo; el argón posee una temperatura de ebullición de $-185\text{ }^{\circ}\text{C}$ (88.15 K), lo cual produce que el argón se encuentre en una fase intermedia; es decir en un continuo cambio de fase entre vaporización y condensación. Para la producción de argón puro se requiere procesar la mezcla de argón enriquecido a un proceso de purificación adicional.

1.2.1.6 Almacenamiento

La planta criogénica permite la extracción de los gases atmosféricos en estado de líquido criogénico mediante líneas aisladas térmicamente. Los gases criogénicos que se producen se encuentran aproximadamente a: 7 Bar (700 kPa) y -185 °C (78.15 K); tales gases se almacenan finalmente en tanques criogénicos. Los tanques criogénicos se encuentran diseñados con aislamientos especiales para permitir el almacenamiento de líquidos criogénicos y evitar su gasificación. La distribución de los líquidos criogénicos se lo realiza mediante tanques cisternas aisladas; los cuales permiten proveer el producto a los tanques criogénicos instalados en las diversas ubicaciones del cliente.

1.2.2 APLICACIONES DE LOS GASES ATMOSFERICOS

Los gases atmosféricos tienen un gran campo de aplicación en la industria y en la medicina. En la siguiente tabla se resumen las principales aplicaciones de los gases que se almacenan en los tanques criogénicos:

Gas	Aplicaciones
Argón	Procesos de soldadura MIG y TIG, corte por plasma, fabricación de lámparas incandescentes y fluorescentes, y producción de acero.
Nitrógeno	Inertizado de tanques y reactores, refrigerante, pulverización criogénica de plástico, congelación y conservación de alimentos.
Oxígeno	Fines médicos y terapéuticos, producción de acero, procesos de soldadura y corte, producción de combustibles y químicos.
Dióxido de carbono	Inertización de tanques y reactores, congelación de alimentos, soldadura por arco, fundición de metales, fabricación de plástico, extinción de fuego, y fabricación de bebidas carbonatadas.

1.3 TANQUES CRIOGÉNICOS

El tanque criogénico es un recipiente cilíndrico aislado térmicamente, destinado para almacenar uno o más fluidos criogénicos. El tanque criogénico se compone de: recipiente interno de acero inoxidable, tanque externo de acero al carbono, aislamiento de perlita o poliuretano, válvulas de seguridad, indicadores de nivel, indicadores de presión del tanque interno y líneas de tubería para la regulación de presión. Los gases que se almacenan en los tanques criogénicos son: nitrógeno, oxígeno, argón y dióxido de carbono. La capacidad de almacenamiento depende del diseño del tanque, se tiene disponible diseños desde 5 a 320 m³ de volumen de producto.

1.3.1 TIPOS DE TANQUES CRIOGÉNICOS

En forma general la clasificación de los tanques criogénicos depende del diseño y del campo de aplicación. La clasificación según el diseño son: tanques verticales y tanques horizontales. La clasificación de los tanques según el campo de aplicación son: tanques criogénicos estáticos, tanques cisterna y tanques móviles.

1.3.1.1 TANQUES CRIOGÉNICOS ESTÁTICOS

Los tanques criogénicos estáticos se instalan en posiciones fijas para la operación. Se clasifican según la capacidad, presión de trabajo, producto que contienen y diseño del tanque. Hay 2 tipos de tanques:

- Tanques criogénicos de diseño horizontal. Los tanques criogénicos horizontales se utilizan para almacenar grandes cantidades de producto, generalmente mayores a 30 toneladas de producto.



- Tanque criogénico con diseño vertical. Los tanques criogénicos verticales se utilizan en mayor cantidad para el almacenamiento de líquidos criogénicos; debido a que requieren un área menor para la central de instalación.



1.3.1.2 TANQUES CRIOGÉNICOS CISTERNA

Los tanques cisterna son tanques transportables, instalados sobre un chasis- bastidor con rodadura independiente. El diseño de bastidor permite la movilización del tanque por medio un vehículo independiente. El principio de operación y diseño del tanque cisterna es similar al de los tanques criogénicos estáticos, es decir poseen líneas de tuberías de seguridad, regulación de presión, aislamiento e instrumentación. En el tanque cisterna se dispone adicionalmente un sistema de bomba centrífuga criogénica con válvulas de seguridad, y mangueras criogénicas de transvase; el cual permite el transvase de producto a los tanques criogénicos estáticos. El abastecimiento de los tanques cisternas se lo realiza en las plantas de producción de gases atmosféricos.



1.3.1.3 TANQUES CRIOGÉNICOS MÓVILES

Los tanques móviles poseen una estructura que permiten su izamiento y transporte. El diseño del tanque móvil permite el abastecimiento de gases para ciertas operaciones temporales. Los tanques móviles se construyen con medidas normalizadas por tal razón se los conoce como Iso-tanques. La operación de los iso-tanques es similar al de los tanques criogénicos estáticos. En la siguiente figura se muestra un tanque criogénico móvil.

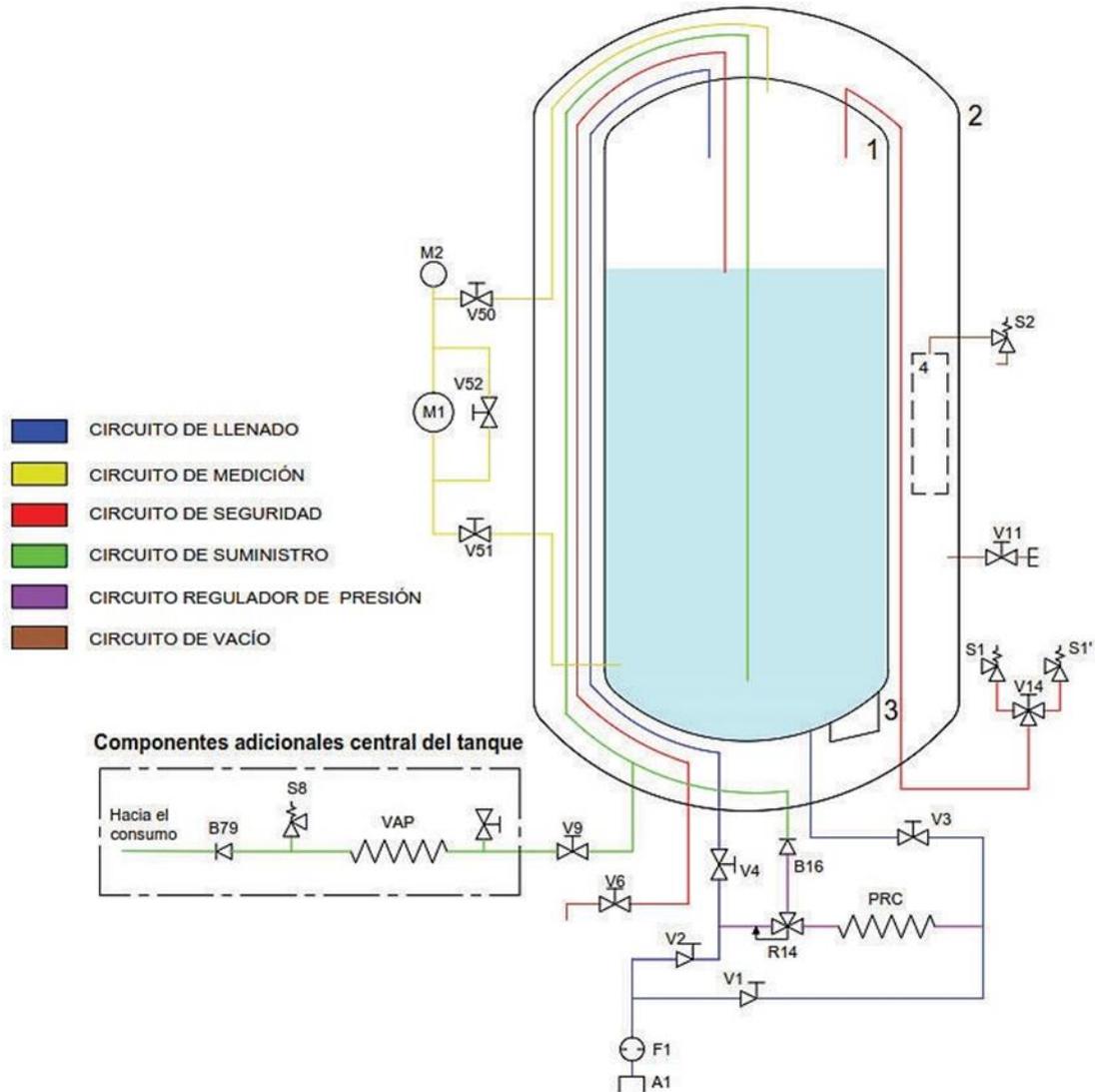


1.3.2 DESCRIPCIÓN DEL TANQUE CRIOGÉNICO

La distribución operacional de los componentes en los tanques criogénicos estáticos varía según el gas que almacenan; por tal razón existen tres tipos generales de tanques: tanques criogénicos para gases atmosféricos (oxígeno, nitrógeno y argón), tanques criogénicos para dióxido de carbono y tanques de poliuretano para dióxido de carbono.

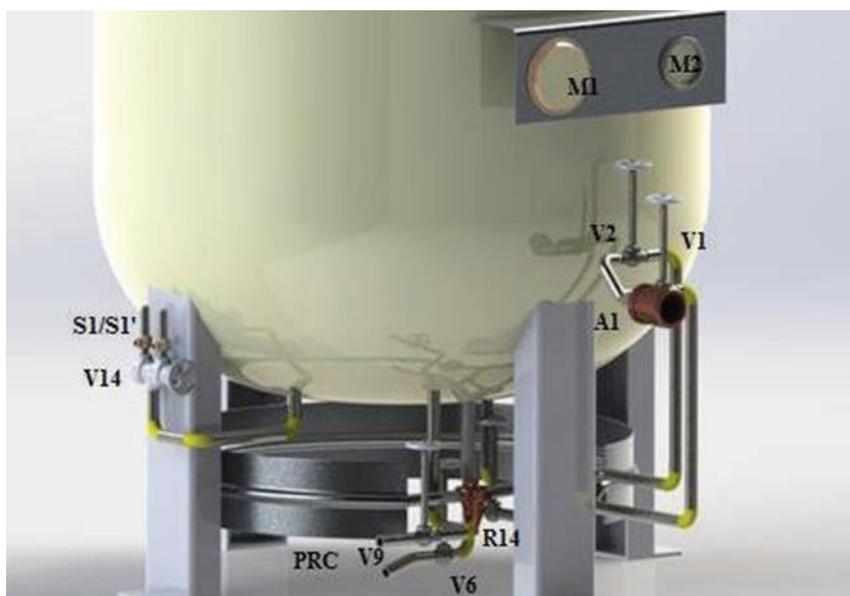
1.3.2.1 TANQUE CRIOGÉNICO PARA GASES ATMOSFÉRICOS

El tanque criogénico para gases atmosféricos posee un diseño de tanque vertical. En la figura se muestra el diseño general con los respectivos sistemas. En la tabla se enlista los componentes codificados del tanque. La codificación de los componentes facilita la operación y mantenimiento de los tanques.



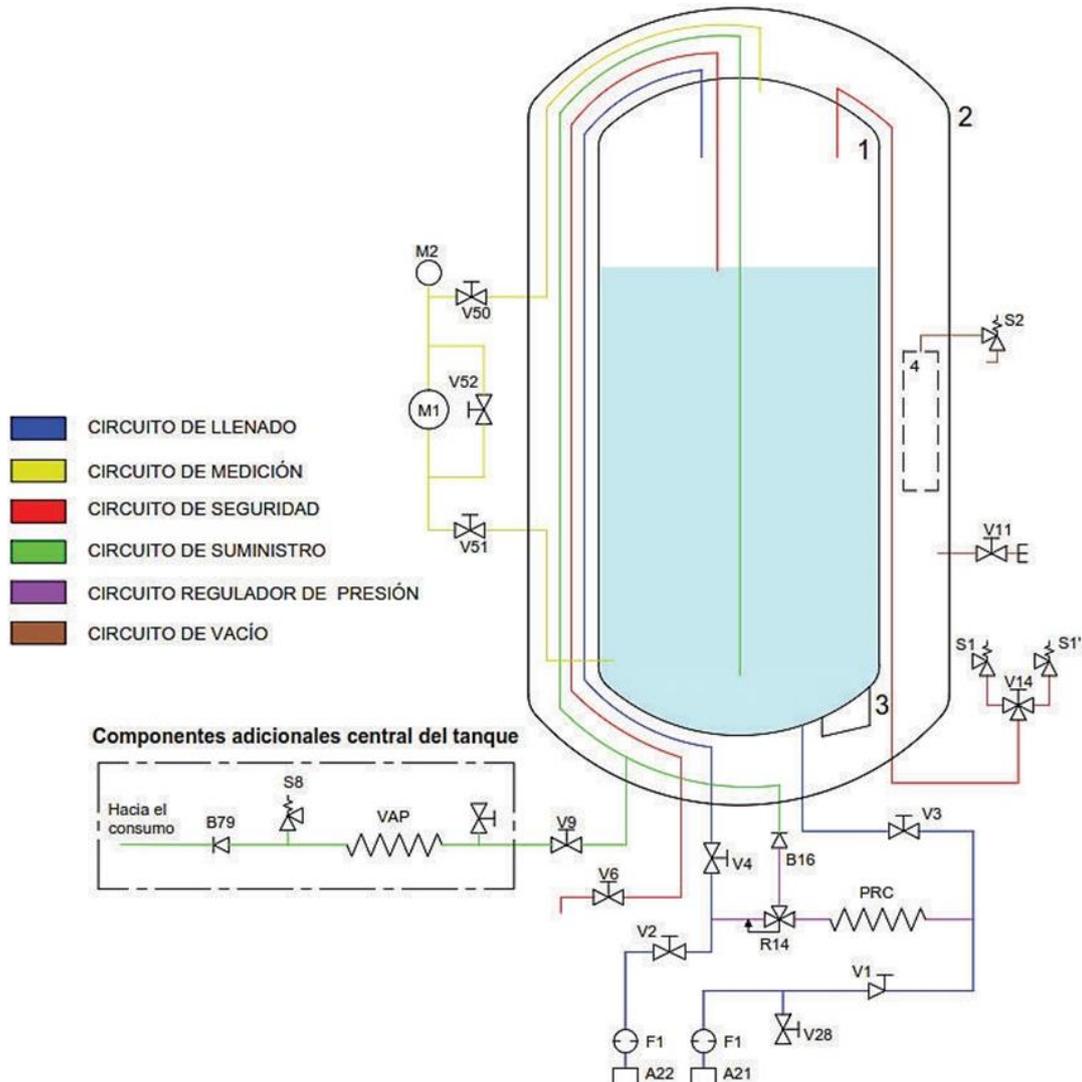
Código	Componente	Código	Componente
1	Tanque interno	V14	Válvula de tres vías
2	Tanque externo	V50	Válvula instrumental
3	Absorbente de humedad	V51	Válvula instrumental
4	Filtro de retención de perlita	V52	Válvula instrumental
A1	Toma de llenado	R14	Regulador PER
F1	Filtro	PRC	Vaporizador
V1	Válvula de llenado inferior	S1, S1'	Válvula de seguridad
V2	Válvula para llenado superior	B16	Válvula de retención
V3	Válvula fase líquida	V11	Válvula de medición de vacío
V4	Válvula fase gaseosa	S2	Válvula de seguridad vacío
V6	Válvula de nivel máximo	M1/LI	Indicador de nivel de líquido
V9	Válvula para suministro	M2/PI	Manómetro de presión

En la siguiente figura se observa la ubicación de los componentes en el tanque criogénico



1.3.2.2 TANQUE CRIOGÉNICO PARA DIÓXIDO DE CARBONO

El tanque criogénico destinado para almacenar dióxido de carbono posee un diseño de tanque vertical de similares características al tanque para gases atmosféricos. En la siguiente figura se muestra el diseño del tanque con la distribución de los componentes y de las líneas de tubería.



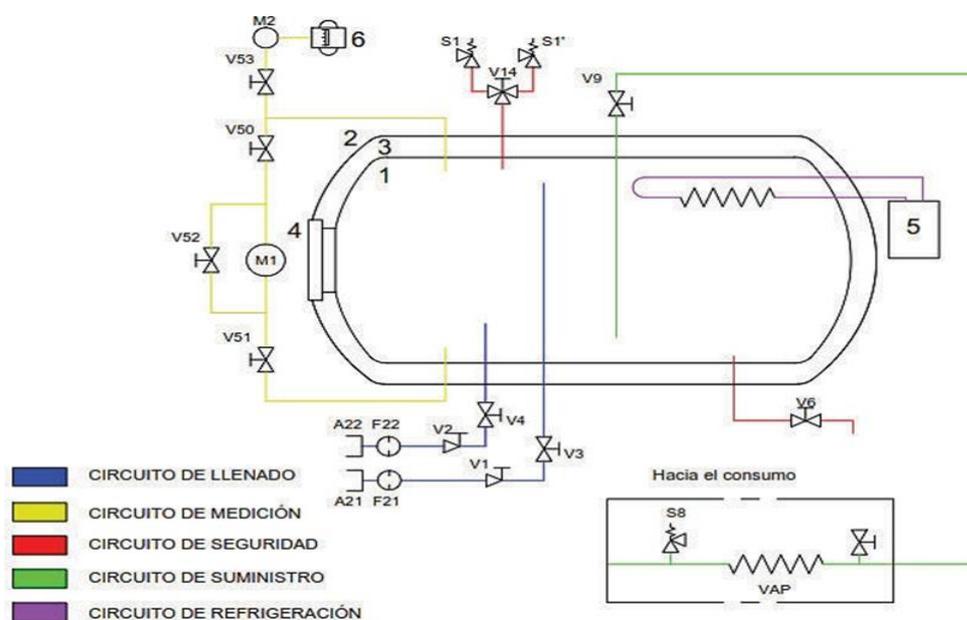
Es importante notar la diferencia en las líneas del sistema de llenado; para el caso de los tanques criogénicos para gases atmosféricos solamente se dispone de una toma de llenado, mientras que para los tanques criogénicos de dióxido de carbono se dispone de dos tomas de llenado. La toma de llenado A22 permite la eculización de presión durante la operación de llenado por las dos fases del tanque, también es posible el llenado utilizando solamente la toma A22 de fase gaseosa. El sistema de doble toma permite tener un mejor control de la presión y por tanto se evita la formación de hielo seco en las líneas de tubería.

En la Tabla se detalla los componentes codificados del tanque criogénico de dióxido de carbono.

Código	Componente	Código	Componente
1	Tanque interno	V14	Válvula de tres vías
2	Tanque externo	V50	Válvula instrumental
3	Absorbente de humedad	V51	Válvula instrumental
4	Filtro de retención de perlita	V52	Válvula instrumental
A21	Toma de llenado fase líquido	R14	Regulador PER
A22	Toma de llenado fase gas	PRC	Vaporizador
F1	Filtro	S1, S1'	Válvula de seguridad
V1	Válvula de llenado inferior	B16	Válvula de retención
V2	Válvula para llenado superior	V11	Válvula de medición de vacío
V3	Válvula fase líquida	S2	Válvula de seguridad vacío
V4	Válvula fase gaseosa	M1/LI	Indicador de nivel de líquido
V6	Válvula de nivel máximo	M2/PI	Manómetro de presión
V9	Válvula para suministro		

1.3.2.3 TANQUE CON AISLAMIENTO DE POLIURETANO PARA DIÓXIDO DE CARBONO

Los tanques con aislamiento de poliuretano son otra alternativa para el almacenamiento de dióxido de carbono. Los tanques de poliuretano poseen un diseño de tanque horizontal. El control de la presión interna del tanque se lo realiza mediante el sistema de refrigeración. En la siguiente figura se indica el diseño de un tanque con aislamiento de poliuretano y sus respectivas líneas de tubería. Luego en la tabla se enlistan los componentes del tanque.



Código	Componente	Código	Componente
1	Tanque interno	V4	Válvula fase gaseosa
2	Tanque externo	V6	Válvula de nivel máximo
3	Absorbente de humedad	V9	Válvula para suministro
4	Filtro de retención de perlita	V14	Válvula de tres vías
5	Sistema de refrigeración	V50	Válvula instrumental
6	Sensor de presión	V51	Válvula instrumental
A21	Toma de llenado fase líquido	V52	Válvula instrumental
A22	Toma de llenado fase gas	V53	Válvula instrumental
V1	Válvula de llenado inferior	S1, S1'	Válvula de seguridad
V2	Válvula para llenado superior	M1/LI	Indicador de nivel
V3	Válvula fase líquida	M2/PI	Manómetro de presión

El sistema de refrigeración posee un serpentín de intercambio de calor dentro del tanque; el cual permite enfriar el gas contenido en el tanque y consecuentemente la condensación del dióxido de carbono, teniendo como resultado la disminución de la presión. El sistema de refrigeración es controlado por medio de un sensor de presión, el cual se encuentra calibrado para mantener la presión interna a 20 Bar.

1.3.3 COMPONENTES DEL TANQUE CRIOGÉNICO

En términos generales los componentes de los tanques criogénicos tienen similares características independientemente del producto que contengan, diseño del tanque y la capacidad de almacenamiento. La descripción de los componentes se realiza en forma general explicando los parámetros fundamentales de operación y las características de diseño que deben cumplir.

1.3.3.1 TANQUE DE ALMACENAMIENTO

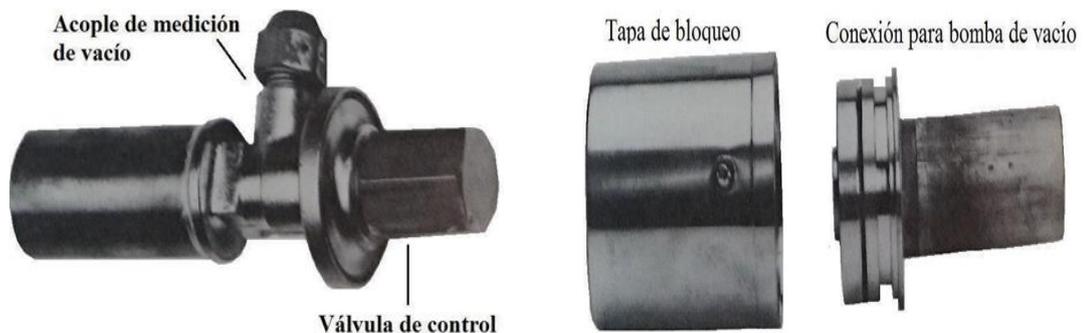
El tanque de almacenamiento es una estructura cilíndrica aislada, diseñado para contener líquido criogénico. Las partes del tanque de almacenamiento son: tanque interno, tanque externo y aislamiento de perlita. En la siguiente figura se muestra un corte transversal de la estructura del tanque de almacenamiento. En el diseño del tanque interno se consideran los siguientes factores: presión interna, peso del fluido y esfuerzos de flexión. El tanque interno para el almacenamiento de gases atmosféricos se construye en acero inoxidable, mientras que el tanque para almacenar dióxido de carbono se construye en acero al carbono.



Las protecciones del tanque interno son: dos válvulas de seguridad (S1, S1'), dos discos de ruptura inversa y una línea de purga de gas (V6). El tanque externo se construye en acero al carbono y se encarga de soportar y proteger al tanque interno. Entre la cavidad del tanque interno y externo se encuentra el aislamiento térmico de perlita compacta, la cual reduce la transferencia de calor por conducción.

1.3.3.2 SISTEMA DE VACÍO

En el aislamiento de perlita se genera vacío con el fin de reducir la transferencia de calor por convección. La regulación y medición del vacío se realiza mediante la válvula (V14). En la siguiente figura de la izquierda se indica la válvula para la medición de vacío. Adicionalmente se dispone de una válvula de seguridad (S2), la cual posee dos funcionalidades: válvula de seguridad del vacío y conexión para el bombeo de vacío. En la figura de la derecha se indica los dos componentes de la válvula de seguridad de la sección de vacío.



1.3.3.3 LÍNEA DE LLENADO DE PRODUCTO

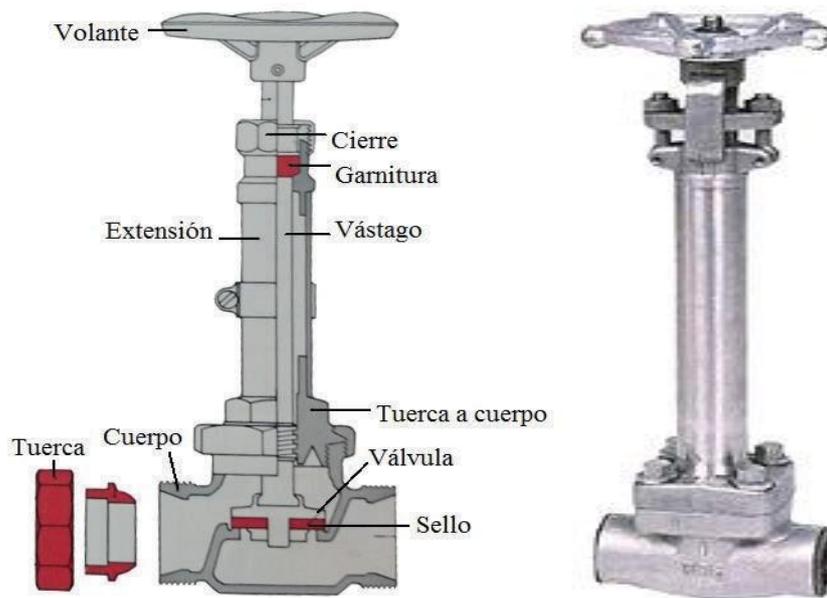
El tanque criogénico dispone de una línea de llenado en estado líquido y una línea de llenado estado gaseoso. Las líneas de llenado independientes permiten suministrar producto al tanque sin que se generen elevaciones de presión que sobrepasen los 10 Bar (100 kPa). Los componentes de la línea de llenado son: toma de llenado y válvulas criogénicas. El diseño de la toma de llenado depende del tipo de gas almacenado en el tanque criogénico, en la siguiente tabla se especifica el tipo de toma de llenado para cada gas. La toma de llenado se fabrica en inoxidable y en latón, el cual resiste altas presiones y baja temperaturas.

Producto	Diámetro	Codificación P&ID	Sentido de la rosca
Oxígeno	DN40	A1	Derecha
Nitrógeno	DN40	A1	Izquierda
Argón	DN40	A1	Izquierda
Dióxido de carbono	DN30	A21, A22	Derecha

En la figura se muestra uno de los modelos más utilizados en Argentina:



Las válvulas criogénicas V1 y V2 permiten controlar el ingreso de producto al tanque. El diseño de las válvulas criogénicas es de vástago extendido con el fin de reducir la transferencia de calor. La mayoría de componentes de la válvula criogénica se construyen en acero inoxidable, en las siguientes figuras se indican los componentes de la válvula criogénica.



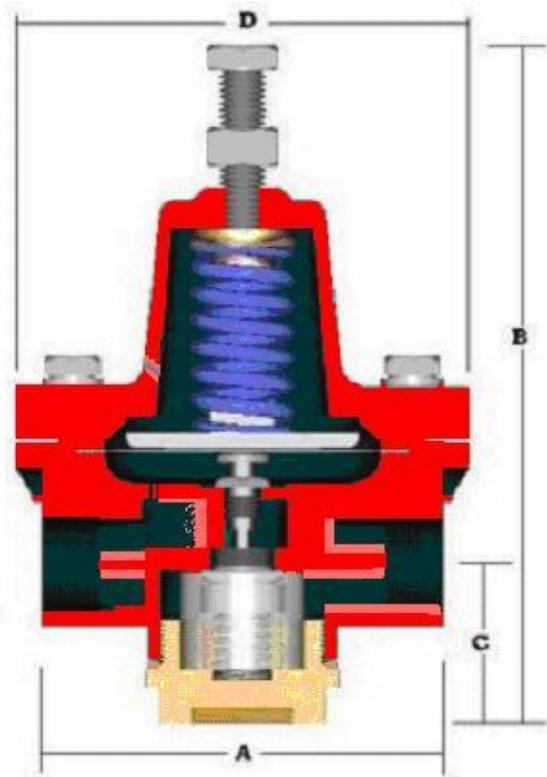
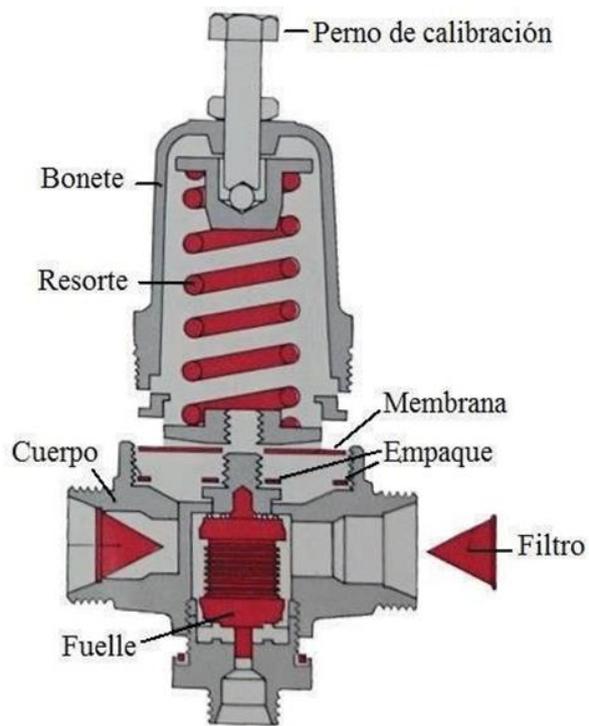
La clasificación de las válvulas criogénicas es en base a las siguientes características: dimensión de las conexiones universales, presión nominal de trabajo, relación de conexión con el tanque y dirección del flujo en válvula.

1.3.3.4 LÍNEA DE REGULACIÓN DE PRESIÓN

La línea de regulación de presión es gobernada por un regulador de presión PER (R14). El regulador tiene por objetivo mantener la presión del tanque a un valor determinado, los rangos de trabajo para los reguladores PER (R14) se especifican en la siguiente tabla.

Rango de operación	Material	Gas
2- 6 bar	Latón	LOX, LIN, LAR
5- 13 bar	Latón	LOX, LIN, LAR
10- 20 bar	Latón	CO2
15- 30 bar	Latón	LOX, LIN, LAR
5- 13 bar	Acero inoxidable	LOX, LAR

Las funciones que cumple el regulador PER (R14) son: construcción de presión, economizador y liberación de presión. En las siguientes figuras se indica la construcción interna del regulador PER (R14).

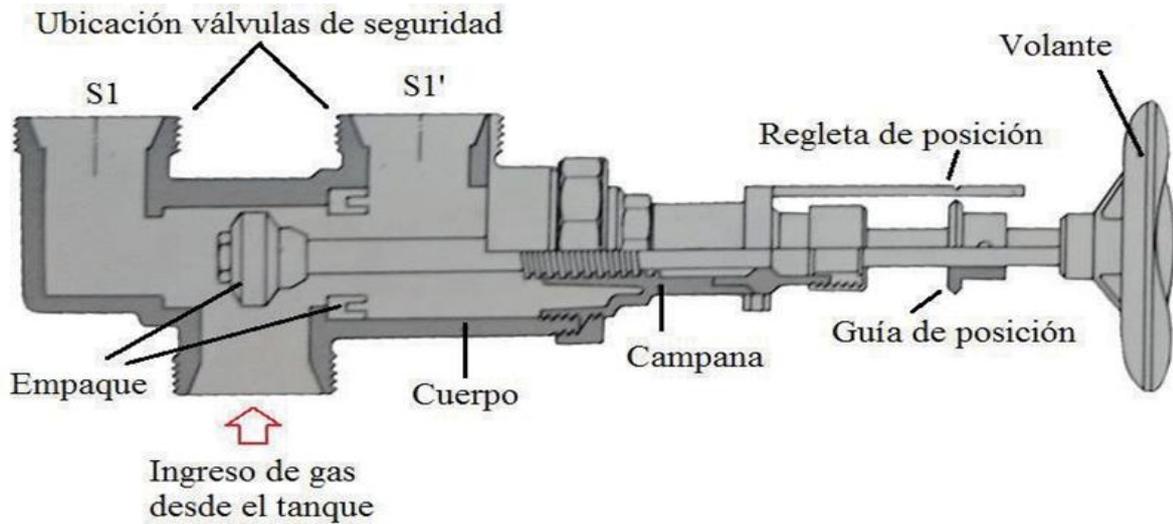


Para la construcción de presión el sistema de regulación dispone de un vaporizador (PRC), el cual es un intercambiador de calor por convección natural. El vaporizador convierte el líquido criogénico en gas. La construcción del vaporizador es en aluminio y posee aletas las cuales pueden ser longitudinales o anulares. En las siguientes figuras se observa su diseño.

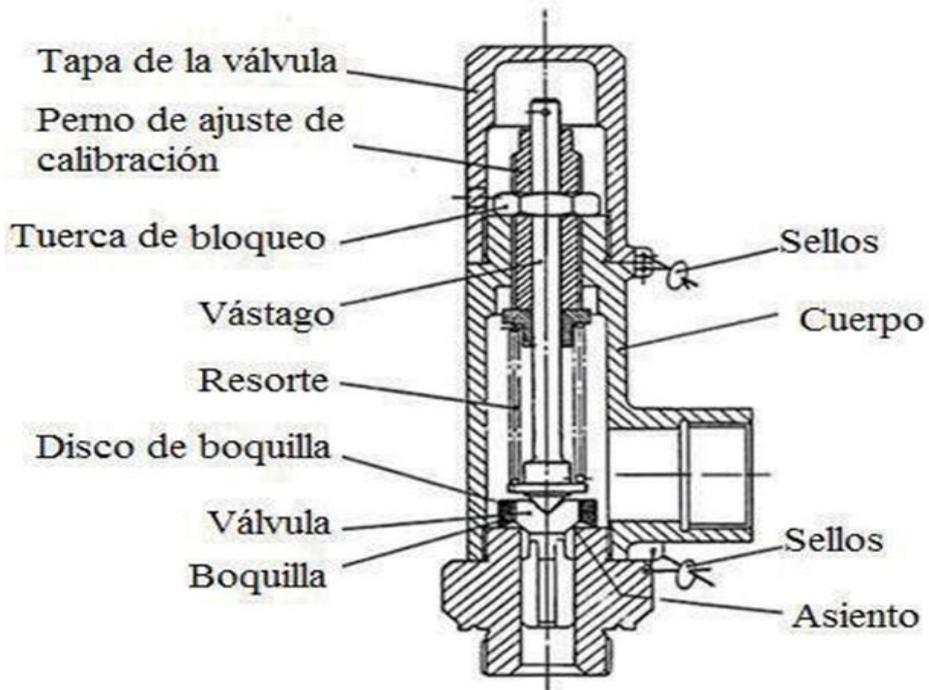


1.3.3.5 LÍNEA DE SEGURIDAD DE SOBREPRESIÓN

La línea de seguridad tiene la finalidad de proteger el recipiente interno de presiones elevadas. Generalmente se dispone de dos válvulas de seguridad (S1, S1'), las cuales se encuentran conectadas en paralelo mediante una válvula de tres vías (V14). La válvula de tres vías (V14) posee tres posiciones de operación las cuales permiten: poner en servicio simultáneo de las dos válvulas de seguridad S1 y S1', cierre de la válvula S1 y cierre de la válvula S1'. La des-habilitación de las válvulas de seguridad permite el mantenimiento y cambio de las válvulas sin afectar la operación del tanque. En la siguiente figura se observa la válvula de tres vías y sus principales componentes.



Las válvulas de seguridad (S1 y S1') permiten el alivio de presión del tanque, una vez liberada la presión excedente hasta la presión normal de trabajo se cierran automáticamente para detener la descarga de producto. Las válvulas de seguridad instaladas en el tanque son de acción directa y con flujo de descarga a 90°. En la siguiente figura se indican los componentes generales de la válvula de seguridad



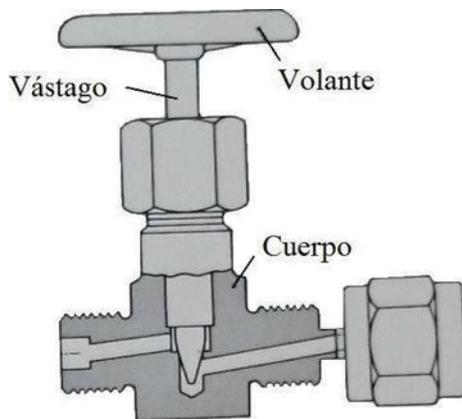


Para la selección de las válvulas de seguridad se deben considerar las características técnicas indicadas en la siguiente tabla.

Característica	Opciones	Selección
Presión de tarado	15, 17, 23 bar	Según la presión de trabajo máxima admisible (MAWP)
Flujo de descarga	450, 550, 600, 900 Nm ³ /h	Según el tipo de gas almacenado en el tanque
Conexión de entrada	1/2", 3/4"	Según conexiones de la válvula de tres vías
Conexión de descarga	1"	Según bastón de descarga

1.3.3.6 LÍNEA DE MEDICIÓN

El fluido contenido en el interior del tanque es monitoreado mediante dos instrumentos de medición los cuales son: medidor de presión y un indicador de nivel. El control y mantenimiento de los medidores se lo realiza mediante las válvulas instrumentales; las cuales permiten el paso de fluido desde el tanque hasta el medidor de presión y el indicador de nivel. Las válvulas instrumentales V50 y V51 son válvulas directas al tanque, y la válvula V52 permite la equalización de la presión para la verificación de la calibración del indicador de nivel. Los componentes principales de la válvula instrumental se indican en la siguiente figura.

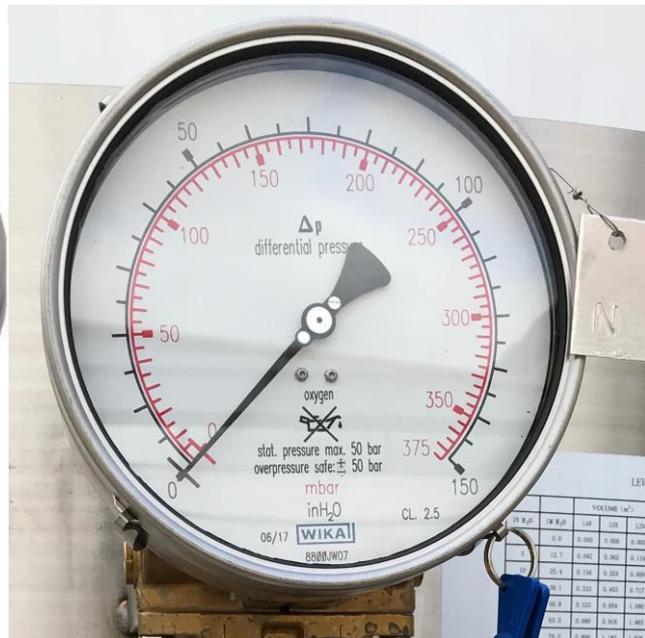
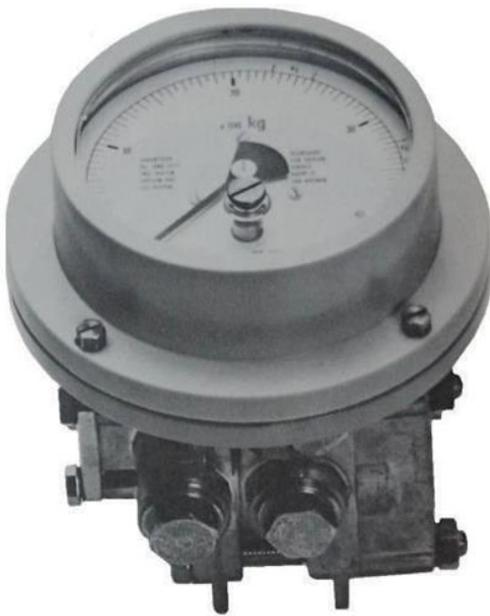


Los medidores de presión son tipo tubo de Bourdon y poseen una protección de carátula fabricada en cristal. Comúnmente se utilizan manómetros con precisión de $\pm 1\%$. En la figura a continuación se muestra el manómetro de presión comúnmente utilizado en los tanques criogénicos.

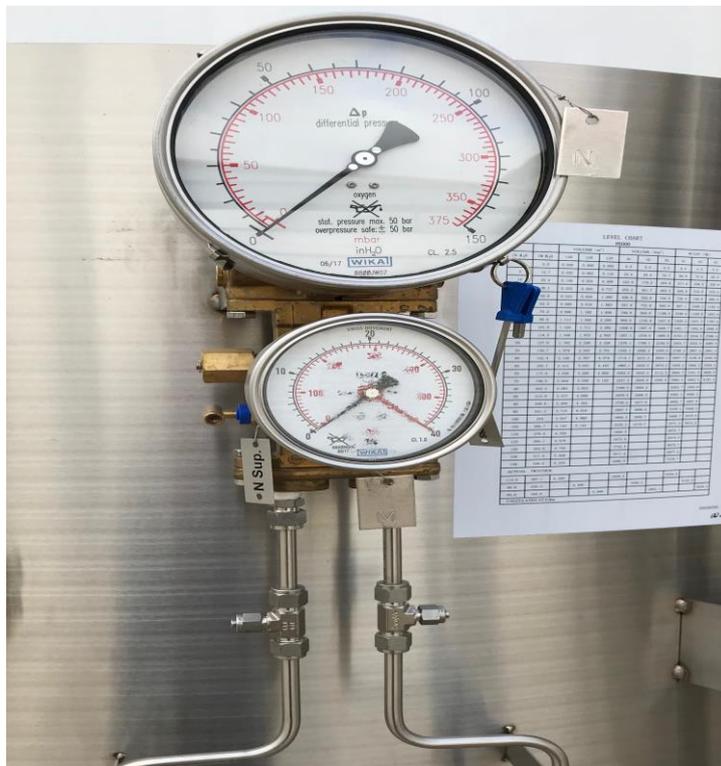


El manómetro puede ser de 0 a 25 o 40 bar, las roscas comúnmente utilizadas son de $\frac{1}{4}$ o $\frac{1}{2}$ BSP y el tamaño puede ser de 4 o 5 pulgadas.

El indicador de nivel de producto funciona bajo el principio de diferencia de presión entre la fase líquida y la fase gaseosa. Cada indicador de nivel se fabrica y calibra para un gas determinado. Los indicadores de nivel utilizados en los tanques poseen un error de medición menor al $\pm 2.5\%$ y la escala de la carátula se encuentra calibrada en kilogramos. En las siguientes figuras se indican medidores de nivel, los cuales se instalan generalmente en los tanques criogénicos.

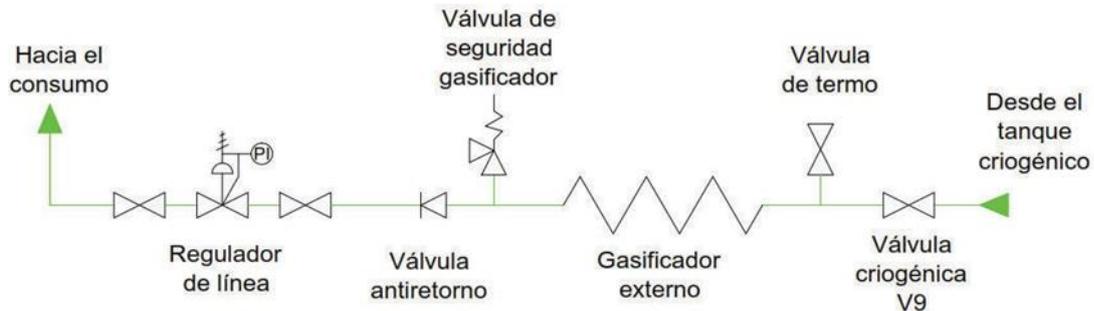


Medidor de nivel y medidor de presión en tanque criogénico en la empresa Inoxpla:



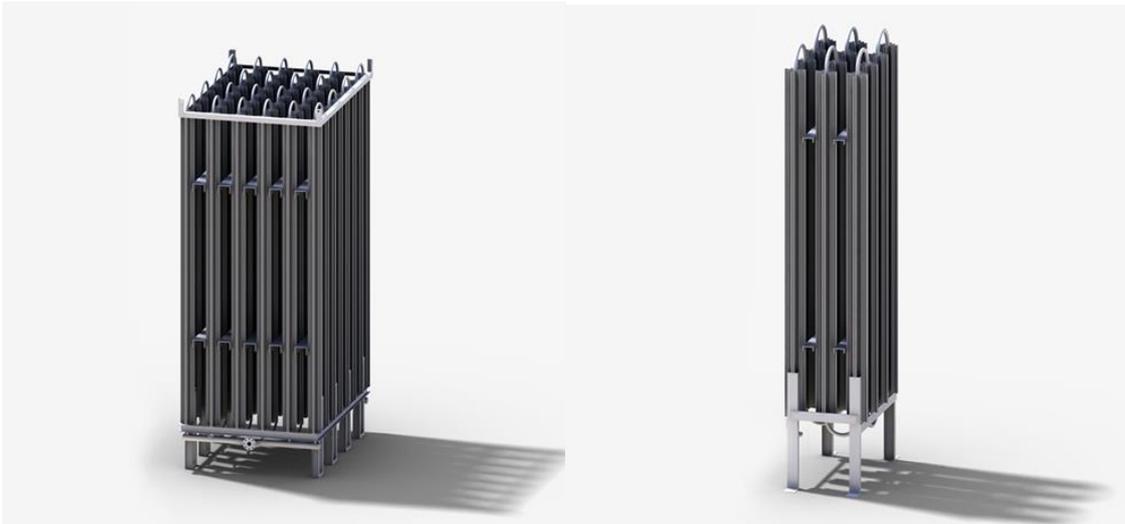
1.3.3.7 LÍNEA DE SUMINISTRO

La línea de suministro de producto permite distribuir el gas requerido en las instalaciones del hospital o fábrica. La línea se encuentra gobernada por la válvula criogénica de suministro (V9), una vez que el líquido criogénico ha salido del tanque es gasificado y se regula la presión para pasar a la línea de distribución del cliente. En la siguiente figura se indica la instalación general de los componentes adicionales de la central del tanque criogénico.



La línea de suministro dispone de un gasificador externo el cual permite convertir el líquido criogénico en gas. Los gasificadores poseen varias etapas dependiendo del volumen de gasificación para el cual es diseñado. En la siguiente figura se muestran los diferentes modelos de gasificadores ofertados por la empresa Inoxpla.





También vienen adosados a menor escala al tanque criogénico:



Los métodos de seguridad adicionales que posee la línea de suministro son: válvula de seguridad de línea y una válvula anti-retorno. El regulador de línea es de tipo diafragma y permite regular la presión según los requerimientos del cliente, generalmente se regulan entre 55 a 60 psi (3.7 a 4 Bar).

1.3.4 OPERACIÓN DEL TANQUE CRIOGÉNICO

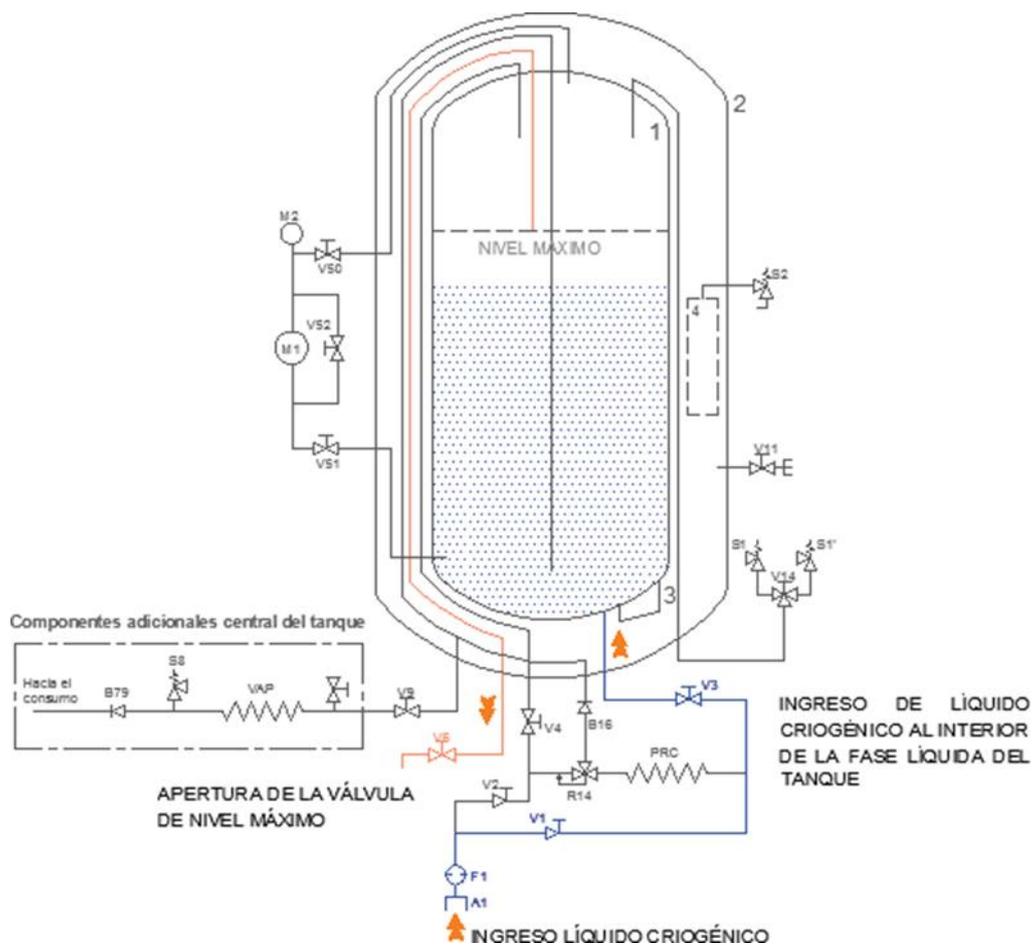
Los tanques criogénicos para gases atmosféricos, tanques criogénicos para dióxido de carbono y tanques con aislamiento de poliuretano poseen sistemas operativos de similares características; por tal razón la descripción de las operaciones del tanque se explica a manera general. Las operaciones presentes en el tanque son: llenado del tanque, suministro de producto, regulación de presión, liberación de sobrepresión y medición de nivel.

1.3.4.1 LLENADO DE PRODUCTO EN EL TANQUE

La operación de llenado del tanque criogénico estático se realiza en forma alternada entre dos etapas: llenado por la fase líquida y llenado por la fase gaseosa. Las dos etapas de llenado permiten mantener las condiciones de operación dentro de los rangos permitidos por el fabricante del tanque, es decir no se debe superar la capacidad nominal del tanque ni la presión de operación de 8 a 10 Bar. En el caso de no alternar correctamente el llenado entre las fases se provocan incrementos de presión repentinos, lo cual ocasiona la apertura de las válvulas de seguridad. En los tanques para dióxido de carbono la operación de llenado se realiza mediante las dos líneas independientes de llenado, lo cual permite se cumplan las dos etapas generales de llenado. El personal encargado de efectuar la operación llenado del tanque debe ser debidamente capacitado para la operación correcta del sistema de válvulas de los tanques criogénicos.

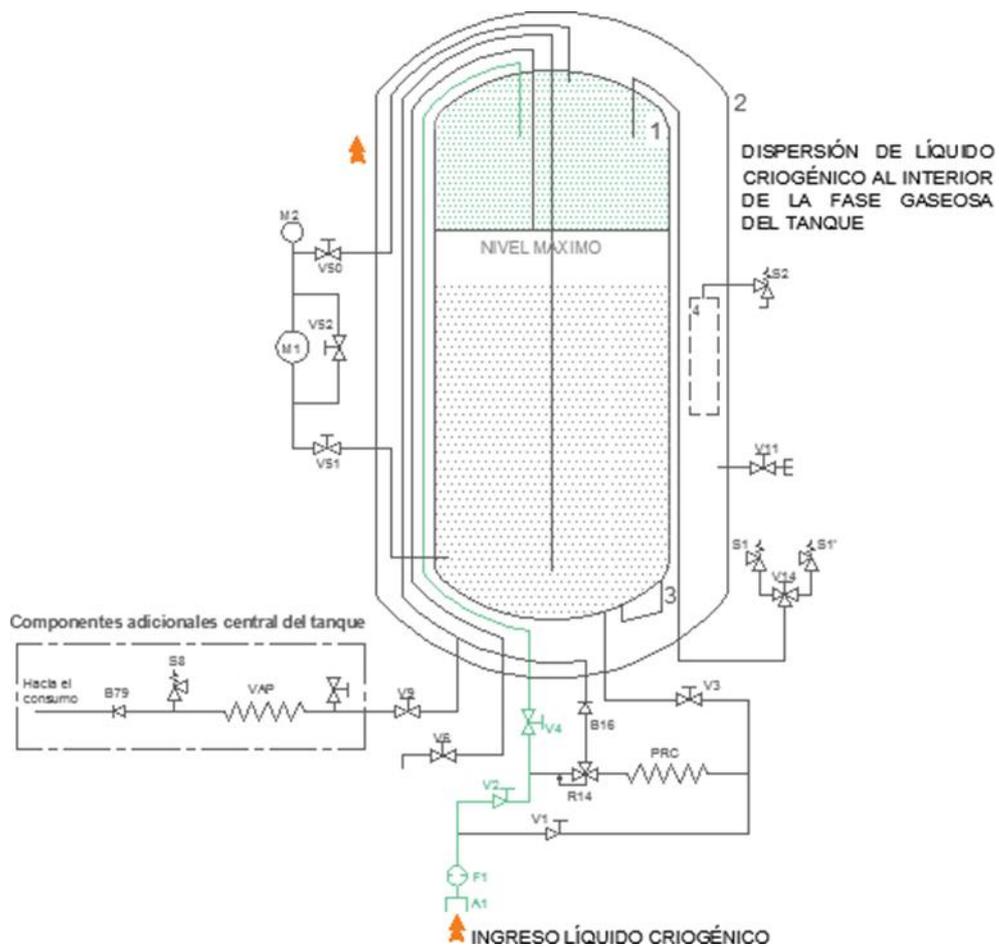
1.3.4.1.1 Llenado por fase líquida

La etapa de llenado por la fase líquida o llenado por el fondo permite el ingreso de producto por la parte inferior del tanque. En la siguiente figura se indica las direcciones de flujo para la operación de llenado. El ingreso de líquido criogénico al tanque produce un incremento en el nivel de producto y en la presión. Para liberar la presión generada por la evaporación del líquido criogénico es necesario tener abierta la válvula de nivel máximo (V6).



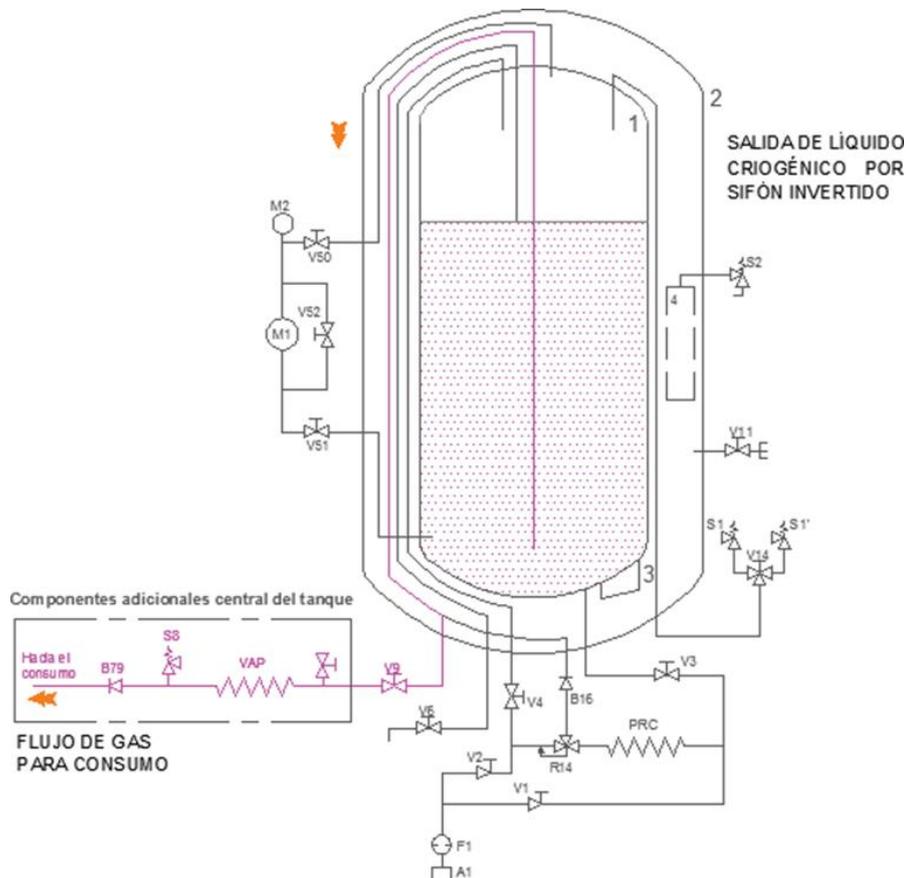
1.3.4.1.2 Llenado por fase gaseosa

El llenado por fase gaseosa o llenado por arriba permite reducir la presión interna del tanque criogénico. El ingreso de líquido por la fase gaseosa provoca el enfriamiento del vapor criogénico en el interior del tanque, debido al enfriamiento del vapor se produce la condensación y por tanto la reducción de presión. La operación de llenado por la fase gaseosa se indica en la siguiente figura. Durante la operación del llenado por la fase gaseosa se cierra la válvula de nivel máximo (V6). La desventaja del llenado por la fase gaseosa se debe a que demora significativamente el tiempo de llenado del tanque, en cambio el llenado por la fase líquida permite mayor ingreso de producto y se reduce el tiempo de la operación.



1.3.4.2 SUMINISTRO DE PRODUCTO

El suministro de producto permite proveer al cliente el gas o líquido requerido. En la siguiente figura se indica la línea de tubería que se encarga del suministro de producto, es importante observar el sistema de sifón invertido; el cual permite extraer producto de la fase líquida del tanque. El suministro de producto es la operación principal que realiza el tanque; por tal razón existe la estandarización de la posición de operación de las válvulas del tanque criogénico.



En la tabla a continuación se enlista las posiciones de operación normal para las válvulas del tanque criogénico.

Componente	Código	Posición de operación
Válvula de llenado	V1, V2	Cerrada
Válvula fase líquida	V3	Abierta
Válvula fase gaseosa	V4	Abierta
Válvula de nivel máximo	V6	Cerrada
Válvula para suministro	V9	Abierta
Válvula de tres vías	V14	Posición media
Válvula instrumental	V50, V51	Abierta
Válvula instrumental	V52	Cerrada

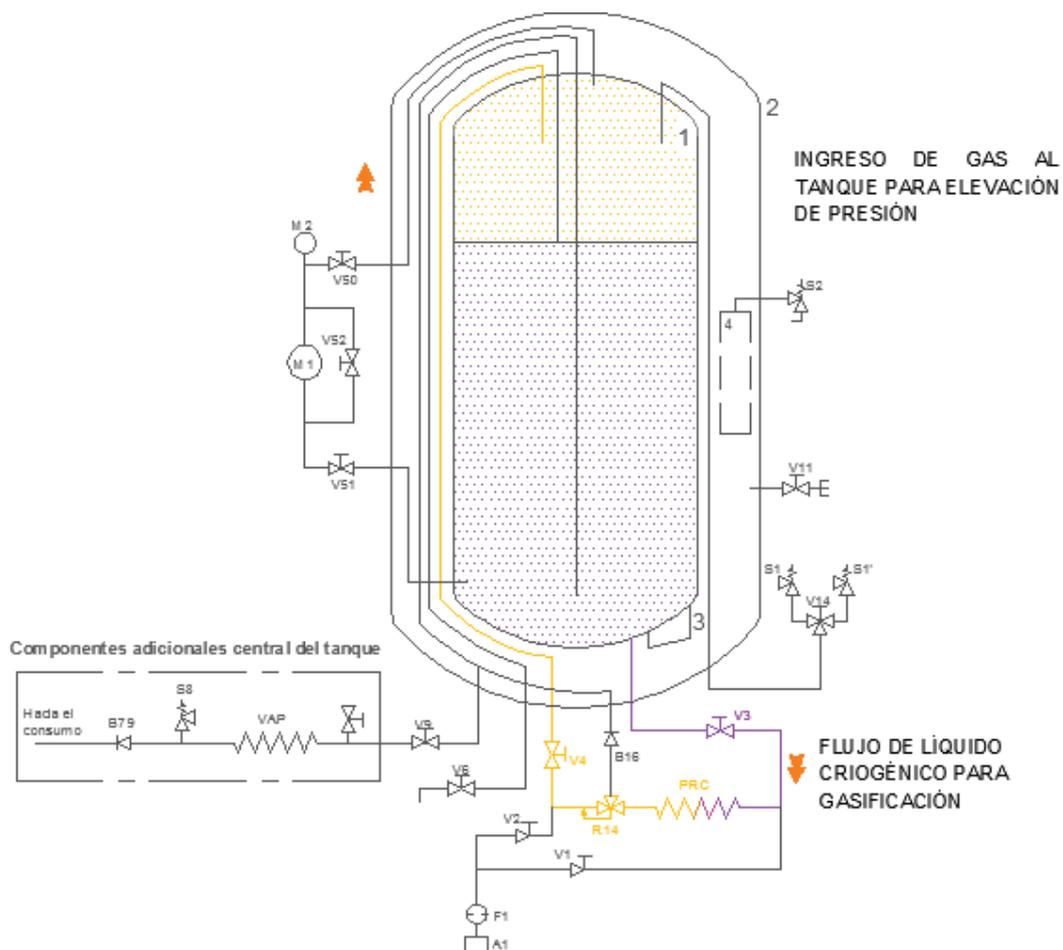
1.3.4.3 REGULACIÓN DE PRESIÓN

Para el control de la presión del tanque criogénico se utiliza un sistema de regulación de presión. El sistema de regulación se ubica en la parte inferior del tanque y se compone de los siguientes accesorios: regulador PER, válvula anti- retorno y un vaporizador constructor de presión. El control del sistema de regulación lo realiza el regulador PER (R14), el cual es un dispositivo de acción mecánica. La calibración del regulador PER (R14) se determina según las características del tanque y del proceso del cliente. El regulador PER posee tres modos de operación los cuales son: constructor de presión, economizador y liberador de presión retenida; según los parámetros de funcionamiento del tanque el regulador PER selecciona automáticamente el modo de operación para la regulación presión del sistema.



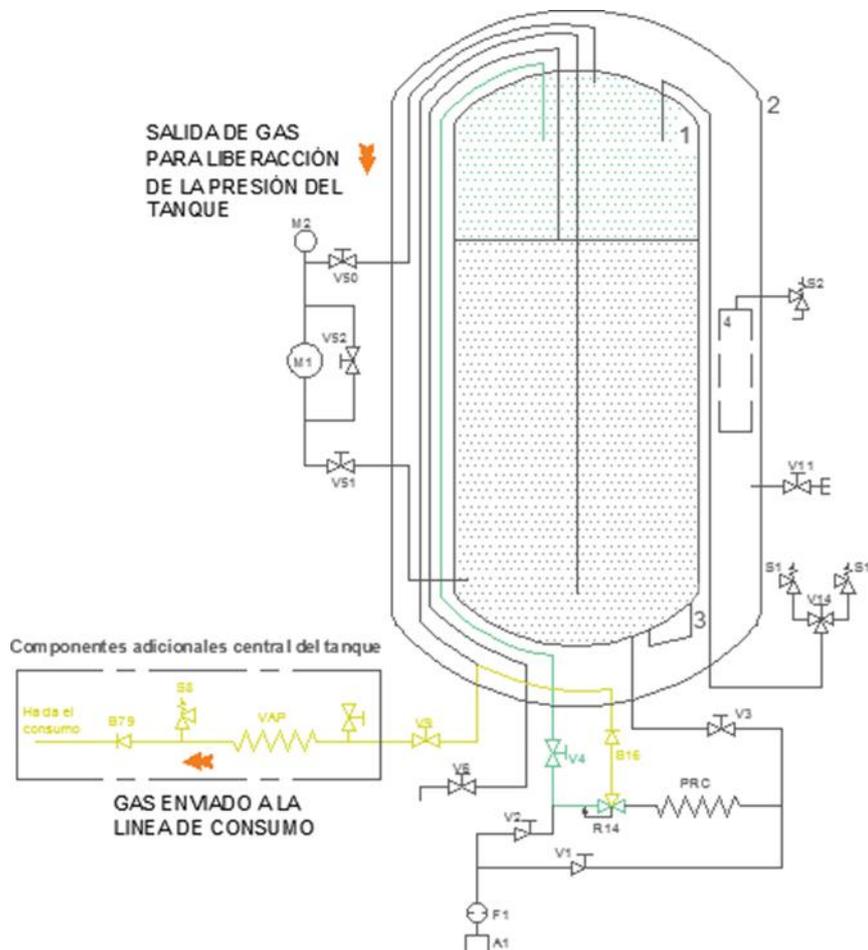
1.3.4.3.1 Constructor de presión

Debido al consumo de producto el líquido criogénico almacenado en el tanque es empujado hacia la línea de distribución por medio de un sifón invertido, la extracción de líquido ocasiona el descenso del nivel de producto y la presión interna del tanque se reduce. Cuando la presión del tanque se encuentra por debajo de la presión de calibración; la cual generalmente es 8 Bar, el regulador PER (R14) inicia la construcción de presión. El fuelle del regulador PER (R14) se activa debido a la presión baja en el tanque; lo cual permite que el líquido criogénico descienda por la válvula V3 y luego pase a través del evaporador constructor de presión (PRC). En el evaporador el líquido criogénico se gasifica, por tanto se obtiene un incremento de presión. El gas obtenido pasa por el regulador PER (R14) y luego por la válvula V4, y finalmente ingresa al tanque por la línea de llenado de la fase gaseosa. El gas que ingresa al tanque permite la compensación de la presión debido a la reducción de líquido criogénico. En la Figura 1.30 se indica el proceso de construcción de presión del Regulador PER (R14). Cuando la presión interna del tanque ha superado la presión de calibración del regulador PER (R14); es decir 10 Bar, se cierra el flujo de líquido al sistema de regulación, lo cual finaliza la operación de construcción de presión. El proceso de construcción de presión del regulador PER no afecta al suministro de producto hacia el cliente.



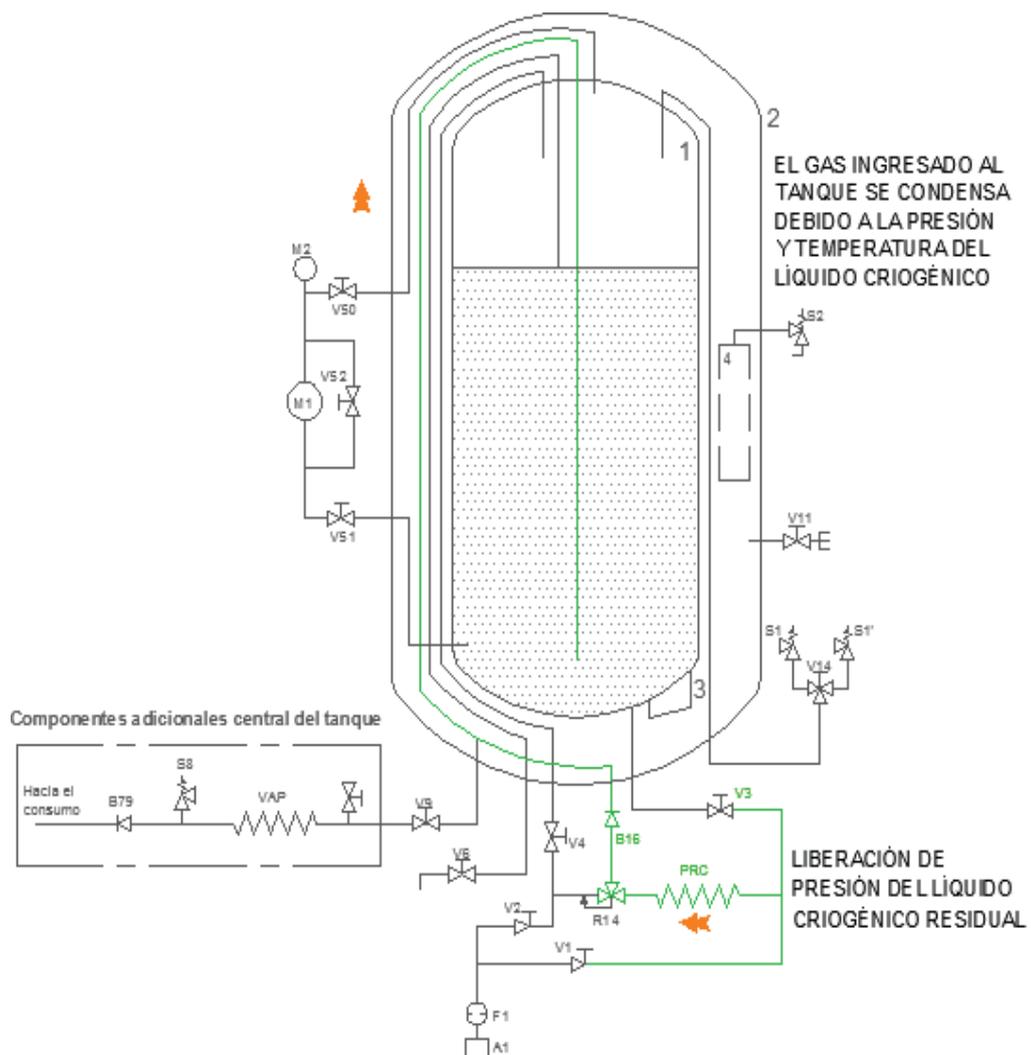
1.3.4.3.2 Economizador

Otra condición de operación del regulador PER (R14) se da cuando el consumo de producto del tanque es nulo o muy bajo. El ingreso de calor al tanque provoca que el líquido criogénico se evapore lo cual genera un aumento de presión. El regulador PER (R14) detecta la variación de presión y permite la salida del gas por medio de la válvula V4 y de la válvula de retención B16 hacia la línea de suministro, generalmente esta operación se realiza a la presión de 12 Bar. La salida de gas provoca la disminución de la presión en el tanque hasta el estado normal, es decir 10 Bar. Una vez alcanzada la presión de calibración el Regulador PER (R14) se cierra la salida de gas, lo cual finaliza la operación de reducción de presión. En la siguiente figura se indica la operación economizadora del Regulador PER (R14).



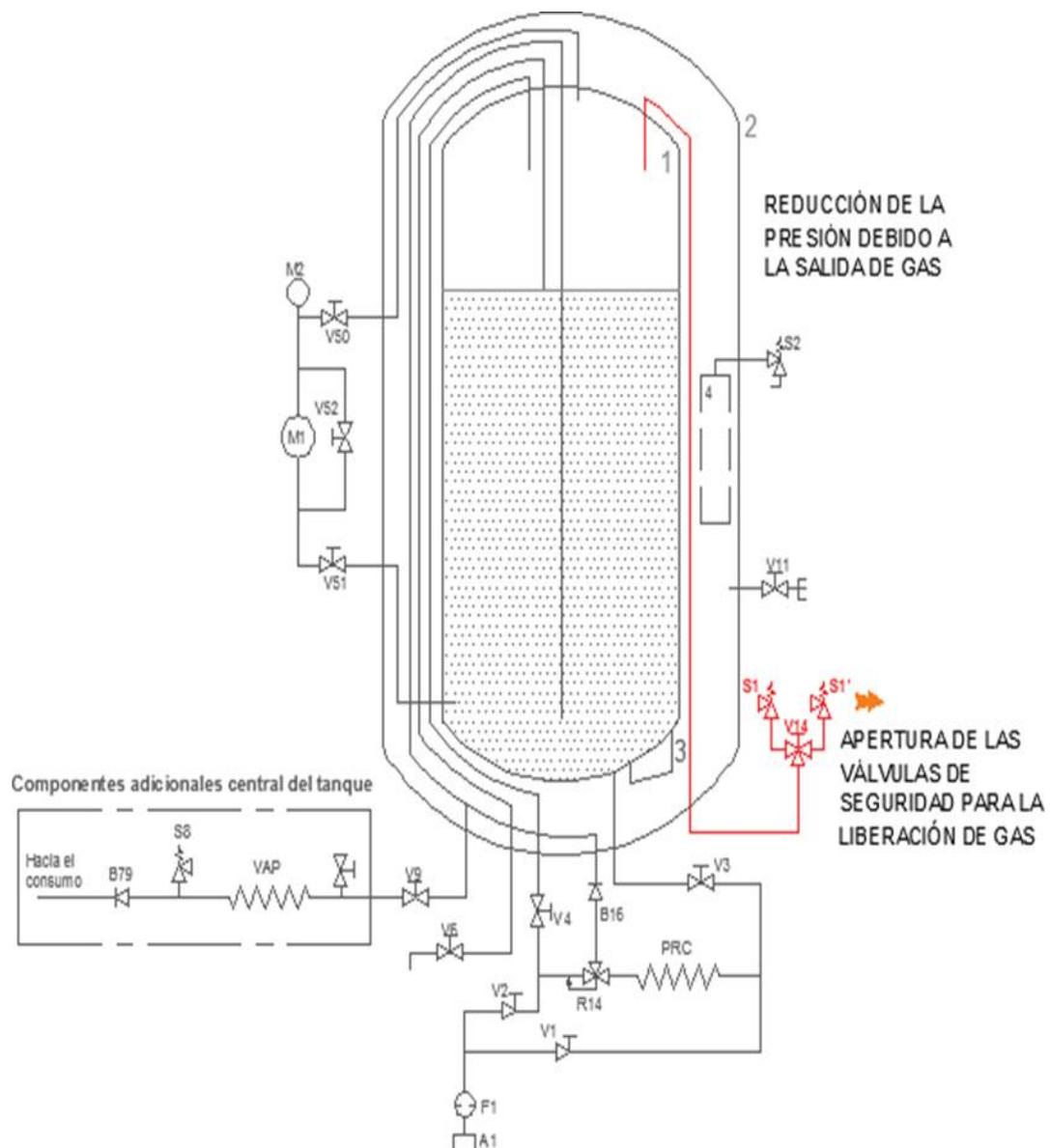
1.3.4.3.3 Liberación de presión retenida

Cuando se suspende temporalmente el suministro de producto, es decir se cierra la válvula V9 del tanque criogénico, una cantidad de líquido criogénico queda atrapada en la tubería de la línea de regulación. Debido al calor del ambiente el líquido atrapado se evapora lo cual provoca la elevación de la presión en la línea. Para liberar la presión retenida el regulador PER (R14) permite el flujo de gas a la línea de llenado de la fase gaseosa y luego ingresa la presión al tanque. Una parte del gas ingresado debido a la presión y temperatura del líquido criogénico se condensa formando nuevamente parte del líquido contenido en el tanque. En la siguiente figura se indicada la operación de la liberación de presión retenida de la línea de regulación.



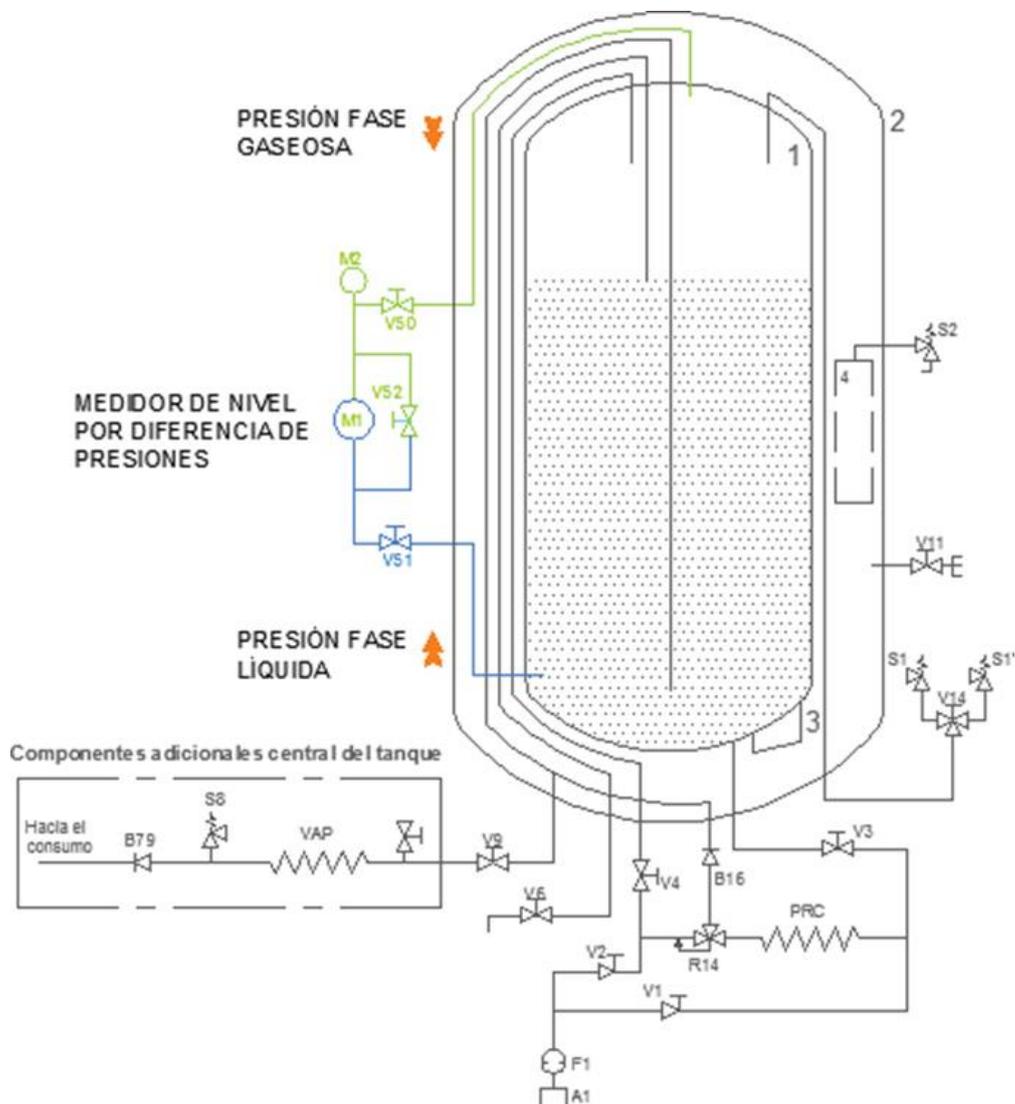
1.3.4.4 LIBERACIÓN DE SOBREPRESIÓN

En el tanque se producen aumentos de presión debido al cambio de estado del líquido criogénico a gas. El incremento de temperatura es resultado de la transferencia de calor del ambiente al tanque. El regulador PER (R14) ayuda a reducir el incremento de presión pero en ciertas condiciones de operación la tasa de reducción de presión es menor a la tasa de incremento de presión, generalmente sucede cuando el consumo de producto del tanque es nulo o muy bajo. Por tal razón el tanque criogénico dispone de un sistema de seguridad, el cual permite la liberación de sobrepresión. La calibración de las válvulas de seguridad depende de la presión de trabajo máxima del tanque criogénico. En la siguiente figura se indica el flujo para la liberación de presión por medio del sistema de seguridad.



1.3.4.5 MEDICIÓN DE NIVEL Y PRESIÓN

La operación del sistema de medición se basa en la medición diferencial de la presión al interior del tanque; es decir de las presiones internas de la fase líquida y gaseosa del tanque. En la Figura 1.34 se muestra la instalación general del sistema de medición. El indicador de nivel (M1) se encuentra conectado a la línea de presión de la fase gaseosa y de la fase líquida del tanque, la diferencia de presiones entre las fases permite generar una señal la cual es cuantificada por el medidor. El medidor de nivel se encuentra calibrado para representar la diferencia de presiones en cantidad de producto contenido en el tanque. Generalmente el indicador de nivel se encuentra calibrado en kilogramos de un determinado producto o en pulgadas de agua. Las tablas de conversión entre unidades de medición se conocen como tablas de aforo y se crean específicamente para el modelo de tanque y el producto almacenado. La medición de la presión interna del tanque se la realiza mediante un medidor de presión (M2), el cual se encuentra instalado en la línea de la fase gaseosa del tanque.



CAPÍTULO 2.

2 TAREAS DE MANTENIMIENTO Y ENSAYOS DE TANQUES CRIOGENICOS

2.1 TAREAS DE ADECUACION DE TANQUES CRIOGENICOS

OBJETO:

Establecer un listado de las tareas específicas necesarias para la brindar el servicio de adecuación de tanques criogénicos. Recomendar a los clientes, un plan de mantenimiento preventivo para sus tanques criogénicos.

ALCANCE:

Este procedimiento es aplicable a todos los tanques criogénicos a reparar, controlar y/o adecuar, ya sea de clientes o propios, que ingresen a las instalaciones de la empresa o que personal de la empresa repare fuera de sus instalaciones.

PROCEDIMIENTO:

1) Se tomará un mínimo de 3 fotografías a cada tanque al momento de su ingreso en las instalaciones de Inoxpla, o al momento de iniciar los trabajos si este se encontrará fuera de las instalaciones. En el caso de los tanques reparados en nuestras instalaciones, las mismas se deberán tomar inmediatamente después de su ingreso, si es posible incluso, con el tanque todavía sobre el carretón o camión que lo transportó. Las mismas fotografías deberán mostrar el estado general del mismo y de sus accesorios, haciendo foco en los lugares más deteriorados o en los accesorios dañados y/o faltantes.

2) El Gerente de Producción se comunicará con el encargado del cliente y definirá las tareas a realizar. Luego de esto elaborará el registro R-R2.1 Orden de Trabajo.

3) El operario realizará las tareas detalladas en el R-R2.1 siguiendo los instructivos asociados.

- a. IE-R2.4 Tareas de calibración de válvulas de seguridad
- b. IE-R2.8 Tareas de limpieza de elementos para uso con oxígeno
- c. IE-R2.9 Tareas de adecuación de reguladores de presión
- d. IE-R2.10 Tareas de toma de vacío
- e. IE-R2.11 Secado y prueba neumática de tanques
- f. IE-R2.12 Control de manómetro y nivel

Nota: Cada instructivo relacionado tiene a su vez registros que pueden ser requeridos por el mismo para esta tarea. Estos deben ser completados siempre y cuando se realicen las tareas que se encuentran dentro de sus alcances.

4) Resumen de puntos a tener en cuenta (si corresponde):

- a. Controlar la existencia de válvulas de alivio de cañerías en todos los tramos que, por falla de un regulador / válvula de retención, o bloqueo de dos válvulas manuales; pueda quedar aislado. (S11, 12, 13, etc en tanques)
- b. Control del sentido del regulador de presión desde el lado líquido hacia el gas, y del regulador economizador hacia consumo (Rp y Re.)
- c. Controlar la configuración de la brida de carga para el gas a ser usado.
- d. Controlar el punto de rocío y el vacío del tanque (-45°C y 1.10-1mbar en caliente) siempre que sea requerido.
- e. Colocación de identificaciones en accesorios y cartelería (cuando sea necesario)
- f. Presurización del tanque antes de la entrega y precintado de válvulas siempre que se lo seque.
- g. Protección y precintado de válvula de vacío y toma de vacío (siempre que se trabaje sobre estas).

5) A su vez, se completarán los registros del cliente que este requiera.

- a. 6 - NG-IT-BLK-004-CK-01 rev 1 Verificación y liberación Tks
- b. Aceptación final
- c. Punch List.

6) Una vez terminado los trabajos, se notificará al cliente y se tomarán un mínimo de 3 fotos que muestren el estado en que se entrega el tanque y sus accesorios.

7) Se le aconseja al cliente, el siguiente plan de mantenimiento:

- a. Calibración / control de funcionamiento, de válvulas de seguridad, de venteo de cañerías y control de los discos de rotura al menos una vez al año o apenas se detecte un inconveniente.
- b. Control de los instrumentos del tanque (nivel, manómetro, nivel electrónico, etc.) al menos una vez cada dos años o al detectar un inconveniente
- c. Control del valor de vacío de la aislación y medición del valor del punto de rocío, todo esto con el tanque en caliente (sin líquido, asegurando que el gas no congele las cañerías cuando es venteado) una vez cada cinco años o cuando se detecte algún inconveniente. Valores recomendables de vacío menor a 1.10-1mbar y de punto de rocío menor a -45°C.
- d. Pintura integral de la superficie exterior con esquema Epoxi-Poliuretano, cambio de cartelería, cambio de: sellos de válvulas y accesorios, o rings de tapa de carga de perlita y de tapón de toma de vacío (para lo cual se deberá realizar vacío nuevamente), y control de fugas de producto en cañerías, una vez cada 10 años o cuando se detecte algún inconveniente.

Todos los documentos generados por cada tanque que ingrese a la empresa Inoxpla serán guardados digitalmente en una carpeta” \\DC-INOXPLA\Archivos Inoxpla\PRODUCCION\tanques\Mantenimiento tanques\” o impresos papel en las cajas de las ordenes de trabajo.

8) Si el cliente no exige la entrega de un registro específico, o el registro que exige es insuficiente según el Gerente de Producción, se completará el registro “R-R2.34 - Documentación tanques criogénicos”

9) Se completa el documento “R-R2.35 - Certificado de Performance y Calidad” que deja constancia de la garantía dada por Inoxpla.

• NORMAS APLICABLES U OTROS REQUISITOS

ISO 9001:2008

• REFERENCIAS

Código	Título	Soporte
IE-R2.4	Tareas de calibración de válvulas de seguridad	Red
IE-R2.8	Limpieza de elementos para uso con oxígeno	Red
IE-R2.9	Tareas de adecuación de reguladores de presión	Red
IE-R2.10	Tareas de toma de vacío	Red
IE-R2.11	Secado y prueba neumática de tanques	Red
IE-R2.12	Control de manómetro y nivel	Red

• REGISTROS

Código	Título	Soporte	Archivo		Conservación
			Responsable	Lugar	
Doc. Externo	Punch List	Papel	Responsable Criogenia	Cajas de ordenes de trabajo o servidor	5 años
Doc. Externo NG-IT-BLK-004-CK-01	Verificación y liberación tanques criogénicos	Papel	Responsable Criogenia	Cajas de ordenes de trabajo o servidor	5 años
Doc. Externo	Aceptación final	Papel	Responsable Criogenia	Cajas de ordenes de trabajo o servidor	5 años
R-R2.1	Orden de trabajo	Papel	Responsable Criogenia	Cajas de ordenes de trabajo o servidor	5 Años
R-R2.34	Documentación tanques criogénicos	Papel	Responsable Criogenia	Cajas de ordenes de trabajo o servidor	5 años

2.2 ENSAYOS EN TANQUES CRIOGENICOS

2.2.1 TOMA DE VACÍO DE TANQUES CRIOGÉNICOS Y ENSAYO DE FUGA DE HE

2.2.1.1 TOMA DE VACÍO DE TANQUES CRIOGÉNICOS

OBJETIVO:

Procurar una aislación térmica eficaz y duradera, mediante métodos eficientes.

ALCANCE:

Este procedimiento es aplicable a todos los recipientes (fijos o móviles) y accesorios que por su diseño o función requieran de una aislación al vacío.

PROCEDIMIENTO:

- 1) Calentar el recipiente interno, si es que este contenía líquido criogénico en su interior.
 - a. Conectar una fuente de aire o nitrógeno caliente a una entrada (en lo posible inferior) del mismo, del máximo caudal posible y de una temperatura no superior a los 50°C.
 - b. Ventear hasta que por la salida no se observe humedad condensada, ni se aprecie al tacto, una temperatura inferior a la atmosférica.
- 2) Romper el vacío existente (si lo hubiera) con nitrógeno gaseoso seco.
 - a. Colocar un mano vacuometro tipo Bourdon en la válvula de medición de vacío del recipiente. Si esta no existiese, conectarlo con una tee en la toma de vacío
 - b. Conectar una entrada de nitrógeno gaseoso con regulador de presión seteado a una presión no mayor a 2kg/cm², a la toma de vacío del recipiente
 - c. Abrir la entrada de nitrógeno y luego la toma de vacío, a fin de que ingrese nitrógeno gaseoso a la cámara.
 - d. Continuar con el procedimiento hasta que el mano/vacuometro indique que se ha alcanzado la presión atmosférica.
 - e. Prestar especial atención en los casos que exista boca de carga de perlita o disco de rotura de tanque externo, a fin de no sobrepasar la presión atmosférica, lo que ocasionaría un daño al disco de rotura o una pérdida de perlita en la aislación
- 3) Controlar todos los sellos de los accesorios que forman parte de la cámara de vacío y reemplazar si muestran desgaste o deformación permanente. Cambiar los sellos, por más que no se observe desgaste alguno, si se sospecha que los mismos tienen más de 5 años de antigüedad
- 4) Conectar una bomba de vacío con trampa de humedad de nitrógeno líquido a la toma de vacío. Procurar que la trampa siempre tenga nitrógeno líquido a fin de que la humedad quede retenida allí y no en el aceite de la bomba
- 5) Encender la bomba con el gas Ballast totalmente abierto y, en el caso de las bombas rotativas de paletas, con la entrada apenas abierta, con el fin de preservar el aceite.

6) En el caso de cámaras de vacío con un alto contenido de humedad (la trampa de nitrógeno se llena de hielo) es conveniente:

a. Calentar el tanque interno con aire o nitrógeno caliente a una temperatura nunca superior a los 50°C

b. Romper el vacío de la cámara (ver punto 2) diariamente, dejando dicha cámara a presión atmosférica durante la noche y bombeando durante el día.

7) Se continuará realizando vacío hasta que el valor del mismo sea igual o menor que 1,3.10-1mbar para tanques criogénicos aislados con perlita o 2,6.10-2mbar para tanques con papel súper aislante.

8) Aplicar el punto 6 a cualquier recipiente que, luego de 3 días de bombeo, no alcance el valor de liberación indicado en 7, por más que no se vea hielo en la trampa.

9) Si aun así no se alcanza el valor de liberación indicado en 7, considerar proceder a realizar un ensayo de fuga de He al recipiente (interno y externo)

10) Volver a medir el valor de vacío 24, 48 y 96 horas después de terminado el bombeo. Si se observa un incremento por sobre los valores del punto 7, repetir desde el punto 6, por más que no se vea hielo en la trampa y considerar realizar un ensayo de fuga de He al recipiente (interno y externo)

2.2.1.2 ENSAYO DE FUGA DE HE

1) Se hace vacío hasta una presión adecuada para ser ensayado (<1 mbar). A menor vacío, mejor será la sensibilidad de la prueba.

2) Ensayo del recipiente externo:

a. Con film de polietileno de alta densidad, de espesor mínimo 100µm, se realizan parches en las zonas a ensayar. Dichos parches serán adheridos con cinta adhesiva sobre la superficie del tanque externo. Se priorizarán las zonas que se encuentren sometidas a tensiones (soportes de tanque al chasis en cisternas, y entradas de cañerías, por ejemplo) así también como otras zonas que hayan sido modificadas deliberada o intencionalmente (golpes, nuevas soldaduras realizadas a la envolvente externa, etc.)

b. Se conecta el detector de fuga a la toma de vacío, procurando no disminuir el valor de vacío previamente alcanzado.

c. Se inicia el detector de fuga y se espera 20 minutos hasta que el mismo pida ser calibrado con la fuga interna.

d. Se registra el primer valor obtenido antes de inyectar helio.

e. Se inyecta helio en la zona a ensayar y se registra el mayor valor obtenido luego de 15 minutos de espera.

f. Se repite el punto e en todas las zonas a ensayar.

g. Se evalúan los resultados. Cualquier zona cuya tasa de fuga es igual o mayor a 1,0.10-6mbarl/s indica presencia de fuga no admisible, por lo que debe ser localizada con la mayor precisión posible y reparada. Una tasa del orden de 1,0.10-7mbarl/s indica una probable fuga mayor, cercana a la zona ensayada. Es esencial recorrer bien dicha zona para

asegurar que la tasa de fuga no sea mayor. De todas formas, es aconsejable reparar todas las fugas, sin importar su magnitud.

- 3) Ensayo del recipiente interno:
 - a. Obturar todas las salidas del recipiente salvo una
 - b. En la salida restante, colocar un manifold con un manómetro que mida la presión dentro del recipiente, una válvula para venteo y una válvula para conectar el ingreso del gas trazador.
 - c. Presurizar el recipiente interno con 1kg/cm² de N₂ gaseoso
 - d. Controlar que no existan fugas en las salidas obturadas ni en el manifold de ingreso del gas trazador. Utilizar agua jabonosa y reparar en caso de encontrar pérdida alguna. Si para reparar dicha fuga es necesario despresurizar el tanque, repetir desde el punto c.
 - e. Despresurizar el recipiente interno hasta una presión de 0,6kg/cm².
 - f. Aplicar los pasos 2 b, c y d
 - g. Presurizar el recipiente interno con helio gaseoso hasta 1kg/cm². La concentración de gas dentro del recipiente será entonces de 50% aire, 30% nitrógeno, 20% helio.
 - h. Anotar la máxima medición registrada luego de 15 minutos de ensayo.
 - i. Si dicha medición supera en más de 1,0.10-6mbar.l/s a la medición inicial, entonces existe una fuga no admisible en el tanque interno.

• NORMAS APLICABLES U OTROS REQUISITOS

ASTM E499 y ASTM E498

• REGISTROS

Código	Título	Soporte	Archivo		Conservación
			Responsable	Lugar	
R-R2.17	Ensayo de fuga	Papel	Responsable de Producción	de Carpeta de OT	5 Años
R-R2,29	Realización de vacío	Papel	Responsable de Producción	de Carpeta de OT	5 Años

2.2.2 ENSAYO DE PUNTO DE ROCIO

OBJETO:

Determinar el punto de rocío de un tanque criogénico.

ALCANCE:

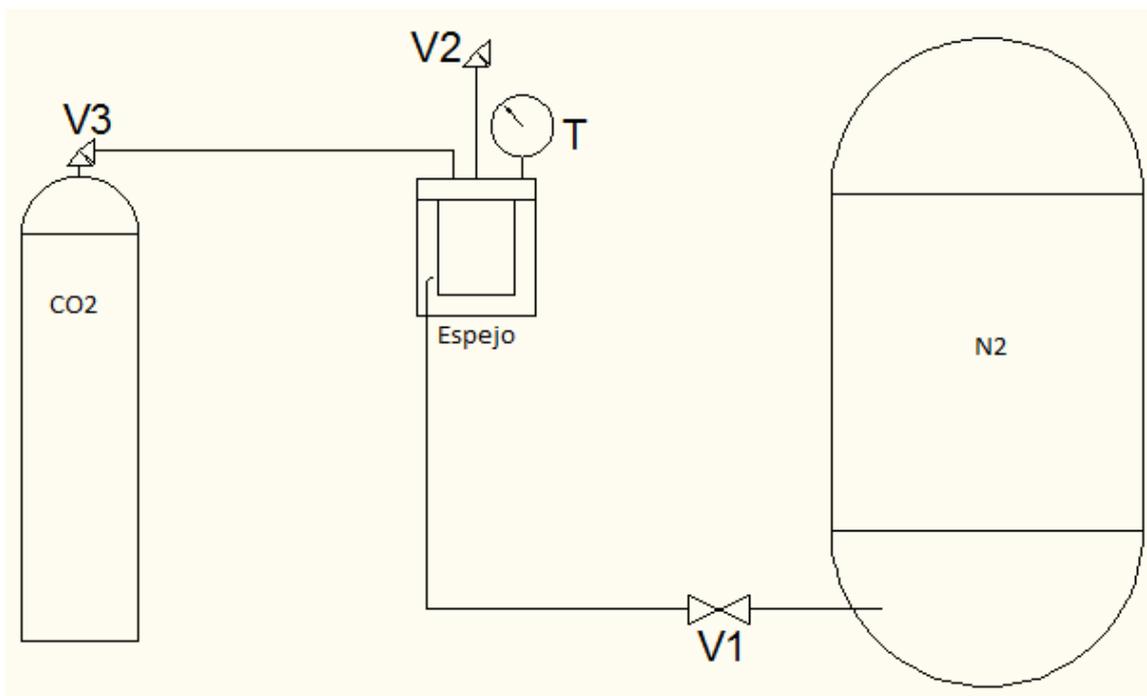
Este instructivo es de aplicación a todos los recipientes que ingresen a la empresa Inoxpla Ingeniería que tengan pedido de ensayo de punto de rocío.

DEFINICIONES:

Temperatura de punto de rocío: Es la temperatura a la que empieza a condensarse el vapor de agua contenido en el aire, produciendo rocío, neblina o, en caso de que la temperatura sea lo suficientemente baja, escarcha.

PROCEDIMIENTO:

Esquema de ensayo



Ensayo de punto de rocío

Antes de realizar el ensayo se debe dejar el recinto presurizado con nitrógeno durante 24 horas con el fin de que el nitrógeno seco se mezcle con la posible humedad presente. Una vez transcurrido este tiempo se abre la V1 estableciendo un vaho, es decir un caudal apenas perceptible de nitrógeno mezclado con humedad. Se abre también la V3 (válvula del tubo de CO2).

Se abre la V2 estableciendo un caudal considerable a fin de enfriar el espejo a partir de la expansión del CO2. Una vez que la humedad condensa en el espejo se registra la temperatura acusada por el termómetro de alcohol ubicado en el dispositivo de medición.

Si el equipo sufre un golpe en el manipuleo diario es posible que la columna de alcohol del termómetro se seccione, dificultando la medición. La forma de corregirlo es colocar dos

vasos de agua a diferente temperatura, uno a 10 °C y otro a 80°C. Se introduce el termómetro en el vaso caliente hasta que la medición llegue al final de la escala, y luego en el frío para observar si la columna se corrigió al bajar la temperatura. Se repite el procedimiento las veces que sea necesario hasta establecer la uniformidad de la columna de alcohol.

Ensayo de punto de rocío en tanques criogénicos

Cuando se realiza este ensayo en tanques criogénicos debe tomarse como V1 a la válvula de nivel inferior, ya que esta es la que se encuentra en el punto más bajo. También debe realizarse en la salida de líquido franco (W8, W7).

El ensayo se aprueba si la temperatura de punto de rocío es menor a los -40°C. Este dato se asienta en el registro “R-R2.34 Documentación Tanques Criogénicos”.

•REGISTROS

Código	Título	Soporte	Archivo		Conservación
			Responsable	Lugar	
R-R2.34	Documentación tanques criogénicos”	Papel	Gerente de Producción	Carpeta de OT	5 Años
externo	6 - NG-IT-BLK-004-CK-01 Verificación y liberación Tks	Papel	Gerente de Producción	Carpeta de OT	5 Años
Externo	F_001-Control CRIOGENICO de Vehículos 160K	Papel	Gerente de Producción	Carpeta de OT	5 Años

2.3 ANEXOS: PLANILLAS Y DOCUMENTOS

Registro N°		Cliente		Identificación y capacidad	
Construyó	Año	Presión de Servicio	Gas	Presión de Prueba	
		Kg/cm ²		Kg/cm ²	
Presión estallido DR		Peso	Procedencia		
Kg/cm ²		Kg			

ACCESORIOS	Si	No	Observaciones
Calentador atmosférico		X	
Caño de interconexión		X	
Nivel			
Manómetro			
Manifold del nivel			
Regulador puesta presión			
Calentador puesta presión			
Economizador			
Válvulas criogénicas			
Válvulas de seguridad			
Discos de ruptura			
Válvula retención carga			
Válvula W 6'			
Válvula medición vacío			
Toma de vacío			
Protección de toma de vacío			
Tapa de perlita			
Soportes p / Transporte			
Evidencia de falta de vacío (manchas de frío, falta de DR#, etc)			
P & I			

Estado gral. del tanque		
Estado gral. de pintura		
Logos		

Presión interna al ingreso		Kg/cm ²
Temperatura de punto de rocío al ingreso		°C

Fecha	
-------	--

Responsable de Inspección		Firma	
---------------------------	--	-------	--

Responsable Cliente		Firma	
---------------------	--	-------	--

Este registro se utilizará de acuerdo a lo establecido en los instructivos IE-R2.4 y IE-R2.8

Nº de registro	<input type="text"/>	Fecha	<input type="text"/>				
Código de la válvula	<input type="text"/>	Cliente	<input type="text"/>				
Lugar de instalación	<input type="text"/>						
Operario	<input type="text"/>	Tipo	<table border="1"> <tr> <td>Palanca</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Resorte</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	Palanca	<input type="checkbox"/>	Resorte	<input type="checkbox"/>
Palanca	<input type="checkbox"/>						
Resorte	<input type="checkbox"/>						
Fabricante	<input type="text"/>	Fluido	<input type="text"/>				
Modelo	<input type="text"/>	Servicio	<input type="text"/>				
Construcción	<input type="text"/>	Conexión entrada	<input type="text"/>				
Fecha fabricación	<input type="text"/>	Conexión salida	<input type="text"/>				
Temperatura [°C]	<input type="text"/>	Orificio [mm]	<input type="text"/>				
Capacidad	<input type="text"/>	Nº Precinto	<input type="text"/>				
Presión de Apertura	<input type="text"/>	Presión de Cierre	<input type="text"/>				
Manómetro usado	<input type="text"/>						

Tareas Realizadas (marcar aquellas realizadas)

Inspección previa	<input type="checkbox"/>	Desarme e Inspec.	<input type="checkbox"/>	Limpieza	<input type="checkbox"/>	Calibración	<input type="checkbox"/>
Control de operación	<input type="checkbox"/>	Lapidado asiento	<input type="checkbox"/>	Pintura	<input type="checkbox"/>	Emisión certificado	<input type="checkbox"/>
Reparación	<input type="checkbox"/>	Cbio. disco de cierre	<input type="checkbox"/>	Placa identificadora	<input type="checkbox"/>	Otras	<input type="checkbox"/>

Observaciones	<input type="text"/>
<input type="text"/>	
	Firma Responsable

Certificado de Control de Manómetros

CERTIFICADO N°:		CM	
		Fecha Recepción	Fecha Ensayo
Orden de trabajo			
Cliente		Dirección	
Telefono		e-mail	
Instrumento Patron		Instrumento objeto	
Fabricante		Fabricante	
Alcance		Alcance	
Fondo de escala		Fondo de escala	
Salida		Salida	
Apreciación		Apreciación	
Construcción		Construcción	
Tamaño		Tamaño	
Numero de instrumento		Numero de instrumento	
Certificado Numero		Certificado Numero	

ENSAYOS REALIZADOS

Descripción

El manometro fue colocado junto con el instrumento patrón en un banco de prueba conectado a un tanque de nitrógeno gaseoso. Por medio de una valvula reguladora de presión se alcanzaron los valores solicitados. Este procedimiento se repitió cinco veces para minimizar la posibilidad de errores en las mediciones.

A partir de las mediciones correspondientes al instrumento patrón y al calibrado se calculó el error porcentual de este último

Presión según patrón	Presión según objeto	Corrección	error %
		0,00	#¡DIV/0!

Observaciones: El patrón ha sido contrastado con un manometro marca: Nuova Fima modelo: MN15.1.A.G.43M con certificado N°:18811 emitido por Nuova Fima America Latina

Responsable Técnico

Av. 197 N° 522 e/42 y 43 - Lisandro Olmos (La Plata - Provincia de Buenos Aires)
Tel/Fax:0221-4963013/3100 - e-mail: inoxpla@inoxplaingenieria.com.ar



Certificado de Control de Nivel

CERTIFICADO N°:	CN
------------------------	----

	Fecha Recepción	Fecha Ensayo
Orden de trabajo		

Cliente	
----------------	--

Instrumento Patrón

	M1	M2
Fabricante		
Alcance		
Fondo de escala		
Salida		
Apreciación		
Construcción		
Tamaño		
N° de instrumento		
Certificado N°		

Instrumento Objeto

Fabricante	
Alcance	
Fondo de escala	
Salida	
Apreciación	
Construcción	
Tamaño	
N° de instrumento	
Certificado N°	

ENSAYOS REALIZADOS

Descripción

El nivel fue colocado junto con los manómetros patrón en un banco de prueba conectado a un tanque de nitrógeno gaseoso. Se presurizó las vías que conectan el Nsup y Ninf respectivamente mediante las valvulas Rp1 y Rp2 controlando que Rp2>Rp1. Se llevo los manómetros patrón a 1 bar, vigilando que la aguja de nivel oscile entre 20 y 60% de la escala (siempre Rp2>Rp1). Se verificó fondo de escala del nivel a presión indicada en el mismo y tres puntos dentro de la misma. Por último se abrió la vavula N by pass del banco constatando la lectura del nivel.

ΔP según patrón [mBar]	Nivel según objeto [mBar]	Corrección	error %

[Signature area]

Responsable Técnico

Av. 197 N° 522 e/42 y 43 - Lisandra Olmos (La Plata - Provincia de Buenos Aires)
Tel/Fax:0221-4963013/3100 - e-mail: inoxpla@inoxplaingenieria.com.ar



Certificado de Performance y Calidad

Registro N° Tanque N° Capacidad lts

Válvulas y accesorios limpios para uso O2 N/A ok

Verificación de Temperatura de Punto de Rocío de acuerdo a requerimiento ALASA N/A ok

Valores de vacío según criterios de aceptación de ALASA N/A ok

Verificación de tasa de evaporación admisible N/A ok

Prueba de estanqueidad N/A ok

Válvulas criogénicas aptas para operar N/A ok

Certificado de calibración de válvulas de seguridad N/A ok

Tanque habilitado de acuerdo a OPDS N/A ok

Garantía de pintura (2 años) N/A ok

Adjuntar los siguientes documentos:

Certificados de calibración de válvulas de seguridad N/A ok

Certificado de manómetro uso OXIGENO N/A ok

Se adjunta registro de vacío.

Firma y aclaración responsable Inoxpla

Firma y aclaración responsable ALASA

RECIPIENTES CRIOGENICOS-CERTIFICADO ACEPTACION FINAL

OT No. :		Cliente :	
Descripcion :	MANTENIMIENTO DE RUTINA		

Numero de tanque y capac : _____

Fabricante : _____

Tipo : _____

Fluido asignado : _____

Contratista : _____

Especificacion : _____

PRE-REQUISITE INSPECTION	Contratista	ALA	CLIENTE
Totalidad de los trabajos terminados y completados			
Todos los puntos de la punch list limpiados y firmada su realizacion			
Planilla de Verificacion Liberacion de tanques completada y firmada			
Requisitos de documentacion completados y aceptados			
QA/QC dossier aceptado			

Este certificado confirma que los items listados arriba con sus documentos asociados han sido inspeccionados y esta lista para subcomisionado, y esta sujeto a las siguientes excepciones

Este certificado no exime al contratista de las garantias contractuales

CONTRATISTA	ALA	CLIENTE
Fecha :	Fecha :	Fecha :
Nombre :	Nombre :	Nombre :
Firma :	Firma :	Firma :

6-NG-IT-BLK-004-CK-01	Chapas identificatorias de tanques			
Verificacion y Liberacion				
rec	M	Ch y Gr	WG1	
ch	RP	Ch y Gr	PSV	
ch	Re	ch	EC	
ch	Ri	ch	RPe	
ch	Fi	ch	V5	
ch	V.V.	ch	V6	
Ch y Gr	W10´	ch	VA	
Ch y Gr	W11´	ch	P11	
Ch y Gr	W7	ch	WL1	
Ch y Gr	W6´	ch	P13	
Ch y Gr	W10	rec	PSVA	
Ch y Gr	W11	rec	PSVB	
Ch y Gr	W8	rec	PSVC	
Ch y Gr	W6	rec	PSVD	
Ch y Gr	W7	ch	ELC	
ch	P8	ch	VPB	
Ch y Gr	W6´	ch	V10	
ch	P10	ch	VPL	
rec	Ninf.	ch	WL1	
rec	N.Sup			
rec	Nm			
rec	Nby-pass			
ch	S1			
ch	S12			
ch	S13			
ch	S14			
ch	VR			
rec	N			
ch	V13			
ch	TV			
ch	CPP			
Ch y Gr	W5			
ch	S11			
ch	W9			
ch	RA			
ch	E4			

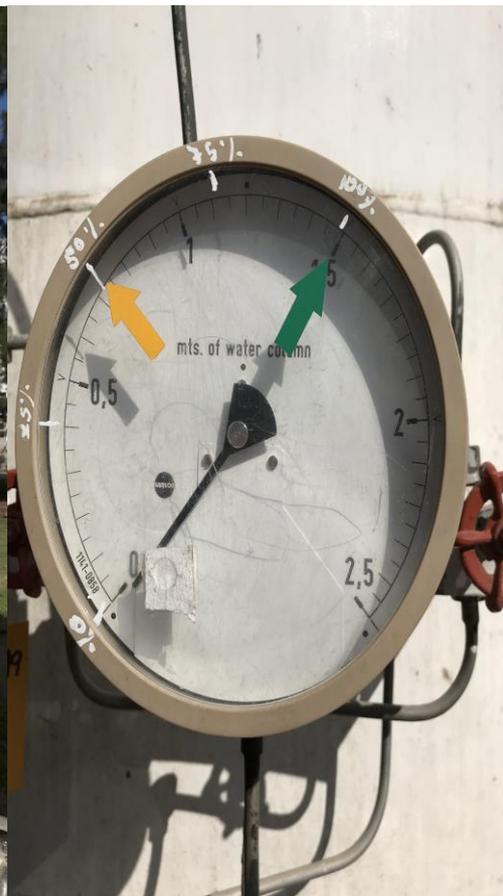
CAPITULO 3

3. REPARACION Y PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO DEL TANQUE N°19 3000

3.1 ADECUACION DEL TANQUE CRIOGENICO

- 1) Se tomó un mínimo de 3 fotografías al tanque al momento de su ingreso en las instalaciones de Inoxpla. Como es el caso de un tanque a reparar en las instalaciones de la empresa Inoxpla, las mismas se deben tomar inmediatamente después de su ingreso, si es posible incluso, con el tanque todavía sobre el carretón o camión que lo transportó. A continuación se pueden ver las fotografías que muestran el estado general del mismo y de sus accesorios, haciendo foco en los lugares más deteriorados o en los accesorios dañados.







AIR LIQUIDE ESTACION AUTOMATICA EVAPORADOR FRIO **OBJETIVO**
ACCIDENTES

ESQUEMA

REFERENCIAS

1. DESCRIPCION GENERAL	M	Indicador de Presion.	
TI	Receptor interno.	RI	Refractario de Tera. Vaso.
VI	Receptor externo.	TR	Toma escape Vaso.
W13	Valvula de Termostato por term. liquid.	TRM	Toma escape Reel.
W11	Valvula de Termostato por term. gaseoso.	W	Manera.
W2	Valvula control en presion.	W1	Manera.
W3	Valvula escape de C/P.	W2	Manera.
W4	Valvula Tota. Carga.	W3	Manera.
W5	Valvula de Termostato.	W4	Manera.
W6	Valvula de Termostato.	W5	Manera.
W7	Valvula de Termostato.	W6	Manera.
W8	Valvula de Termostato.	W7	Manera.
W9	Valvula de Termostato.	W8	Manera.
W10	Valvula de Termostato.	W9	Manera.
W11	Valvula de Termostato.	W10	Manera.
W12	Valvula de Termostato.	W11	Manera.
W13	Valvula de Termostato.	W12	Manera.
W14	Valvula de Termostato.	W13	Manera.
W15	Valvula de Termostato.	W14	Manera.
W16	Valvula de Termostato.	W15	Manera.
W17	Valvula de Termostato.	W16	Manera.
W18	Valvula de Termostato.	W17	Manera.
W19	Valvula de Termostato.	W18	Manera.
W20	Valvula de Termostato.	W19	Manera.
W21	Valvula de Termostato.	W20	Manera.
W22	Valvula de Termostato.	W21	Manera.
W23	Valvula de Termostato.	W22	Manera.
W24	Valvula de Termostato.	W23	Manera.
W25	Valvula de Termostato.	W24	Manera.
W26	Valvula de Termostato.	W25	Manera.
W27	Valvula de Termostato.	W26	Manera.
W28	Valvula de Termostato.	W27	Manera.
W29	Valvula de Termostato.	W28	Manera.
W30	Valvula de Termostato.	W29	Manera.
W31	Valvula de Termostato.	W30	Manera.
W32	Valvula de Termostato.	W31	Manera.
W33	Valvula de Termostato.	W32	Manera.
W34	Valvula de Termostato.	W33	Manera.
W35	Valvula de Termostato.	W34	Manera.
W36	Valvula de Termostato.	W35	Manera.
W37	Valvula de Termostato.	W36	Manera.
W38	Valvula de Termostato.	W37	Manera.
W39	Valvula de Termostato.	W38	Manera.
W40	Valvula de Termostato.	W39	Manera.
W41	Valvula de Termostato.	W40	Manera.
W42	Valvula de Termostato.	W41	Manera.
W43	Valvula de Termostato.	W42	Manera.
W44	Valvula de Termostato.	W43	Manera.
W45	Valvula de Termostato.	W44	Manera.
W46	Valvula de Termostato.	W45	Manera.
W47	Valvula de Termostato.	W46	Manera.
W48	Valvula de Termostato.	W47	Manera.
W49	Valvula de Termostato.	W48	Manera.
W50	Valvula de Termostato.	W49	Manera.
W51	Valvula de Termostato.	W50	Manera.
W52	Valvula de Termostato.	W51	Manera.
W53	Valvula de Termostato.	W52	Manera.
W54	Valvula de Termostato.	W53	Manera.
W55	Valvula de Termostato.	W54	Manera.
W56	Valvula de Termostato.	W55	Manera.
W57	Valvula de Termostato.	W56	Manera.
W58	Valvula de Termostato.	W57	Manera.
W59	Valvula de Termostato.	W58	Manera.
W60	Valvula de Termostato.	W59	Manera.
W61	Valvula de Termostato.	W60	Manera.
W62	Valvula de Termostato.	W61	Manera.
W63	Valvula de Termostato.	W62	Manera.
W64	Valvula de Termostato.	W63	Manera.
W65	Valvula de Termostato.	W64	Manera.
W66	Valvula de Termostato.	W65	Manera.
W67	Valvula de Termostato.	W66	Manera.
W68	Valvula de Termostato.	W67	Manera.
W69	Valvula de Termostato.	W68	Manera.
W70	Valvula de Termostato.	W69	Manera.
W71	Valvula de Termostato.	W70	Manera.
W72	Valvula de Termostato.	W71	Manera.
W73	Valvula de Termostato.	W72	Manera.
W74	Valvula de Termostato.	W73	Manera.
W75	Valvula de Termostato.	W74	Manera.
W76	Valvula de Termostato.	W75	Manera.
W77	Valvula de Termostato.	W76	Manera.
W78	Valvula de Termostato.	W77	Manera.
W79	Valvula de Termostato.	W78	Manera.
W80	Valvula de Termostato.	W79	Manera.
W81	Valvula de Termostato.	W80	Manera.
W82	Valvula de Termostato.	W81	Manera.
W83	Valvula de Termostato.	W82	Manera.
W84	Valvula de Termostato.	W83	Manera.
W85	Valvula de Termostato.	W84	Manera.
W86	Valvula de Termostato.	W85	Manera.
W87	Valvula de Termostato.	W86	Manera.
W88	Valvula de Termostato.	W87	Manera.
W89	Valvula de Termostato.	W88	Manera.
W90	Valvula de Termostato.	W89	Manera.
W91	Valvula de Termostato.	W90	Manera.
W92	Valvula de Termostato.	W91	Manera.
W93	Valvula de Termostato.	W92	Manera.
W94	Valvula de Termostato.	W93	Manera.
W95	Valvula de Termostato.	W94	Manera.
W96	Valvula de Termostato.	W95	Manera.
W97	Valvula de Termostato.	W96	Manera.
W98	Valvula de Termostato.	W97	Manera.
W99	Valvula de Termostato.	W98	Manera.
W100	Valvula de Termostato.	W99	Manera.

Como se puede ver en las fotografías, entre los principales problemas detectados se encontraron los siguientes: pintura del tanque desgastada, inexactitud de los indicadores de nivel de producto, falta de señalética de seguridad, válvulas de control en malas condiciones de uso y vencimiento en la verificación de las válvulas de seguridad y reguladores de presión.

Además de las fotografías se completa la ficha R-R2. 14 (Ingreso de Tanques) que se puede ver a continuación:

INOXPLA

R-R2.14 Ficha de Ingreso de Tanques (ITA) Vigencia: 28/09/2011
Revision: 1

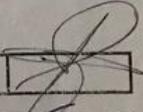
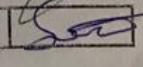
Registro N° 15648		Cliente AIALIQUIDE		Identificación y capacidad TK 3000 N° 18	
Construyó AIALIQUIDE ARG.	Año -	Presión de Servicio 15 Kg/cm2	Gas NITROGENO	Presión de Prueba 24 Kg/cm2	
Presión estallido DR 22 Kg/cm2	Peso - Kg	Procedencia LAMINACION BASCONIA			

ACCESORIOS	SI	No	Observaciones
Calentador atmosférico		X	
Caño de interconexión		X	
Nivel	X		
Manómetro	X		
Manifold del nivel	X		
Regulador puesta presión	X		
Calentador puesta presión	X		
Economizador	X		
Válvulas criogénicas	X		
Válvulas de seguridad	X		
Discos de ruptura	X		
Válvula retención carga	X		
Válvula W 6'	X		
Válvula medición vacío	X		
Toma de vacío	X		
Protección de toma de vacío	X		
Tapa de perlita	X		
Soportes p / Transporte	X		
Evidencia de fuga de vacío (manchas de frío, falta de DR1, etc)			NUVOLO VACIO 1,91 x 10⁻¹ mbar (1472 m.c.a.d.s)
P & I	X		

Estado gral. del tanque	REGULAR
Estado gral. de pintura	REGULAR
Logos	VIEJO

Presión interna al ingreso	5	Kg/cm2
Temperatura de punto de rocío al ingreso	-	°C

Fecha: **2/1/2018**

Responsable de Inspección	Pami	Firma	
Responsable Cliente	J. Román GUEZ	Firma	

3) Se realizaron las tareas detalladas en el R-R2.1 siguiendo los instructivos asociados.

a y b IE-R2.4 Tareas de calibración de válvulas de seguridad

IE-R2.8 Tareas de limpieza de elementos para uso con oxígeno

Se quitaron todas las válvulas del tanque para realizarles un mantenimiento. Las mismas fueron desarmadas, limpiadas a fondo, y se le reemplazaron los asientos de válvulas. En las imágenes a continuación se puede ver el desarme, despiece, limpieza de las mismas y armado para volver a colocar en el tanque luego de que el mismo sea pintado.





c. IE-R2.9 Tareas de adecuación de reguladores de presión

Se realizó la limpieza y adecuación de los reguladores de presión y sus cañerías, a continuación podemos ver imágenes de los mismos:



- LIMPIEZA Y ARENADO DE LAS CAÑERÍAS:

Las cañerías fueron arenadas con arena de vidrio para poder quitarles la mugre adosada en la parte externa de las mismas, como se puede ver en las siguientes fotografías.



d. IE-R2.10 Tareas de toma de vacío

Se realizó la toma de vacío del tanque criogénico, el mismo dio como resultado:

Nivel de vacío: $1,91 \times 10^{-1}$ mbar (el mismo es aceptable)

e. IE-R2.11 Secado y prueba neumática de tanques

No fue necesario hacer una prueba neumática del mismo, y tampoco fue solicitado por el cliente.

El tanque fue secado con nitrógeno caliente N_2 , hasta alcanzar una temperatura de punto de rocío de -55°C .



f. IE-R2.12 Control de manómetro y nivel

Se controló el manómetro y nivel fuera del tanque, en las instalaciones y se brindó una limpieza y mantenimiento de los mismos.



El manómetro del tanque nº19 fue comparado con otro manómetro (llamémoslo "B") para verificar que la medición del manómetro nº19 no sufrió alteraciones y que su valor sea el correcto. A su vez, el manómetro "B", fue constatado antes con el manómetro PATRON (llamamos lo "A").

El manómetro "A" es un manómetro que se renueva año a año, para cumplir con la norma iso 9001 de calidad. El manómetro "A" es siempre un manómetro nuevo que tiene trazabilidad garantizada por su fabricante. Luego de un año pasara a ocupar el lugar del manómetro "B" y un nuevo manómetro ocupara el lugar del "A".

A continuación puede verse imágenes del equipo para comparar y calibrar manómetros. El mismo consta de un tubo de nitrógeno conectado a un caño con múltiples orificios roscados para conectar más de un manómetro a la vez.



A continuación se muestran los manómetros patrones:



Al igual que el manómetro, el indicador de nivel también fue controlado en el banco de prueba de niveles:



Nota: Cada instructivo relacionado tiene a su vez registros que pueden ser requeridos por el mismo para esta tarea. Estos deben ser completados siempre y cuando se realicen las tareas que se encuentran dentro de sus alcances.

4) Resumen de puntos que se tuvieron en cuenta

a. Control de la existencia de válvulas de alivio de cañerías en todos los tramos que, por falla de un regulador / válvula de retención, o bloqueo de dos válvulas manuales; pueda quedar aislado. (S11, 12, 13, etc en tanques). Se realizó una limpieza y prueba de las mismas.



b. Control del sentido del regulador de presión desde el lado líquido hacia el gas, y del regulador economizador hacia consumo (Rp y Re.)

Se controló el mismo al colocar las cañerías y válvulas luego de brindarle mantenimiento y pintar el tanque.



c. Controlar la configuración de la brida de carga para el gas a ser usado.

Se realizó la limpieza y el control de las roscas y asientos para que el manipuleo del mismo sea fácil y rápido.

También se controló la posición de los espárragos para ser utilizado con oxígeno. En las siguientes imágenes se puede ver el proceso de limpieza y acondicionamiento de la misma.





d. Control del punto de rocío y el vacío del tanque

Se recomienda : (-45°C y 1.10-1mbar en caliente)

Datos obtenidos del tanque nº19 3000:

- Punto de rocío: -55°C
- Nivel de vacío: 1.91×10^{-1} mbar (aceptable)

e. Colocación de identificaciones en accesorios y cartelería

Se cambió de lugar las placas identificadoras del tanque, se cambio los logos viejos por los nuevos, se identificó cada válvula y elemento del tanque criogénico.



f. Presurización del tanque antes de la entrega y precintado de válvulas siempre que se lo seque.

El tanque fue presurizado a 1.5 bares y se le precinto las válvulas después del secado.



g. Protección y precintado de válvula de vacío y toma de vacío (siempre que se trabaje sobre estas).

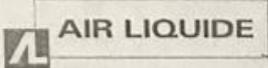
No se rompió el vacío en ningún momento, ya que el nivel de vacío tomado es aceptable y no fue necesario romperlo al hacerle mantenimiento al tanque.



5) A su vez, se completaron los registros que requiere el cliente.

a. NG-IT-BLK-004-CK-01 rev 1 Verificación y liberación Tks (4 hojas)

NG-IT-BLK-004-CK-01 rev01



Ref: NG-IT-BLK-004-CK-01
 Revisión: 01
 Fecha de Vigencia: 08-02-2018
 Fecha Vencimiento: 08-02-2023
 Página:

VERIFICACIÓN y LIBERACION DE RECIPIENTES CRIOGÉNICOS

PROVEEDOR: *Inoxpla S.R.L.*
 NUM DE TANQUE: *3000 n° 19.* GAS DE USO: *O₂*
 N° DE PROYECTO / ORDEN DE COMPRA: —
 DESTINO - Nombre de CLIENTE: —
 DESTINO - LUGAR y SUCURSAL RESP: —

DATOS GENERALES	Control			Observaciones - Estado
	SI	NO	No aplica	
Apto para Uso N2 y Ar ?			x	
Apto para Uso en O2 ?	x			
Limpio y Apto para Uso Alimenticio ?			x	
Placa de Identificación bien sujeta?	x			
Se verifica la Indicación de la presión máxima de servicio (MAWP) en la Placa de Identificación?		x		

MANTENIMIENTO GENERAL	Control			Observaciones - Estado
	Ok	No Ok	No aplica	
Pintura del tanque	x			
Orejas Izaje en Buen Estado y Pintadas?	x			
Logo del Tanque	x			
Limpieza del Tanque	x			
Gasificador de Puesta en Presion	x			
Coincide Diagrama PID con Tanque ?	x			
Se verifica la correcta posición de válvulas según PID ?	x			
Se verifica la correcta orientación de los venteos al aire para evitar daños aledaños ?	x			
Se verifica que los accesorios son aptos para Oxígeno (solo instalaciones de O2)	x			
Posee Oreja de PAT y esta OK?	x			PAT = Puesta a Tierra

Página 1 de 4

VERIFICACIÓN y LIBERACION DE RECIPIENTES CRIOGÉNICOS

PROVEEDOR: *Inoxpla S.R.L*

NUM DE TANQUE: *3000 a° 19*

GAS DE USO: *O₂*

N° DE PROYECTO / ORDEN DE COMPRA: —

DESTINO - Nombre de CLIENTE: —

DESTINO - LUGAR y SUCURSAL RESP: —

INSTRUMENTOS Y VALVULAS DE SEGURIDAD	Control			Observaciones - Estado
	Ok	No Ok	No aplica	
N (Nivel)				
Fondo de Escala según especificación AL y Gas correspondiente				El fondo de escala lo coloca el técnico en la PEM del tanque
M (Indicador Presion)	x			
RP (Reg. Puesta Presion)	x			
Re (Reg. Economizador)			x	
Ri (Robinete 3 vias)	x			
Dr1 (Tapa carga perlita)	x			
V.V. (Valv. Medicion Vacio)	x			
Dr (Disco de ruptura)	x			
Fecha de Fabricación - Dr				Fecha: 19/02/2013
Dr (Disco de ruptura)	x			
Fecha de Fabricación - Dr				Fecha: 19/02/2013
S1 (Valv. Seg TI)	x			
Fecha de Calibración de S1				Fecha: 30/07/2018
S1 (Valv. Seg TI)	x			
Fecha de Calibración de S1				Fecha: 30/07/2018
S12 (Valv. Seg. Cpp)	x			
Fecha de Calibración de S12				Fecha: 01/10/2018
S13 (Valv. Seg. W10.w11.Vr)	x			
Fecha de Calibración de S13				Fecha: 01/10/2018
Se verifica la calibración de las válvulas de seguridad igual o menor a la presión máxima de servicio (MAWP) del Tanque?				
VALVULAS	Control			Observaciones - Estado
	Ok	No Ok	No aplica	
W10	x			
W11	x			
W8	x			
W6	x			
P8	x			
W6'	x			
P10	x			
Ninf.	x			
N.Sup	x			
Nm			x	
Nby-pass	x			
BRIDA DE CARGA	Control			Observaciones - Estado
	Ok	No Ok	No aplica	
Gas correspondiente ?	x			
Tornillo Seguridad	x			
Esparragos	x			
Tuercas	x			
Contra tuerca	x			
Tapa ciega (E4)	x			
Junta	x			
(VR) Retencion	x			
(S13) Seguridad	x			
(P10) Purga	x			
Se verifica sentido de flujo de válvulas de retención y Válvulas Reguladoras ?	x			
Todas las Válvulas se pueden operar sin obstrucciones ?	x			

VERIFICACIÓN y LIBERACION DE RECIPIENTES CRIOGÉNICOS

PROVEEDOR: *Inoxpla S.L.L.*
 NUM DE TANQUE: *3000 n°18*
 N° DE PROYECTO / ORDEN DE COMPRA: *-*
 DESTINO - Nombre de CLIENTE: *-*
 DESTINO - LUGAR y SUCURSAL RESP: *-*

GAS DE USO: *O₂*

ACONDICIONAMIENTO PARA DESPACHO	Control			Observaciones - Estado	
	Ok	No Ok	No aplica		
Limpieza Externa del tanque	x				
Limpieza Gasificadores	x				
Presurizado con N2 p /despacho?	x				
Posee Cartel de Seguridad con Indicación de Recipiente Presurizado?	x				
Verifica que no existan perdidas de N2 por Válvulas o Conexiones ?	x				
Se ha verificado el punto de rocío ?				Temperatura alcanzada:	Tiempo de tratamiento (min):
	x			-50°C	
Las cañerías externas están sujetas con soportes provisorios para el transporte ?			x		
Se desmontó algún elemento para el transporte? Cual?			x		

Documentación:

Documento:	OK	NO OK	N/A	Observaciones	Especificaciones
1) Certificado Liberación del proveedor	x				
2) Planos			x		
3) Hoja de datos	x				
4) P&ID	x				
5) Certificado calibración válvulas de seguridad			x		
6) Documentación necesaria para habilitación	x				

VERIFICACIÓN y LIBERACION DE RECIPIENTES CRIOGÉNICOS

PROVEEDOR: INOXPLA S.R.L.
 NUM DE TANQUE: 3000 n° 19
 N° DE PROYECTO / ORDEN DE COMPRA: -
 DESTINO - Nombre de CLIENTE: -
 DESTINO - LUGAR y SUCURSAL RESP: -

GAS DE USO: O₂

Resúmen de Pendientes :

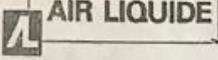
Pendiente	Acción Correctiva	Fecha Estimada	Responsable
/	/	/	/

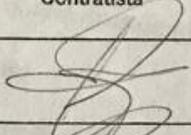
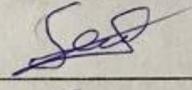
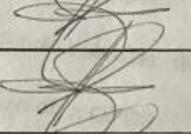
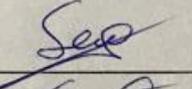
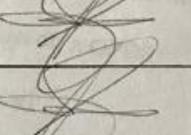
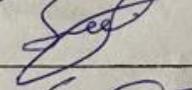
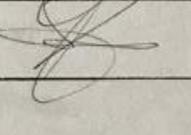
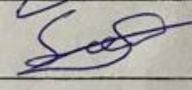
Conformidad de las Partes:

" Dejo constancia que se ha verificado el recipiente en base a los planos, P&ID, diagramas, etc; así mismo que se han respetado e implementado las medidas correctivas, quedando el recipiente en condiciones de ser operado "

	PROVEEDOR / SUBCONTRATISTA	AIR LIQUIDE
NOMBRE	<u>Peter Hernandez</u>	<u>J. DOMINGUEZ</u>
FIRMA	<u>[Signature]</u> <u>11/10/2018</u>	<u>[Signature]</u>

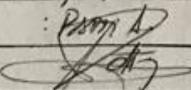
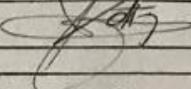
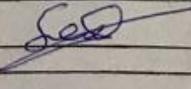
b. Aceptación final

	FORMULARIO	Doc. No. Rev. A
RECIPIENTES CRIOGENICOS-CERTIFICADO ACEPTACION FINAL		
OT No. :		Cliente :
Descripcion :	MANTENIMIENTO DE RUTINA	
Numero de tanque y capac :	3000 N°19	
Fabricante :	AIR LIQUIDE AGR.	
Tipo :	EFV	
Fluido asignado :	NITROGENO.	
Contratista :	INOXIA	
Especificacion :		

PRE-REQUISITE INSPECTION	Contratista	ALA	CLIENTE
Totalidad de los trabajos terminados y completados			
Todos los puntos de la punch list limpiados y firmada su realizacion			
Planilla de Verificacion Liberacion de tanques completada y firmada			
Requisitos de documentacion completados y aceptados			
QA/QC dossier aceptado			

Este certificado confirma que los items listados arriba con sus documentos asociados han sido inspeccionados y esta lista para subcomisionado, y esta sujeto a las siguientes excepciones

Este certificado no exime al contratista de las garantias contractuales

CONTRATISTA	ALA	CLIENTE
Fecha : 11/10/2018	Fecha : 11/10/18	Fecha :
Nombre : 	Nombre : I. DOMINICOR	Nombre :
Firma : 	Firma : 	Firma :

E-FRM-9-3-18, Rev. C

c. Punch List.

El cliente, además de la reparación del tanque, pidió (una semana antes de la entrega del tanque) la colocación de 2 válvulas primas.

A continuación se ven las fotos de la colocación de las válvulas 10' y 11'. Y se adjunta la planilla Punch List.





6) Una vez terminado los trabajos, se notificó al cliente y se tomaron un mínimo de 3 fotos que muestran el estado en que se entrega el tanque y sus accesorios.



7) Se le aconseja al cliente, el siguiente PLAN DE MANTENIMIENTO:

- a. Calibración / control de funcionamiento, de válvulas de seguridad, de venteo de cañerías y control de los discos de rotura al menos una vez al año o apenas se detecte un inconveniente.
- b. Control de los instrumentos del tanque (nivel, manómetro, nivel electrónico, etc.) al menos una vez cada dos años o al detectar un inconveniente
- c. Control del valor de vacío de la aislación y medición del valor del punto de rocío, todo esto con el tanque en caliente (sin líquido, asegurando que el gas no congele las cañerías cuando es venteado) una vez cada cinco años o cuando se detecte algún inconveniente. Valores recomendables de vacío menor a 1.10-1mbar y de punto de rocío menor a -45°C.
- d. Pintura integral de la superficie exterior con esquema Epoxi-Poliuretano, cambio de cartelería, cambio de: sellos de válvulas y accesorios, o-rings de tapa de carga de perlita y de tapón de toma de vacío (para lo cual se deberá realizar vacío nuevamente), y control de fugas de producto en cañerías, una vez cada 10 años o cuando se detecte algún inconveniente.

Todos los documentos generados del tanque quedan guardados digitalmente en una carpeta" \\Tanques\Mantenimiento tanques\" o impresos en papel en las cajas de las ordenes de trabajo.

8) Si el cliente no exige la entrega de un registro específico, o el registro que exige es insuficiente según el Gerente de Producción, se completará el registro "R-R2.34 - Documentación tanques criogénicos"

El mismo no fue exigido y no corresponde a este trabajo

9) Se completa el documento "R-R2.35 - Certificado de Performance y Calidad" que deja constancia de la garantía dada por Inoxpla.

R-R 2.35 Certificado de Performance y Calidad Vigencia:28/02/2012
Revision:0

INOXPLA

Certificado de Performance y Calidad

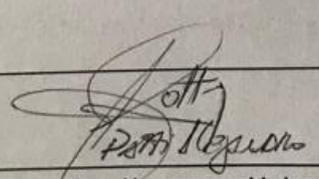
Registro N° Tanque N° Capacidad lts

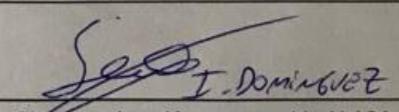
Válvulas y accesorios limpios para uso O2	N/A <input type="checkbox"/>	ok <input checked="" type="checkbox"/>
Verificación de Temperatura de Punto de Rocío de acuerdo a requerimiento ALASA	N/A <input type="checkbox"/>	ok <input checked="" type="checkbox"/>
Valores de vacío según criterios de aceptación de ALASA	N/A <input type="checkbox"/>	ok <input checked="" type="checkbox"/>
Verificación de tasa de evaporación admisible	N/A <input checked="" type="checkbox"/>	ok <input type="checkbox"/>
Prueba de estanqueidad	N/A <input type="checkbox"/>	ok <input checked="" type="checkbox"/>
Válvulas criogénicas aptas para operar	N/A <input type="checkbox"/>	ok <input checked="" type="checkbox"/>
Certificado de calibración de válvulas de seguridad	N/A <input checked="" type="checkbox"/>	ok <input type="checkbox"/>
Tanque habilitado de acuerdo a OPDS	N/A <input checked="" type="checkbox"/>	ok <input type="checkbox"/>
Garantía de pintura (2 años)	N/A <input type="checkbox"/>	ok <input checked="" type="checkbox"/>

Adjuntar los siguientes documentos:

Certificados de calibración de válvulas de seguridad	N/A <input checked="" type="checkbox"/>	ok <input type="checkbox"/>
Certificado de manómetro uso OXIGENO	N/A <input checked="" type="checkbox"/>	ok <input type="checkbox"/>

Se adjunta registro de vacío.


Firma y aclaración responsable Inoxpla


Firma y aclaración responsable ALASA

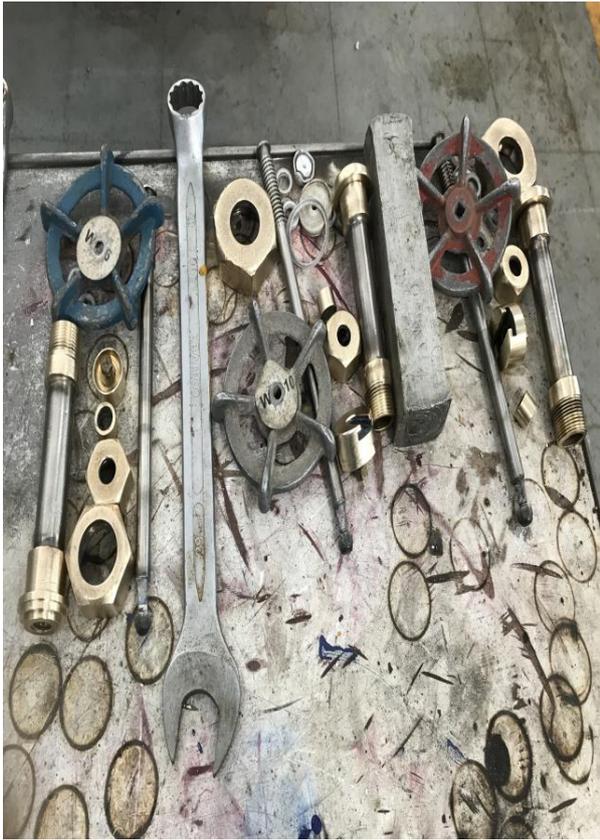
3.2 HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA LA REPARACION DEL TANQUE

- Para el desarme de los instrumentos, válvulas y cañerías del tanque criogénico fueron utilizadas herramientas de taller como las que se ven a continuación:



- Para la limpieza y desarme de las válvulas se utilizó una morsa de banco, cepillo de banco y herramientas de taller. Además para la fabricación de los asientos de teflón con carga de vidrio de estas válvulas se utilizó un torno paralelo.





- Arenado de las cañerías en una cabina de arenado con arena de vidrio.



- Equipo de control de manómetros y banco de pruebas de niveles.



- Equipo de medición del punto de rocío.

Consiste en un tanque que contiene dióxido de carbono, un colector espejo y un termómetro que indica la temperatura del gas. En el colector se puede ver fácilmente cuando el gas empieza a condensar y se mira la temperatura del termómetro.

La temperatura de punto de rocío es aceptable por debajo de -55°C



- Equipo de soldar TIG



- Elementos de seguridad:

Para realizar el mantenimiento del tanque es necesario contar con los siguientes elementos de seguridad:

- casco de seguridad.
- guantes.
- mameluco (overol).
- gafas de seguridad (antiparras) o protector facial.
- zapatos de seguridad (botines con punta de acero o pvc).



BIBLIOGRAFIA

- Documentos y archivos propios de la empresa INOXPLA SRL.
- ALASA Air Liquide Argentina.
- Testos argentinos.
- SASPG Soluciones profesionales para equipos de gases industriales.
- Oxicar PRODUCTOS.
- AGA CRYO. Spare Parts- PER Pressure Regulator. Alemania: AGA. AGA CRYO.
- AGA CRYO. (1996). Spare Parts-Hose Connection. Alemania: AGA.
- Infrasal.
- Normas ASTM E498 Y E499.
- Norma ISO 15848-1:2006(E).
- Norma ISO 9001
- Argonne National Laboratory. (2001). Physics Division Cryogenic Safety Manual.
- Estados Unidos: Argonne National Laboratory.
- Grupo Linde.
- Barron, R. (1985). Cryogenic Systems (Segunda ed.). Estados Unidos: McGraw Hill.
- European Industrial Gases Association AISBL. (2008). Vacuum Insulated Cryogenic Storage Tank Systems Pressure Protection Devices. Union Europea: EIGA.
- European Industrial Gases Association AISBL. (2013). Operation Of Static Cryogenic Vessels. Union Europea: EIGA.
- Flynn, T. (2005). Cryogenic Engineering (Segunda ed.) Marcel Dekker.
- Gómez Santos, C. M. (2011). Mantenimiento productivo total- Una visión global (Primera ed.). Madrid: Carola M. Gómez.
- Gonzales, R. (2014). Criogenia: Cálculo de equipos y recipientes a presión.
- González, F. J. (2005). Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado (Segunda ed.). España: Artegraf S.A.
- Grupo INFRA. (2006). Manual de Seguridad: Gases Industriales y Medicinales.
- México: Grupo INFRA.
- Jha, A. R. (2005). Cryogenic Technology and Applications. Burlington, USA: ProQuest.
- Martínez, L. (2007). Organización y planificación de sistemas de mantenimiento (Segunda ed.).
- Milano, T. (2005). Planificación y gestión del mantenimiento industrial. Caracas: Universidad Ayacucho.

- Mobley, K. (2008). Maintenance Engineering Handbook (Septima ed.). New York: McGraw-Hill.
- National Fire Protection Inc. (2001). NFPA 50. Chicago: NFPA. NSPRC. (2001). Static Insulated Cryogenic Pressure Vessel- General Requirements. China: SAC.
- Refinería Gibraltar. (2004). Técnicas de mantenimiento mecánico (Primera ed.). Madrid: Refinería Gibraltar.
- Documento Edison Imbaquingo.
- Serio, L. (2010). Cryogenic Handbook. Estados Unidos: ITER.
- Taha, H. (2004). Investigación de operaciones (Séptima ed.). México: Pearson Education.
- Tavares, L. A. (2006). Administración moderna de mantenimiento (Primera ed.). Brasil: Novo Polo.
- Universal Industrail Gases Inc. (s.f.). Overview of Cryogenic Air Separation and Liquefier Systems. <http://www.uigi.com/cryodist.html>
- Bases de datos de internet: Wikipedia, youtube, etc.