



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Coordinación para la  
instalación de un nuevo  
sistema de suministro a alta  
presión de argón**

**INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Mecánico**

**P R E S E N T A**

Miguel Ángel Inguanzo González

**ASESOR DE INFORME**

Dr. Rogelio González Oropeza



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017**

## Contenido

Coordinación para la instalación de un nuevo sistema de suministro a alta presión de argón .....	1
Introducción .....	1
Objetivo:.....	1
Descripción de la empresa o medio que labora:.....	1
Descripción de la Empresa (Praxair México).....	1
Breve descripción del puesto .....	2
Antecedentes: .....	3
Definición del problema o contexto de la participación profesional.....	3
Metodología utilizada .....	4
Resultados .....	4
Conclusiones .....	5
Bibliografía .....	6
Reporte fotográfico de la evolución del sistema. ....	7
Anexo 1.....	1-1
A1.1 Qué es un gas .....	1-1
A1.2 Gas comprimido .....	1-1
A1.3 Aire .....	1-2
A1.4 Argón.....	1-3
A1.5 Separación del aire.....	1-4
A1.6 Bombas criogénicas .....	1-6
A1.7 Cavitación.....	1-7
Anexo 2 Descripción del sistema paso a paso.....	2-1
A2.1 Almacenamiento de argón líquido.....	2-1
A2.2 Bombas Vanzetti .....	2-2
A2.3 Vaporizador ambiental .....	2-3
A2.4 Recibidores de argón (Gas).....	2-3
A2.5 Cuadro de regulación de alta presión .....	2-4
A2.6 Sistema de control (PLC) .....	2-5
Anexo 3 Distribución y manejo de los productos.....	3-1
A 3.1 Entrega en cilindros .....	3-1
A3.2 Distribución de gas líquido (Bulk) .....	3-2
Importancia de la distribución de los gases .....	3-3
Otros usos del argón .....	3-5

# Coordinación para la instalación de un nuevo sistema de suministro a alta presión de argón

## Introducción

En el presente trabajo explico mis labores desempeñadas durante el periodo agosto 2014 hasta enero 2016 como Ingeniero de Aplicaciones Técnicas en Praxair México particularmente en el área de Marketing Metal Fab. Se me asignó la tarea de coordinar el desarrollo y dimensionar un nuevo sistema de suministro de argón para el cliente (que por motivos de confidencialidad no se menciona su nombre) más importante de consumo de argón en el Estado de México.

Durante este periodo, a través de juntas tanto internas como externas, logramos identificar las necesidades técnicas del proceso del cliente y con base en ello nos dimos a la tarea de desarrollar un sistema adecuado y modernizado.

## Objetivo:

Coordinación del diseño, dimensionamiento de equipos y supervisión de la instalación de un nuevo sistema de bombeo, almacenamiento y suministro de argón a presión de 55 bar.

## Descripción de la empresa o medio que labora:

### Descripción de la Empresa (Praxair México)

Praxair México forma parte de Praxair Inc., la empresa de gases más grande de América, una de las más grandes a nivel mundial; es la empresa productora de bióxido de carbono más grande del mundo, con ventas anuales por 9.4 billones de dólares.

Sus principales productos son:

Gases atmosféricos (oxígeno, nitrógeno y argón); producidos a partir de la purificación, compresión, enfriamiento, destilación y condensación del aire atmosférico.

Gases de proceso (Bióxido de carbono, helio, acetileno e hidrógeno); producidos por reacciones químicas y/o como subproductos de procesos en la industria petroquímica.

Gases especiales; gases de alta pureza y mezclas de los mismos, desarrollados y formulados en centros de tecnología.

En México, Praxair inicia operaciones en 1968 con la puesta en operación de su primera planta separadora de aire en la ciudad de Monterrey, N. L. Posteriormente se instalan en diferentes puntos del país las primeras plantas de envasado de gases industriales en cilindros de alta presión, así como también inicia la producción de gases especiales y mezclas de altas purezas.

Actualmente el personal de Praxair México asciende a más de 2,400 empleados distribuidos en toda la República Mexicana.

Formas de suministro:

- Cilindros de alta presión
- PGS: contenedores portátiles de líquidos
- Tanques estacionarios “*Micro Bulk*”
- Tanques “*Bulk*”
- Red de tuberías: planta Praxair-planta del cliente
- Plantas “*On Site*”

Responsabilidad social:

La importancia de trabajar en el Desarrollo Sustentable es sin duda alguna una parte fundamental que nos ayuda a permanecer como una compañía sólida con altos valores y principios éticos. Algunos ejemplos de programas han sido:

Programa “*Now*” – en el cual empleados, familiares y algunos de nuestros clientes, adoptaron y plantaron más de 11,000 árboles en distintas localidades en México.

Seguridad

La seguridad tiene prioridad en todo momento dentro de la compañía y con clientes, ofreciéndoles productos y sistemas altamente confiables y seguros, incluyendo en el alcance el suministro del producto, así como la capacitación necesaria y la calificación del usuario que participa en la operación de los sistemas y el uso de los productos, con el resultado de que muchas de nuestras prácticas de almacenamiento y distribución han sido adoptadas como normas de seguridad por la industria del gas en general.

Breve descripción del puesto

Ingeniero de aplicaciones técnicas

La función del puesto es dar valor agregado a la compañía mediante el desarrollo e implementación de proyectos de productividad en la cadena de valor de los clientes a través del catálogo de soluciones por la compañía.

Esto permite que se capten nuevos clientes sin tener que afectar el valor del mercado sólo ganándolos por precio. Y asegurando que el cliente se quede con Praxair inclusive si la competencia se presenta con precios más bajos.

Su responsabilidad es apoyar al área de ventas enfocadas a la industria metalmecánica. Ya sea para aplicaciones de soldadura, implementando técnicas como soldadura MIG (Metal Inert Gas siglas en ingles de Gas Inerte de Metal), MIG pulsado y algunos otros. Como en corte, aplicando procesos de corte laser, corte plasma u oxicorte, mecanizado o manual. O finalmente en procesos de tratamiento térmico mediante el diseño del sistema de suministro del gas inerte y la atmósfera en el horno.

Incluye también el desarrollo de nuevo mercado mediante la implementación de nuevas técnicas de manufactura diseñadas por Praxair Inc.

## Antecedentes:

El cliente ocupa argón de alta pureza a una presión superior a 50 bar para dar tratamiento térmico a las pastillas de carburo de tungsteno que producen en su planta. Praxair lleva más de 20 años suministrando el argón mencionado, y en el año de 1996 se le vendió al cliente un sistema básico para acondicionar el gas.

Actualmente este sistema ya no es suficiente para la demanda del cliente. Adicional está en un constante riesgo de paro por falla (debido al excesivo número de horas de trabajo) y/o mantenimiento. Un paro le cuesta al cliente aproximadamente medio millón de pesos por día en facturación atrasada. Derivado de esta situación se presentó la necesidad de un proyecto de mejoría que impulsara nuestro cliente a una mayor productividad, confiabilidad y rentabilidad de su proceso.

## Definición del problema o contexto de la participación profesional

La problemática al iniciar el proyecto incluía diferentes temas:

Principal. El cliente presentaba una ampliación para enero de 2016. Esta ampliación representaba un 50% de su capacidad instalada. Ellos consumen argón a una presión superior a los 50 bar para llevar a cabo un proceso de sinterizado de carburo de tungsteno. En la planta tenían instalado un sistema de suministro que era capaz de entregar un volumen equivalente a 18,000 m<sup>3</sup>/mes, pero estaba prácticamente aprovechado al máximo. El consumo estimado para enero de 2016 era de 27,000 m<sup>3</sup>/mes y hacia mediados del 2017 el consumo pronosticado con el calendario de producción era de 36,000 m<sup>3</sup>/mes

Adicional. El sistema era obsoleto y no estaba diseñado para una continua operación dentro de las instalaciones del cliente, por esta razón, cuando se tenía una falla o un mantenimiento, era necesario llevar a cabo un paro de la planta.

El suministro al punto de uso no era regulado y la presión variaba entre 250 y 70 bar conforme se ocupaba el producto almacenado en dos canastillas con 40 cilindros cada una. Esto llegó a causar complicaciones por fatiga en los diafragmas de los reguladores del horno, que no eran industriales.

Las canastillas de cilindros tenían una tasa de llenado y consumo de seis ciclos por semana y no están diseñados para este ritmo de utilización, esto generaba un riesgo contante. Por política interna en Praxair ya no se permite ocupar este tipo de contenedores como pulmón de almacenamiento de un proceso de alta presión.

Para la resolución del problema, se llevó a cabo el dimensionamiento del consumo a futuro del cliente, que en 2018 nuevamente se expandiría en otro 50% del tamaño original. Y con base en estos valores se comenzó el diseño del sistema, para lo que sería necesario instalar un tanque de argón líquido mayor (11,000 galones) que permitiera el almacenamiento de materia prima. Aguas arriba del sistema se instalaron un par de bombas criogénicas Vanzetti, cuya capacidad de bombeo debió coincidir con el consumo mencionado de 36 000 m<sup>3</sup> de argón por mes.

Ya que lo que se obtiene en la salida de la bomba es argón líquido, es necesario un sistema de vaporización que lleve el argón a la fase gaseosa, por lo que se instaló un vaporizador Thermax. El volumen de inventario necesario para el cliente llevaba a un almacenamiento de 200 cilindros de alta presión. pero como se mencionó más arriba en este documento, la política interna no lo permitía. Así es que se dimensionaron seis tubos recibidores de acero al carbono, horizontales, diseñados para ciclos infinitos de llenado.

A la salida de los recibidores se ideó una central de regulación de alto flujo de gas, para mantener un suministro constante de presión hacia la red del cliente. Esta regulación enviaría 55 bar a la línea del cliente sin importar la presión en las camas de recibidores. Todo esto está controlado y automatizado por un controlador lógico programable Allen Bradley, con válvulas automáticas para el funcionamiento de todo el sistema.

### Metodología utilizada

Para el dimensionamiento del tanque de argón líquido se ocupó el volumen de consumo del cliente, equivalente a 18,000 m<sup>3</sup>/mes al inicio del proyecto pero que derivarían en 36,000 m<sup>3</sup>/mes, y mediante factores de conversión se obtuvo el volumen de argón en condiciones de líquido. Posterior a esto se calculó un tanque adecuado para abastecer cada 15 días máximo; pero que no superara el volumen considerablemente, ya que la tasa de evaporación es de 2% diario en el interior del tanque y si el consumo no lo supera es posible que se desperdicie producto.

El dimensionamiento de las bombas fue con base en el volumen necesario para consumo y al mismo tiempo considerando que cada bomba debería arrancar una vez cada dos días para mantenerlas en estado óptimo y evitar su salida frecuente de operación por horas de trabajo para mantenimiento.

Todos los demás elementos se diseñaron para cumplir su función al flujo máximo de la bomba. De esta manera se garantizó que ningún equipo tuviera riesgo de operar por encima de su capacidad.

La tubería se calculó para poder soportar una presión de operación superior a los 300 bar. Este fue el resultado del cálculo computarizado mediante el programa Flow Control de la presión máxima que se puede obtener con el volumen de argón líquido almacenado en la tubería si este se evapora por completo y no se libera presión.

### Resultados

Mi participación permitió que el proyecto se llevara a cabo en tiempo y forma. Durante todo el proyecto desempeñé labores de integración entre los diferentes equipos de expertos como ingeniería, área de instalaciones, área de servicio al cliente, diferentes proveedores de servicio e inclusive el cliente.

Igualmente permitió el correcto dimensionamiento mediante el cálculo del consumo de volumen con base en las corridas de producción y fases de consumo durante el sinterizado, diferenciamiento entre el volumen de almacenamiento y el flujo de consumo máximo para evitar un sobre dimensionamiento del volumen de líquido criogénico.

Se realizó la selección de equipos y volúmenes de equipos correctos para el cumplimiento de las necesidades del sistema. Administración de recursos durante el proyecto y supervisión del cumplimiento y correcta instalación de los equipos en campo.

Se llevó a cabo la supervisión de la fase de pruebas para el arranque y la puesta a punto de las bombas criogénicas, válvulas de seguridad y servomotores (actuador capaz de mantenerse estable en cualquier posición dentro de su rango de funcionamiento) de control automatizado. Selección de parámetros de arranque y paro y parámetros críticos de operación para la detonación de alarmas de operación inadecuada.

Solución de la cavitación en la bomba por flujo de transición en la toma de producto de las bombas criogénicas. Se encontró que al aislar la toma de producto en las bombas criogénicas, el producto permanecía extremadamente frío, eliminando la posibilidad de que al calentarse burbujee y se lleve el gas caliente de vuelta al tanque. Esto derivaba en la cavitación del producto dentro del pistón de la bomba y por lo tanto la imposibilidad para comprimir producto.

## Conclusiones

El diseño de centrales de bombeo criogénicas involucra mucho más que sólo la selección de una bomba con un NPSH (Por sus siglas en inglés Net Positive Suction Head, altura positiva de aspiración) adecuado. Es importante considerar desde el tamaño del contenedor de líquido hasta el diámetro de la tubería. El volumen del argón aumenta en más de 240 veces al cambiar de fase líquida ( $\rho=1396.2 \text{ kg/m}^3 @ -186^\circ\text{C}, 1\text{bar}$ ) a gaseosa ( $\rho=5.7043 \text{ kg/m}^3 @ -185.97^\circ\text{C}, 1\text{bar}$ )<sup>1</sup>. Esto causa un aumento de presión en la línea cuando el producto gana temperatura y por lo tanto se debe considerar tener válvulas que liberen este mismo antes tener una condición insegura.

El sistema de evaporación tiene una eficiencia, misma que se debe garantizar para cualquier condición climatológica posible en la ubicación geográfica de la central.

Es importante considerar el aumento de presión por temperatura en los sistemas, ya que se puede tener un incremento que active innecesariamente las válvulas de seguridad del sistema de almacenamiento de alta presión (tubos recibidores).

El diseño aplicado en la ingeniería muchas veces es sustituido por un catálogo de modelos para aplicaciones específicas en las que se aprovechan proyectos previos para especificar las futuras aplicaciones y conservando así el conocimiento generado en la industria.

---

<sup>1</sup> [http://webbook.nist.gov/cgi/fluid.cgi?P=1&TLow=-110&THigh=-188&TInc=1&Applet=on&Digits=5&ID=C7440371&Action=Load&Type=IsoBar&TUnit=C&PUnit=bar&DUnit=kg%2Fm3&HUnit=kJ%2Fmol&WUnit=m%2Fs&VisUnit=uPa\\*s&STUnit=N%2Fm&RefState=DEF](http://webbook.nist.gov/cgi/fluid.cgi?P=1&TLow=-110&THigh=-188&TInc=1&Applet=on&Digits=5&ID=C7440371&Action=Load&Type=IsoBar&TUnit=C&PUnit=bar&DUnit=kg%2Fm3&HUnit=kJ%2Fmol&WUnit=m%2Fs&VisUnit=uPa*s&STUnit=N%2Fm&RefState=DEF)

## Bibliografía

1. Springer Science & Business Media, 1999, Handbook of Compressed Gases, Compressed Gas Association Inc., United States of America
2. [www.linde-engineering.com](http://www.linde-engineering.com), History and technological progress. Cryogenic air separation, Linde Engineering: Air separation
3. <http://www.maritime-executive.com/article/us-japan-and-germany-join-australian-stealth-research>, Cavitation Research Laboratory/AMC
4. <http://www.vanzettiengineering.com>, Vanzetti Engineering - Cryogenic Technology
5. <http://www.chartindustries.com/Industry/Industry-Products/Bulk-Storage-Tanks>, Bulk Storage Tanks | Chart Industries
6. <http://www.praxair.com.mx>, Praxair, Inc.: Industrial Gases, Supply, Equipment & Services
7. <http://ventanasarousa.com/index.aspx>, Ventanas Arousa: Catálogo
8. <http://www.nature.com/articles/srep15850>, The Frenkel Line a direct experimental evidence for the new thermodynamic boundary
9. MPa, Richard B. Stewart, Richard T Jacobsen, 1988, Thermodynamic Properties of Argon from the Triple Point to 1200 K with Pressures to 1000, Center For Applied Thermodynamic Studies, Idaho United States of America
10. <http://webbook.nist.gov/chemistry>, Libro del Web de Química del NIST



## Reporte fotográfico de la evolución del sistema.



Se muestra una fotografía del área antes del inicio de la obra. Se puede apreciar la preparación para la cimentación. Del lado izquierdo el sistema original tapado y en operación.



Se aprecia en la fotografía de la izquierda el izaje de los tubos recibidores, instalándose de manera precisa en su anclaje. Del lado derecho el sistema terminado venteando argón líquido a través del pozo de drenado durante el periodo de la puesta a punto.



Fotografía de la preparación de los tubos, se instalaron etiquetas de la compañía y se está llevando a cabo el vacío de los tubos con un equipo de vacío móvil.



Cuadro de regulación preparado para consumo de argón en alta. Se aprecian dos trenes de regulación con válvulas de aguja CPV en bronce, válvulas de alivio de presión y manómetros de entrada y salida del regulador. Toda la línea de conducción es tubing de acero inoxidable (tubería de pared con la mínima rugosidad posible).



En ambas fotografías se aprecian las bombas Vanzetti, para el argón líquido, en la fotografía de la derecha se aprecia escarchado el exterior debido al cambio de temperatura en el interior de la bomba (debajo de los  $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Arriba se aprecia la línea de descarga y los conductos de señales eléctricas hacia las válvulas y actuadores.





Fotografía izquierda muestra el sistema listo y preparado para operar. A la derecha la zona de bombas y el pozo de venteo en operación para liberar producto después de operar.



En la fotografía se muestra un momento durante los ensayos realizados a los tubos recibidores. Se les realizaron pruebas de ultra sonido y de partículas magnéticas.

Fin del reporte

Miguel Ángel Inguanzo González

## Anexo 1

### A1.1 Qué es un gas

Se sabe que existen las sustancias puras: por definición son aquellas que presentan la misma composición en cualquiera de sus puntos. Dichas sustancias se pueden presentar en la naturaleza en diferentes fases, ya sea sólida, líquida o gaseosa.

En la fase sólida las moléculas de la sustancia tienen una posición fija entre ellas lo que genera patrones de acomodamiento. La cantidad de energía que posee cada una es relativamente baja. Y la fuerza de atracción entre las moléculas es muy alta. Aun cuando tienen una posición fija, las moléculas vibran entre ellas todo el tiempo.

En la fase líquida, las moléculas adquieren mayor energía, y aumentan su distanciamiento como resultado de la disminución de la fuerza de atracción entre ellas. Esta fase ya no tiene posiciones fijas para las moléculas y pierde por lo tanto la forma propia, adoptando la forma del contenedor.

En el caso particular de la fase gaseosa, no existe un orden molecular: el movimiento de las moléculas es aleatorio con colisiones continuas entre sí y contra las paredes del recipiente. En esta fase las moléculas poseen un nivel de energía mucho más alto que en la fase sólida o líquida. Por esta razón, antes de condensarse, un gas debe de liberar una gran cantidad de su energía.

Los gases son fluidos altamente compresibles, que experimentan grandes cambios de densidad con la presión y la temperatura. Las moléculas que constituyen un gas casi no son atraídas unas por otras, por lo que se mueven en el vacío a gran velocidad y muy separadas unas de otras

### A1.2 Gas comprimido

La CGA (por sus siglas en inglés, "Compressed Gas Association") define que se considera un gas a cualquier sustancia que esté en fase gaseosa a condiciones de presión entre cero y la presión atmosférica y temperatura entre cero absoluto y 26.7 °C<sup>2</sup>.

Partiendo de esta base, podemos definir a un gas comprimido, que será cualquier sustancia pura o mezcla que se encuentre almacenada en un recipiente a una presión absoluta mayor a las 2.76 bar a 21.1 °C. O también a cualquier material líquido que mantenga vapor a 2.76 bar absolutos a 37.8°C.

Dentro del ámbito de los gases comprimidos, se encuentran dos subcategorías que dependen de las condiciones físicas en un rango de presión y temperatura. Gas no licuado, más comúnmente llamados líquidos criogénicos: son aquellos que en el rango de temperaturas terrestres y a una presión menor a los 2500 psi se mantienen en fase gaseosa. Estos elementos tienen usualmente puntos de ebullición en temperaturas aproximadas de -100 °C. El segundo grupo son los gases licuados: y son aquellos que se vuelven líquidos entre 25 y 2500 psi y se caracterizan por tener puntos de ebullición en temperaturas cercanas a las atmosféricas.

---

<sup>2</sup> Página 5 Handbook of Compressed Gases

### A1.3 Aire

El aire es la mezcla de gases de la cual se compone la atmósfera en la tierra. Esta mezcla varía a lo largo del planeta y depende del punto específico en donde se muestree, pero conserva valores promedio a lo largo del planeta y se ha logrado llegar a valores estándar para su estudio.

Esta mezcla se conserva incolora en sus estados y no tiene ni olor ni sabor. Su uso va desde movimientos de sistemas neumáticos hasta uso médico para respiración. Sus características son que no es inflamable ni corrosivo cuando está seco. Esta mezcla de gases puede ser separada en sus compuestos. El método más común es mediante su licuefacción y posteriormente la destilación de sus elementos.

Su composición típica al nivel del mar es<sup>3</sup>:

<b>Componente</b>	<b>% mol</b>	<b>% masa</b>
<b>Nitrógeno</b>	78.084	75.5
<b>Oxígeno</b>	20.946	23.3
<b>Argón</b>	0.934	1.33
<b>Dióxido de carbono</b>	0.0334	0.045
<b>Neón</b>	0.001818	-
<b>Helio</b>	0.000524	-
<b>Metano</b>	0.0002	-
<b>Kriptón</b>	0.000114	-
<b>Óxido nítrico</b>	0.00005	-
<b>Xenón</b>	0.0000087	-

Se aclara que también el aire incluye cantidades muy variables de vapor de agua. Esta composición se mantiene constante hasta alturas de 21 000 m sobre el nivel del mar.

La CGA ha hecho una clasificación del aire por grados, mismos que especifican las cantidades máximas de contaminantes que puede tener la mezcla. El grado de algún aire se puede dar simplemente comprimiendo aire atmosférico. En otros casos es necesario mezclar nitrógeno con oxígeno para eliminar las demás trazas.

Del aire que respiramos, el nitrógeno no tiene ninguna función metabólica, pero sí es necesario para mantener el intercambio de oxígeno con dióxido de carbono a nivel alveolar. De no tener la concentración de nitrógeno adecuada, existe un colapso extremadamente doloroso y el intercambio en el pulmón no se lleva a cabo de manera correcta. Por esta razón cuando se sintetiza el aire de manera artificial para uso medicinal se utiliza una concentración standard entre 19.5 y 23.5 % mol de oxígeno con el balance en nitrógeno, ya que los demás gases no son necesarios para la anatomía humana.

---

<sup>3</sup> CGA HANDBOOK AIR PP 224.

## A1.4 Argón

El argón es un gas raro, pertenece a la familia de los gases inertes en la tabla periódica. Como se vio en el punto anterior se encuentra en proporción aproximada de 1 a 100 en el aire. Algunas de sus características son que es inoloro, incoloro insaboro y no es tóxico. Ya que es un gas inerte no genera ningún compuesto pues no es capaz de desarrollar enlaces atómicos.

Este elemento es usado para diversas tareas en la industria, yendo desde gas para lámparas incandescentes, gas de protección en soldadura y corte y atmósferas inertes para la fundición y fabricación de materiales.

Ya que este gas tiende a desplazar al oxígeno y su masa molecular es mayor, debe ser manejado con todas las precauciones necesarias para evitar riesgo de asfixia (ver hoja de seguridad de argón de Praxair). Así mismo el argón se almacena a alta presión en cilindros. Por esta razón también es importante manejarlo con las herramientas necesarias, pues los materiales comprimidos siempre representan un riesgo para la integridad. Es importante recordar que a mayor presión mayor cantidad de energía almacenada en el fluido.

### Métodos de extracción

El principal medio de obtención de este gas es la destilación fraccional mediante la licuefacción del aire atmosférico.

### Características del material<sup>4</sup>

Símbolo químico	Ar		
Masa molecular	39.95		
Densidad en gas	1.65	kg/m <sup>3</sup>	@ 21.1°C y 1 atm
Densidad en líquido	1394	kg/m <sup>3</sup>	@ punto ebullición y 1 atm
Punto de ebullición	-185.9	°C	@ 1 atm
Punto de fusión	-189.2	°C	@ 1 atm
Temperatura crítica	-122.3	°C	
Presión crítica	4905	kPa abs	
Densidad crítica	535.6	kg/m <sup>3</sup>	
Punto triple	-199.3	°C	@ 68.9 kPa abs
Calor latente de vaporización	162.3	kJ/kg	@ punto ebullición y 1 atm
Calor latente de fusión	29.6	kJ/kg	@ punto triple
Calor específico del gas Cp	0.523	kJ/kg°C	
Calor específico del gas Cv	0.314	kJ/kg°C	

Como se puede observar en la tabla anterior, el argón en cualquier condición climática es gaseoso en el planeta tierra. Por eso es que siempre se encuentra disuelto en el aire en concentraciones prácticamente iguales. También se debe destacar que para establecer el estado del material siempre es necesario fijar dos variables termodinámicas (presión y temperatura).

---

<sup>4</sup> CGA HANDBOOK PP253

A continuación se muestra un diagrama de fases del argón puro donde se aprecian todas las barreras termodinámicas

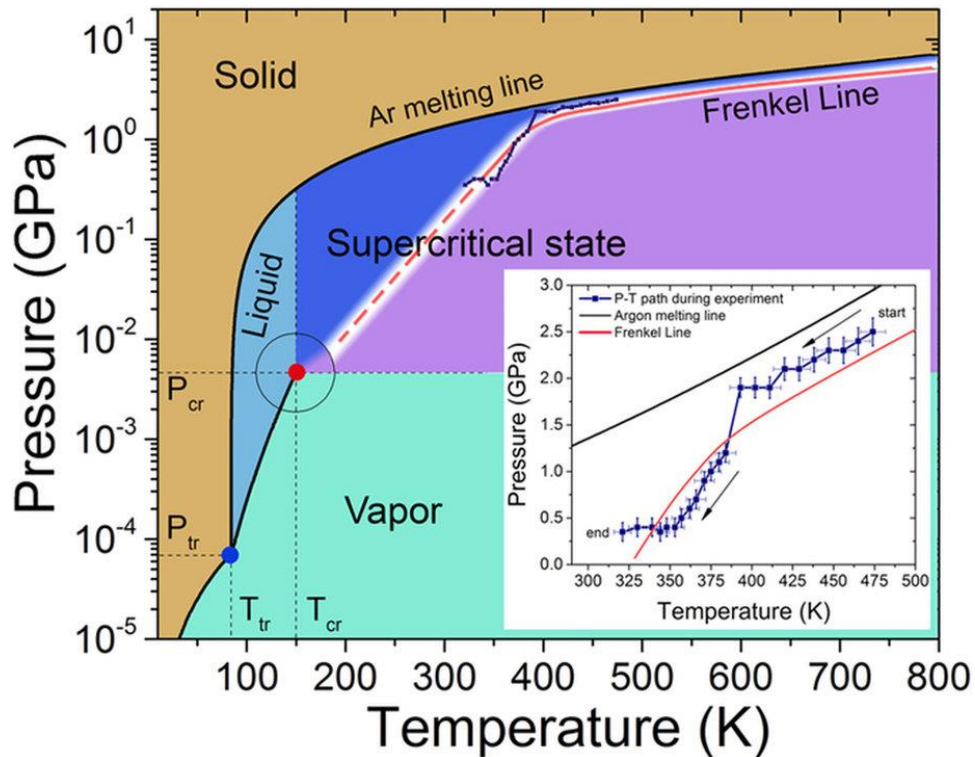


Diagrama de fases para el argón.

Como se puede apreciar en la figura anterior, el argón permanece gaseoso en cualquier condición atmosférica y se puede licuar a temperaturas muy bajas junto con presiones muy altas.

### A1.5 Separación del aire

Para poder obtener argón puro, nitrógeno puro u oxígeno puro, la manera más sencilla es mediante la separación del aire atmosférico, ya que como se mencionó con anterioridad, este último es una mezcla de los tres gases.

El método de separación utilizado actualmente por los productores de gases es el de destilación. Para ello, es preciso llevar a cabo diversas operaciones termodinámicas con el aire, para poder aprovechar las diferencias entre los puntos de ebullición de los gases.

### Vapour pressure curves of atmospheric gases

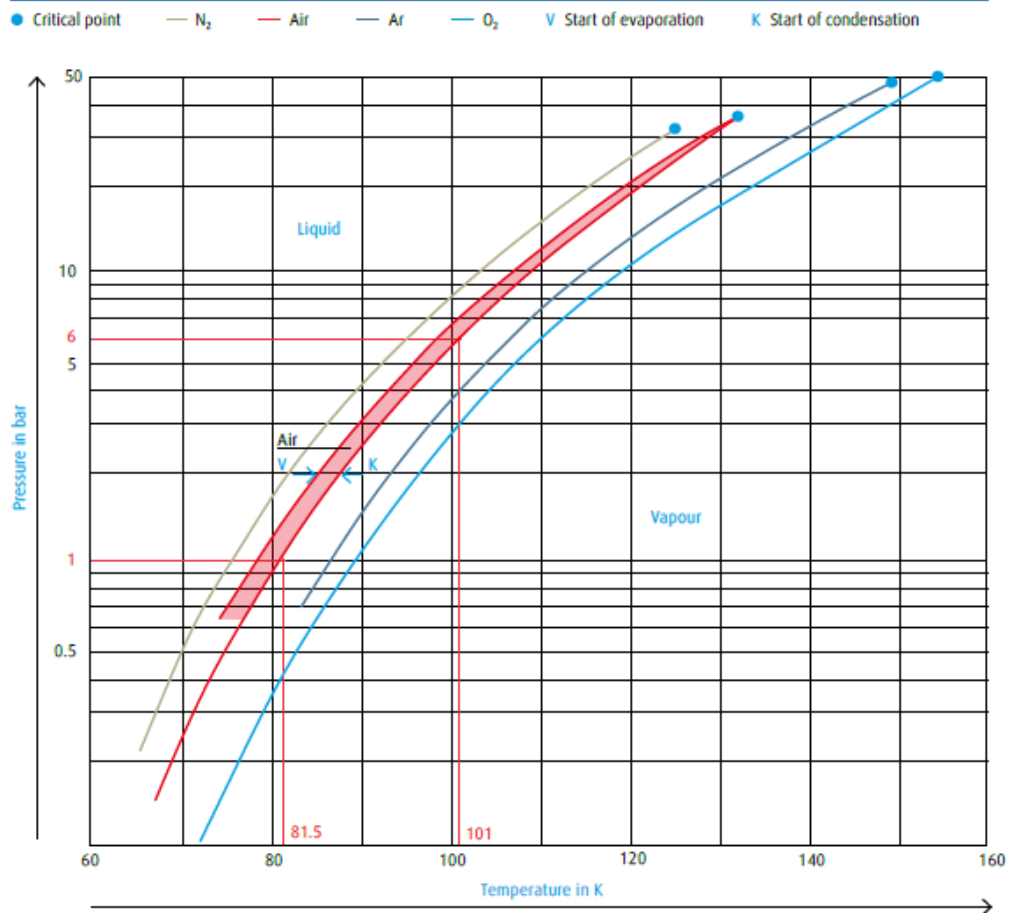


Tabla de estado de los componentes del aire presión contra temperatura<sup>5</sup>.

El primer paso en general es filtrar todas las impurezas con un filtro de malla, de tal manera que se libere el aire de partículas sólidas grandes, como polvo, insectos o cualquier sólido volátil. Posterior a esta previa etapa de acondicionamiento el aire se dirige a una etapa de compresión, generalmente hasta 6 bar. Aun después de su preparación, el aire sigue conteniendo diversas partículas y algunos compuestos disueltos.

El segundo paso es enfriar el aire ya comprimido: en la primera ocasión que se hace esto es en contacto directo con agua, aprovechando esta misma para que reaccione con los compuestos diluidos en el aire y se lleve todos los contaminantes (CO<sub>2</sub>, vapor de agua, hidrocarburos entre otros).

Posteriormente, ya sin contaminantes, se utiliza nitrógeno de desecho de pasos posteriores ya licuado para enfriar al aire casi hasta su punto de licuefacción.

Después de este punto se llevan a cabo diversas operaciones de compresión y enfriamiento mediante expansión del material, de tal manera que se logra separar por los puntos de fusión los

<sup>5</sup> Linde pp05



gases, manteniendo la temperatura con mucha exactitud para evitar la contaminación del gas evaporado con trazas del gas líquido. Para mayor claridad se muestra la composición del aire seco<sup>6</sup>.

Símbolo	Elemento	vol %	Punto de ebullición [°C]
N <sub>2</sub>	Nitrógeno	78.08	-195.8
O <sub>2</sub>	Oxígeno	20.95	-183
Ar	Argón	0.93	-185.9
He	Helio	0.005	268.9
Ne	Neón	0.0018	-246.1
Kr	Kriptón	0.00011	-153.2
Xe	Xenón	0.000009	-108

Finalmente, el argón, que por la cercanía de punto de ebullición que tiene con el oxígeno siempre queda con trazas, debe ser refinado. El oxígeno extraído del argón crudo es reinyectado en el proceso para su aprovechamiento.

### A1.6 Bombas criogénicas

A finales del siglo XIX y principios del XX se comenzaron los primeros avances en el manejo de gases licuados, empujando al desarrollo de todos los equipos necesarios para poder manejar los gases en esta fase: contenedores, válvulas, bombas, entre otros.

Una bomba es un equipo que se diseña para trabajar bajo condiciones extremas, pues en la parte interna trabaja con fluidos a temperaturas menores a 25 K y en el exterior está a temperatura ambiente. Este abismo de temperaturas lleva al líquido en el interior siempre al borde de la evaporación.

Las temperaturas tan bajas causan otro importante problema: cualquier lubricante a tales temperaturas se solidifica, perdiendo cualquier efectividad. Por esto se han desarrollado estos equipos para utilizar el mismo líquido criogénico como lubricante.

Juntando las dos afirmaciones mencionadas se llega a un punto crítico de la operación una bomba criogénica. Cuando el gas licuado se evapora, la bomba comienza a trabajar sin lubricación, desgastando todos los sellos y la cabeza del pistón abruptamente. La única manera de evitar este tipo de descomposturas es mantener un NPSH (Net Positive Suction Head, Altura positiva de aspiración) correcto (el fabricante de la bomba exige un valor), este varía dependiendo de las condiciones de bombeo, de almacenamiento del producto en tanque y del fluido que se está bombeando.

Por lo tanto durante el diseño de un sistema de bombeo se debe de calcular el NPSH disponible. Y supone el valor que existe en realidad que deberá ser igual o mayor al solicitado por el fabricante. A continuación se ejemplifica un cálculo para bomba de oxígeno líquido (Sólo como ejemplo para el presente trabajo).

---

<sup>6</sup> LINDE pp4

Cálculo de aumento de presión para cumplir el NPSH solicitado:

NPSH solicitado = 3 m

Fluido bombeado O<sub>2</sub> líquido

Peso específico = 1.14 kg/dm<sup>3</sup>

$$NPSH\ disponible = \frac{(Peso\ específico)(NPSH\ solicitado)}{10}$$

$$NPSH\ disponible = \frac{(1.14\ kg/dm^3)(3m)}{10}$$

$$NPSH\ disponible = 0.342\ bar$$

Exceso de presión medido = 1.1 bar

Presión barométrica del sitio = 1.013 bar

Presión absoluta = 2.11 bar

Temperatura de líquido = -175 °C

Con estos valores se verifica en tablas de valores del oxígeno que para esta temperatura y presión se requiere aumentar en 0.342 bar la presión para asegurar la fase líquida del oxígeno. Por lo que el operador o proveedor de gas debe garantizar que la presión absoluta en el tanque sea de 2.11 bar + 0.352 bar = 2.452 bar. De este modo se evita la cavitación del gas.

Las bombas que se usan en el caso de estudio fueron de desplazamiento positivo. Es importante destacar que hay diferencia entre el flujo volumétrico (lts/min) y flujo másico (kg/min). Este último depende de dos variables, el flujo volumétrico de la bomba y el fluido para el cual se está utilizando el equipo.

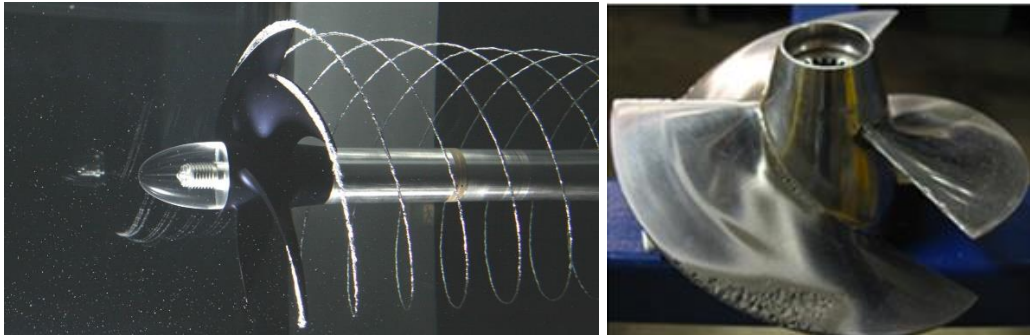
### A1.7 Cavitación

Por cavitación se entiende la generación de burbujas de vapor en un líquido como consecuencia de fuerzas que actúan sobre el mismo. Generalmente se presenta cuando existen cambios de presión abruptos.

La sustancia en fase gaseosa aumenta su volumen considerablemente. Esto lleva a una reducción instantánea de la presión en el punto específico de la burbuja. Pero justo después de su formación el espacio de baja presión es vencido por el líquido a mucha mayor presión, causando ondas por el impacto tanto en las paredes del recipiente como en el líquido.

Como resultado del colapso de la burbuja se pueden liberar instantáneamente y localmente temperaturas muy altas y presiones de impacto también muy altas en la superficie del material. Esto causa un grave deterioro en muchos sistemas diseñados para el flujo de líquidos.

A continuación se presenta una imagen ilustrativa de la cavitación en agua para un rotor propulsor de una embarcación. Este banco de pruebas se realizó por el centro de investigación de la universidad australiana marítima



Ejemplo de cavitación en rotor propulsor de embarcación<sup>7</sup>.

En el caso particular de las bombas se presenta en dos formas:

Cavitación durante la succión:

Durante la fase de succión se genera una baja presión (presión de alto vacío); en este punto el líquido entra en un estado del diagrama de fases en el que se evapora. Las burbujas generadas se conservan hasta la fase de compresión. Durante la compresión, la burbuja se destruye súbitamente causando impactos sobre la superficie interna de la bomba. En algunos casos el impacto causa deterioro del material que termina por generar un desgaste prematuro.

Cavitación durante la descarga:

Se presenta cuando la presión de descarga es extremadamente alta. Esto genera que el fluido circule dentro de la bomba en vez de ser descargado a tiempo. Entonces se generan zonas de recirculación donde el área de paso es muy pequeña. Por naturaleza en la alta velocidad del flujo se genera un efecto Venturi, disminuyendo la presión en la pared de la bomba y generando burbujas por el vacío.

---

<sup>7</sup> Credit: Cavitation Research Laboratory/AMC, By MarEx 2016-01-12 16:42:40, <http://www.maritime-executive.com/article/us-japan-and-germany-join-australian-stealth-research>

## Anexo 2 Descripción del sistema paso a paso

### A2.1 Almacenamiento de argón líquido

Para que el sistema funcione necesita suministro de argón continuo. Para esto se instala un tanque de 3,000 galones para almacenar ese volumen de argón líquido. Para poder conservar esta fase en el material, es necesario que el argón se encuentre a una temperatura de  $-185^{\circ}\text{C}$ .

La temperatura se logra mantener tendiendo dos tanques: el que contiene el argón (fabricado en acero inoxidable) y un tanque exterior, cuya función es mantener un aislamiento (hecho con ferrita) y vacío, manteniendo una tasa de evaporación de máximo 2% del producto diario para condiciones extremas de temperatura.

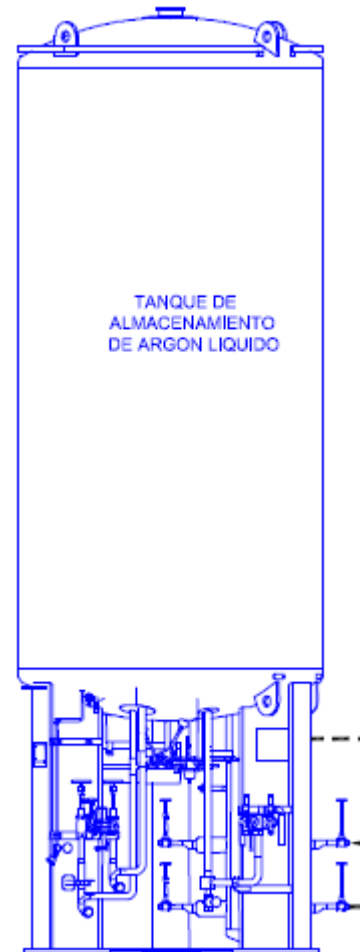
Para evitar que exista algún problema con la expansión del argón al evaporarse, se tiene un sistema de alivio de presión automático. Dos válvulas están instaladas para abrirse automáticamente a las 250 psi, evitando que por falta de uso se acumule una presión excesiva que pueda causar fugas o inclusive una ruptura abrupta del tanque. En caso de que exista una falla en estas válvulas, el tanque tiene un disco de ruptura que está calibrado a 300 psi. Este dispositivo se romperá liberando todo el producto si se llega a una presión crítica.

En la parte inferior, el tanque tiene un sistema de control de la presión mínima, mediante el cual puede circular argón líquido por un vaporizador para elevar la presión. Esto se utiliza para que el tanque se mantenga a una presión mínima (ejemplo 150 psi) independientemente del consumo que se tenga de producto.

Finalmente, cuenta con tres diferentes tomas de producto, una para tomar argón de la fase de gas. Esta toma nos permite consumir el producto que se encuentra en la cámara de gas (parte superior del tanque). La segunda nos permite tomar argón de la fase líquida en volúmenes bajos y a su vez, cuando la presión del tanque aumenta, toma producto de la fase gaseosa. Y finalmente la de alto flujo de líquido. Esta toma no se conecta con la cámara de gas y sólo puede suministrar líquido. Esta última fue la que se utilizó en este proyecto.

#### Válvulas de esfera con servos

Se instalaron en el sistema válvulas de control con servos activados por presión neumática. Estas controlan tanto la apertura para la succión de cada bomba (se cuenta con dos unidades) como el retorno de las mismas (más adelante se detalla este punto) y finalmente las dos de venteo de las líneas. Estas son instaladas para liberar el producto que quede atrapado en las líneas de suministro al final del bombeo. Esta acción permite que cuando el argón líquido se evapore dentro de la línea sin salida no aumente la presión a un valor peligroso.



1 Tanque de almacenamiento típico

## A2.2 Bombas Vanzetti

Equipos italianos de cabeza aislada para bombear líquido criogénico. Estos equipos están fabricados en acero inoxidable y se dividen en dos partes para su referencia. La parte fría de la bomba (pistón camisa y cabeza) denominada así porque es la que está en contacto con el líquido criogénico y la parte caliente (cigüeñal, biela y motor) denominada así para diferenciarlos ya que son la parte que se encuentra a temperatura ambiente.

La bomba es capaz de bombear hasta 10.2 litros por minuto, su máxima presión de bombeo es hasta 300 bar, pero su presión de bombeo promedio es 250 bar. Su NPSH es de 0.2 Bar (este valor se refiere a la mínima presión en la succión a la cual puede operar sin cavitarse).

La cavitación es el fenómeno que se presenta al succionar un líquido en movimiento. Se caracteriza por formar burbujas del líquido en movimiento. Esto siempre va acompañado de vibraciones, ruidos y daños a los equipos. En el caso de los líquidos criogénicos no es un fenómeno tan grave como en el agua. Aun así, la bomba no tiene lubricación y ocupa el argón como medio de lubricación, al cavitarse disminuye la misma y se eleva la temperatura causando daños irreversibles en el equipo.

Gracias a que el tanque siempre se mantiene a una presión mínima, es fácil conservar la NPSH de 0.2 bar mezclando la presión que ejerce la columna de argón líquido junto con la presión de la fase gaseosa dentro del contenedor. Después de llevar a cabo numerosas pruebas, se concluyó que lo más seguro para la operación de los equipos sería mantener el nivel del tanque por encima del 45%.

Por la posible cavitación y calentamiento por la compresión en la cabeza de la bomba, es normal que se generen burbujas de vapor de argón saturado. Para ellas, la bomba cuenta con una salida de retorno al tanque. Mientras la bomba está trabajando la succión y el retorno deben estar totalmente abiertos para que la bomba tenga siempre una recirculación de gas y se mantenga con líquido subenfriado.

A continuación se muestra un diagrama con las principales partes de una bomba criogénica:

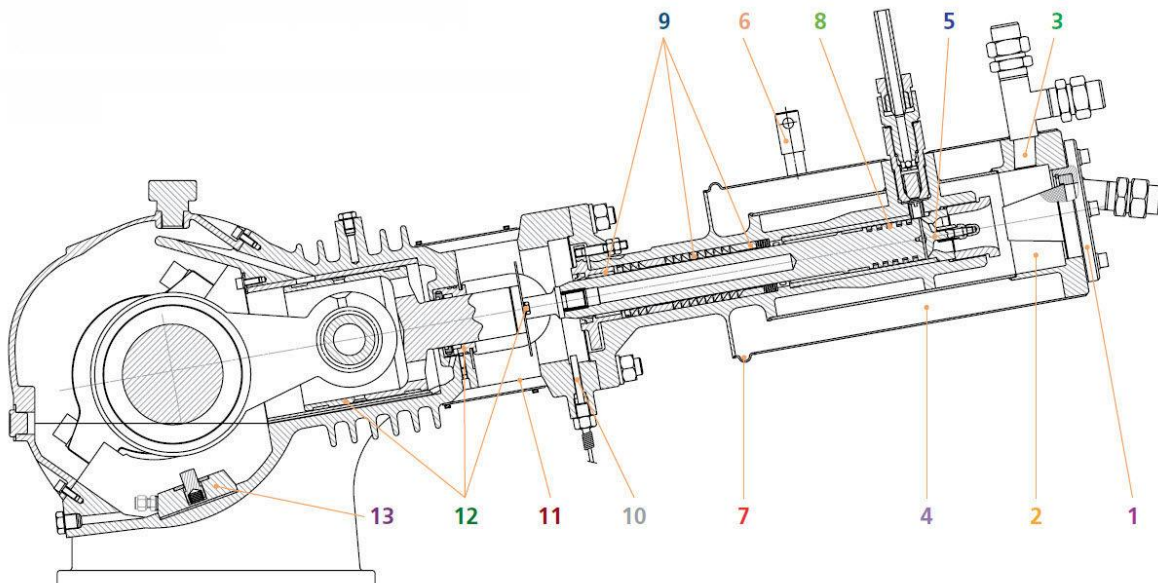


Diagrama típico de una bomba de pistón criogénica Catálogo Cryostar <http://www.cryostar.com/>

Conceptos en el diagrama			
1	Cámara de succión menor	8	Anillos de sello para el pistón
2	Cámara de succión mayor	9	Sello para pistón
3	Sistema de desgasificación	10	Detector de fugas
4	Volumen de vacío	11	Acceso para revisiones
5	Válvula de succión	12	sección de caliente de la bomba
6	Conexión para vacío	13	Lubricación de parte caliente
7	Junta de expansión y contracción térmica		

### A2.3 Vaporizador ambiental

Equipo encargado de llevar el líquido presurizado a fase de gas. Básicamente es un intercambiador de calor de tubo aletado que interactúa con el aire del ambiente, tomando energía del ambiente y evaporando el argón. Este equipo se dimensiona con base en los catálogos del fabricante ingresando solamente el volumen máximo de bombeo que tiene el sistema. Es extremadamente peligroso que pasando el vaporizador llegue a existir argón líquido, pues todas las válvulas, accesorios y tubería posteriores no están diseñados para eso. Para evitar que el sistema pueda llegar a ser riesgoso, Praxair exige que se tome en cuenta la situación más crítica, que es la temperatura más baja del medio ambiente en la ubicación geográfica del sitio donde se instale el equipo y ambas bombas trabajando a su máxima capacidad sin detenerse.

Es importante mencionar que la humedad de la atmósfera genera una condensación de agua en la superficie de las aletas del equipo, que, por la temperatura de operación se congela, generando un bloque de hielo que disminuye la eficiencia de este equipo. Afortunadamente, el fabricante toma este efecto en cuenta y diseña los equipos garantizando el flujo en un estado estacionario en el cual ya no se generará más hielo sin importar el tiempo de operación.



Vaporizador Thermax

### A2.4 Recibidores de argón (Gas)

Estos equipos son los encargados de conservar el argón en condiciones para suministro al proceso del cliente. La condición de operación es 80 bar en la red, por lo que el tubo receptor se calculó para operar entre una presión de 248 y 140 bar. Se dividió el almacenamiento en dos bancos, cada uno de tres tubos. El fabricante, FIBA, diseña los tubos para ciclos infinitos de fatiga pudiendo ser llenados sin arriesgar el sistema tantas veces como sea necesario.



Ensayo de partículas magnéticas en receptor 5



La Secretaría de Trabajo y Previsión Social exige que se lleven a cabo ensayos no destructivos de acuerdo a la NOM 020 de la STPS cada 10 años de servicio. Estos ensayos tienen como finalidad comprobar que los tubos siguen siendo confiables para su operación por un tiempo de 10 años más.

El banco inferior tiene 3 tubos iguales, cada uno con un volumen hidráulico de  $1.30 \text{ m}^3$ , que con argón a 248 bar equivale a  $423 \text{ m}^3$  de argón en condiciones standard. El banco superior se compuso de dos tubos iguales a los del inferior y un tercero con volumen de  $0.81 \text{ m}^3$ , lo cual dio un total de  $370 \text{ M}^3$  de argón almacenados en condiciones estándar.

El ensamble llegó a México realizado en su totalidad. Los tubos llegan a 1 bar de presión manométrica con nitrógeno en su interior. Fue necesario realizar 6 vacíos a 20 mmhg absolutos y llenar hasta 0.5 bares manométricos de argón de alta pureza. Esto con el objetivo de medir la pureza del argón al final y obtener la pureza adecuada sin contaminantes de nitrógeno, pues a temperaturas superiores a  $800^\circ\text{C}$  el nitrógeno puede llevar a cabo reacciones con el carburo de tungsteno y disminuir la calidad de las piezas producidas.

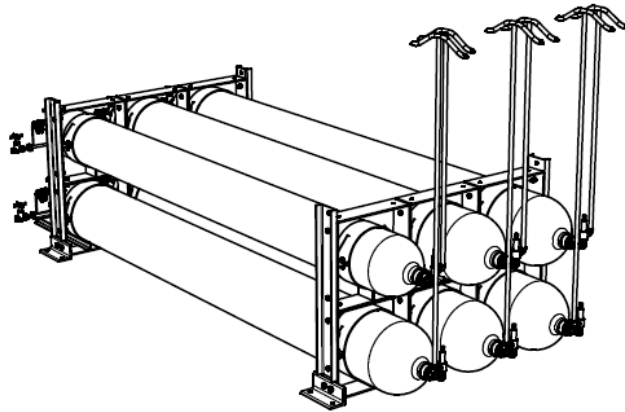


Diagrama de banco de recipientes instalado.

Cada tubo cuenta con una válvula de alivio de presión que se canaliza a un tubo de venteo a tres metros de altura. Esta válvula está calibrada a 280 bares; en caso de una presión superior a la de diseño estas válvulas abrirán hasta liberar producto y llegar a 220 bares. Esto mantiene la integridad de los tubos manteniéndolos seguros ante una falla en los sensores de presión automatizados.

### A2.5 Cuadro de regulación de alta presión

Este cuadro está diseñado para disminuir la presión que se tiene en los tubos recipientes y enviar solamente la presión adecuada a la red del proceso del cliente. Los puntos más importantes que se consideraron fueron el flujo, la presión de operación y la operación ininterrumpida. Se diseñó un arreglo de regulación con dos reguladores para alto flujo y presión, que mantienen la presión constante en el punto de salida constante. En caso de que por aumento de temperatura o por condiciones arriba del regulador la presión aumente, está equipado con un sistema de alivio que mantendrá siempre la presión ajustada con la mariposa.



Cuadro de regulación de alta

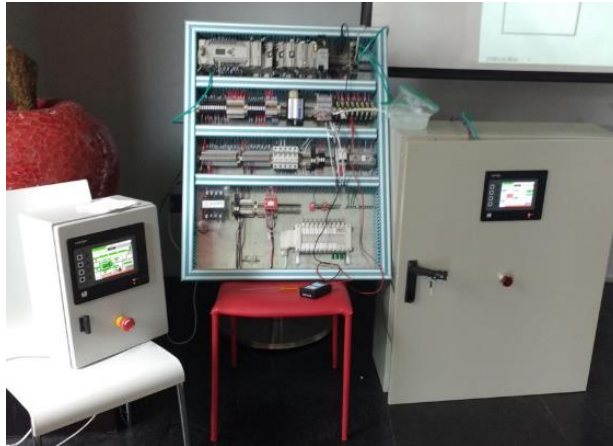
Las válvulas instaladas fueron de aguja, lubricadas con aceite en la cuerda y con asiento de bronce (base donde descansa el émbolo de la válvula al cerrar, con esto se garantiza el sello). Estas válvulas permiten una fácil manipulación aun cuando la presión en la línea sea de 280 bares. Se instalaron adicional manómetros en la entrada y salida del regulador para indicar la presión y tener un punto de lectura para su fácil puesta a punto.

Las válvulas instaladas fueron de aguja, lubricadas con aceite en la cuerda y con asiento de bronce (base donde descansa el émbolo de la válvula al cerrar, con esto se garantiza el sello). Estas válvulas permiten una fácil manipulación aun cuando la presión en la línea sea de 280 bares. Se instalaron adicional manómetros en la entrada y salida del regulador para indicar la presión y tener un punto de lectura para su fácil puesta a punto.

## A2.6 Sistema de control (PLC)

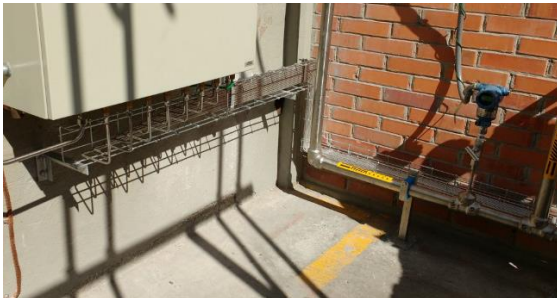
Este equipo no está en un punto específico dentro del sistema de suministro, ya que controla todo a lo largo del mismo. Es el encargado de enviar las órdenes a las válvulas, tanques, bombas, motores y todos los demás equipos de cuándo ejecutar y cuándo no.

Está equipado con un módulo PLC Allen Bradley, dos módulos de entradas digitales, dos módulos de salidas digitales, un modem para salida GSM de mensajes, una HMI (Interface de interacción humana por sus siglas en inglés) o pantalla táctil y todos los controles neumáticos para las válvulas. El equipo se adquirió ensamblado e instalado a la compañía Apocalipsis del Efeso, misma que se dedica al diseño, ensamble e instalación de sistemas de control especializados.

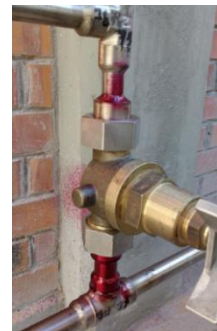


Finalmente se puede comentar que todos los equipos previamente mencionados están conectados entre sí con tubería y accesorios de acero inoxidable. La tubería fue “*tubbing*” de acero inoxidable (tubo de acero inoxidable sin rugosidad en sus paredes interiores) ya que por su acabado interior es necesario para mantener la pureza del gas y no generar puntos de acumulación de humedad o contaminantes.

Todos los accesorios fueron soldados con soldadura TIG (Por las siglas en inglés de Tungsten Inert Gas, gas inerte con tungsteno) de acero inoxidable y se llevaron a cabo pruebas de líquidos penetrantes en cada unión para confirmar que la calidad no comprometería la integridad de la tubería.



Finalmente al terminar el ensamble de toda la tubería se llevó a cabo una prueba hidrostática en las líneas que llevarían presión mayor a los 100 Bares y pruebas neumáticas en las líneas que llevan menos de 100 bar. Al haber terminado esta última prueba se inició un proceso de barrido de gas y agua en la tubería con argón de



alta pureza durante dos días para garantizar la calidad.

Antes de la puesta en marcha del sistema se comprobó la pureza del gas. Al ser exitosa se arrancó el primer llenado de la cama de recipientes con éxito y el sistema se entregó para uso del cliente.



## Anexo 3 Distribución y manejo de los productos

Praxair maneja diferentes métodos de suministro, estos se relacionan directamente con el volumen de consumo del cliente y la distancia al punto más cercano de producción. Para la compañía la confiabilidad y seguridad son las dos principales directrices que llevan a la selección del tipo de suministro para un nuevo cliente.

Confiabilidad: Suministro continuo de gases, 24 x 365

Praxair está comprometido a mantener un suministro confiable de gases. Para ello Praxair México tiene 34 plantas de producción estratégicamente localizadas en los mayores mercados regionales. El beneficio para los clientes es la habilidad para desplazar producto, maximizando nuestra flexibilidad de suministro para satisfacer las cambiantes condiciones de mercado y los requerimientos de nuestros clientes.

Lo primero es manejar de manera segura el producto, por lo que si algún sistema de suministro genera un riesgo fuera de lo normal por las condiciones del sitio, se busca otra manera de entregar el producto sin que esta ponga en riesgo la integridad de la operación del cliente.



Instalación de gases criogénicos de Praxair

### A 3.1 Entrega en cilindros

Para aplicaciones pequeñas, más especializadas, existe una completa línea de cilindros de gas de alta presión y contenedores de líquidos. Estos son sujetos a las más altas inspecciones y control de calidad para asegurar que el contenedor será seguro e íntegro durante el tiempo en que este se encuentre en las instalaciones del cliente.

Estos son entregados a través de una red de rutas de camiones especializados que cuentan con rampas hidráulicas y pallets (bases para movilizar 20 cilindros amarrados en una sola maniobra con montacargas) que permiten un correcto manejo de los cilindros durante el traslado y la descarga en el sitio del cliente. Así mismo, los operadores de los camiones son capacitados en todos los rubros. Se cuentan con cursos de manejo seguro y defensivo y también con cursos para el correcto manejo de los cilindros.



Ejemplo de vehículo de distribución cargando en la planta de la compañía.



Ejemplo de vehículo de distribución entregando en las instalaciones del cliente (Se observa contenedor de oxígeno líquido portátil en la rampa hidráulica).

### A3.2 Distribución de gas líquido (Bulk)

La capacidad de distribución de Praxair México está demostrada por una flota de más de 450 unidades, entre tracto camiones, pipas y dollies (equipo para conectar dos remolques y hacer un tráiler doble remolque). Todas las unidades de distribución están equipadas con modernos sistemas, como GPS, que permiten monitorear en tiempo real el lugar donde se encuentran y el horario en el cual el producto será suministrado a cada uno de los clientes.

Sistemas co-piloto instalados en cada unidad, alertan al conductor en caso de cualquier desviación a los parámetros de conducción profesional, como: velocidad de cruce, restricciones por tipo de carretera, cantidad de horas manejando, entre otros. Junto con conductores que han sido premiados por 3 años consecutivos como “Mejor en su Clase” en la categoría de transporte de materiales peligrosos, distinción hecha por la Asociación Nacional de Transporte Privado (ANTP), confirmando la calidad de personal y la confiabilidad y seguridad que ofrece al mercado.



Pipa transportando gases líquidos con sistema de telemetría.

Aunado a lo anterior, se ha implementado recientemente un sistema de telemetría remota y suministro automático de recarga de los tanques que garantiza un suministro confiable, a prueba de errores.

Praxair tiene una manera sencilla, cómoda y sin preocupaciones para dar seguimiento de los niveles de los líquidos criogénicos en los tanques de almacenamiento, liberando a su personal del tiempo y el costo de tomar constantes lecturas manuales.

El Sistema de Telemetría le proporciona un enlace a toda hora con el Centro de Logística de Praxair. Al transmitir la información de sus inventarios vía electrónica, utilizando el sistema de telemetría, Praxair puede:

- Programar entregas de manera automática.
- Dar un seguimiento constante a su nivel de inventario.
- Mantener un historial reciente de las lecturas de niveles.
- Proporcionar acceso para monitorear los niveles de inventario.



Web Based Monitoring Indicator.

El sistema utiliza la última tecnología “máquina-a-máquina” (M2M) para monitorear electrónicamente y reportar de forma automática los niveles de sus tanques de almacenamiento a Praxair. La unidad de telemetría remota es esencialmente un medidor electrónico equipado con telemetría. Esta unidad monitorea los niveles de inventario del tanque mediante el uso de una línea telefónica o de servicio celular.

### Importancia de la distribución de los gases

A pesar de que el ramo de los gases no es claramente apreciado por la sociedad, el manejo de estos y su distribución es indispensable para el funcionamiento de nuestro estilo de vida tal y como lo conocemos. La presencia de estos productos abarca cualquier ramo productivo, desde la fabricación de alimentos y bebidas para consumo humano hasta la manufactura de automóviles e instrumentos de cocina.

Como ya se mencionó con anterioridad, los gases se distribuyen ya sea envasados en bajo volumen (cilindros) y para usos que abarcan una pequeña cantidad de los mismos, hasta en tanques del gas licuado. Que como se ha estado explicando, por sus características físicas ocupa menor espacio para su almacenamiento.

Un pleno ejemplo de la diferencia de estos productos es en el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para el carbonatado de bebidas en restaurantes. En los casos en que se tiene un solo restaurante se suministra un pequeño cilindro que se llama postmix, el cual contiene 5 kg del producto. Para plazas comerciales en las que se encuentra más de un restaurante, se instala un tanque de líquido

criogénico en sitio que a través de una red de tubería distribuye el producto a los diferentes restaurantes. Cabe aclarar que la unidad de medida en el CO<sub>2</sub> es kilogramos ya que a la presión envasada, este gas se licúa por naturaleza y al coexistir ambas fases en el interior del cilindro es irrelevante la presión del gas, que se mantiene constante mientras exista un volumen de líquido sin consumo en el cilindro.

Otro ejemplo en el cual el gas es un producto indispensable es la presencia de oxígeno en los hospitales. Este gas se utiliza como soporte de vida para pacientes que han sufrido daños o inhabilitación parcial de su sistema respiratorio. En este caso el gas debe llevar un proceso de envasado mucho más estricto, ya que por ser avalado para consumo humano este debe de seguir los estándares de la Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) y las plantas que lo envasan debe estar certificadas en buenas prácticas de fabricación por ser considerado un medicamento.



Colector de cilindros medicinales con conectores dañados (debido al riesgo que implica para el usuario se ocupa lo menos posible).

Se repite la situación nuevamente, en pequeñas clínicas y hospitales de menor tamaño: se instala un colector de varios cilindros al cual se conectan cilindros de gas a alta presión. Dichos equipos están regidos por la NOM – 020 (Norma Oficial Mexicana número 20 correspondiente a recipientes sujetos a presión) en la cual se especifican los dispositivos de seguridad que deben de tener los equipos al instalarse.

Como ya se mencionó en la parte superior de este documento, este método de suministro es más riesgoso por la intervención de personal en su conexión y uso. Para evitar accidentes, la compañía se encarga de impartir cursos de seguridad anuales con los clientes para mantener siempre a su personal a la vanguardia, así como también se ocupa de revisar las instalaciones. En el caso del ejemplo de la imagen anterior se puede ver el tubo que conecta al cilindro doblado de manera incorrecta. Este debió ser en forma de resorte espiral. Pero el personal del cliente lo dañó poniendo el riesgo la seguridad de la operación. Se cotizó y recomendó el cambio de la pieza para cada puerto del colector.

Para los casos en los que el hospital tiene un mayor tamaño se instalan tanques de líquido criogénico para tener un mayor volumen envasado y con un menor riesgo para los usuarios. Estos tanques tienen equipos de medición remota y la carga la debe hacer un personal altamente capacitado por

Praxair, ya que requiere de un procedimiento claro para evitar obviar algún riesgo latente y caer en un accidente.



Ejemplo de tanques estacionarios de oxígeno líquido y llenado con pipa de oxígeno líquido.

Como se puede ver en los últimos dos ejemplos, el gas es un insumo indispensable para el funcionamiento de la sociedad. Probablemente no sea directo para el consumidor final, pero el producto no tiene forma de completarse sin el gas.

### Otros usos del argón

En el caso particular del argón, es un producto que se usa principalmente para consumo en manufactura industrial de piezas de metal. Principalmente para atmósferas inertes, ya que como se mencionó antes, este material no puede generar enlaces químicos con ningún elemento por tener su último nivel de electrones completo. Esto lo hace el material ideal para cubrir y proteger a cualquier metal que al ser calentado se vuelve vulnerable a reacciones químicas con el aire.

Se utiliza, por ejemplo, para soldadura GMAW (Gas metal arc welding) que principalmente funciona con un electrodo continuo en forma de alambre que entre la pieza soldada y el electrodo cierran un circuito con gran cantidad de corriente eléctrica. Con el efecto Joule se calientan ambos en el punto de contacto (punto de mayor resistencia) y funden los materiales para unirse. Así es como se fabrican prácticamente todas las uniones metálicas en la industria. Adicionalmente, se ha notado que el argón se ioniza a la temperatura del arco y se vuelve un conductor de la electricidad, por lo que aun cuando el electrodo se funde, la continuidad del circuito se garantiza a través del gas.



A continuación se muestra una imagen de un soldador de acero inoxidable, en este caso la mezcla es argón con poco nitrógeno y oxígeno. Con estos elementos aleantes se mantiene estable el arco de soldadura y se logra una correcta penetración con la pieza para tener una unión correcta.



Soldador de la industria mueblera trabajando SS GMAW

Las temperaturas a las que llega el arco de soldadura con el metal fundido son superiores a los  $950^{\circ}\text{C}$  todo el tiempo, a esta temperatura el acero tiende a reaccionar con el aire generando inclusiones de nitrógeno en las piezas y burbujas en el interior de óxidos de hierro que causan debilidad en la unión. Para evitarlo se ocupa como ayuda el argón para mantener alejado el aire. En algunos casos se agregan elementos al gas como bióxido de carbono e hidrógeno con la finalidad de mantener el arco eléctrico más estable y con mejores propiedades para generar una soldadura de mayor calidad.



Central de mezcla de gases para fabricación de tanques de gas LP

El argón como aislante térmico

En el caso de la construcción también está presente. Algunas compañías de vidrio fabrican ventanas de doble hoja. Esto es para que en lugares con temperaturas extremas se disminuya la transferencia de calor entre el interior y el exterior de la construcción.

Se aprovechan sus propiedades térmicas y de densidad llenando el compartimiento con argón gaseoso. Esto llega a reducir hasta en 0.2 [W/m<sup>2</sup>K] el flujo energético, ahorrando mucho dinero en calefacción y aire acondicionado a las compañías de edificios corporativos.

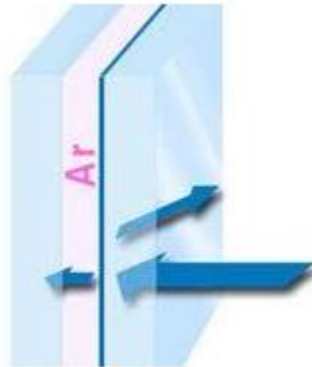


Imagen obtenida de: <http://ventanasarousa.com/index.aspx> reflejo de la energía en la ventana

Argón como elemento médico para cirugías:

El argón también es utilizado para cirugías con catéter. Por sus propiedades y facilidad para ionizar se ocupa como medio para conducir energía hasta la herida del paciente cauterizando la zona haciendo el menor daño posible alrededor de la zona de interés.

La electrocirugía es otro de los campos en los que se utiliza el argón. Existe un electrodo que envía energía a los tejidos, pero en vez de hacerlo en un acto eléctrico, como la electrocirugía convencional, se hace ionizando una columna de gas directamente a los tejidos.

Este sistema de movilización de energía ha producido un avance clínico muy significativo. La columna dinámica de argón (gracias al flujo continuo del gas) mueve cualquier resto de sangre acumulada fuera de la zona de hemorragia, reduciendo así la formación de capas de costra que pueda flotar en la zona. La coagulación resultante es entonces más segura y menos propensa a complicaciones a futuro, siendo fina y maleable y se logra anclar con seguridad a los tejidos previamente escogidos con un mínimo daño térmico a tejidos adyacentes.



Columna de argón ionizado

El argón como Gas para focos

Finalmente como ya es muy conocido, otro uso de este maravilloso gas es para la fabricación de bombillas incandescentes. Existe una variedad de focos que se llenan con argón para disminuir la tasa de evaporación del filamento por sus propiedades inertes, el filamento permanece mayor tiempo en buen estado aún con el calentamiento presente. La luz es emanada por el metal caliente y la energía para calentarlo proviene del efecto de Joule.

Como conclusión existen incontables aplicaciones para este producto; depende de la creatividad de los ingenieros y la excelente relación entre precio, disponibilidad y propiedades del argón que conjuntan uno de los elementos gaseosos más usados en la industria.