

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**ANÁLISIS DE RIESGOS**  
**TERMINAL DE GNL QUINTERO**

**ÁREA DE ALMACENAMIENTO Y REGASIFICACIÓN**

Alumno: Marcela Briones Durán

Profesores: José Tórres Titus  
Jorge Santana Cardo

**Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería**

**Mención Ingeniería Química**

**2008**

*A Javito....*

## RESUMEN

Las operaciones realizadas con gas natural, tales como el almacenamiento y regasificación llevan consigo un riesgo inherente al carácter extremadamente inflamable del gas natural, de manera que cualquier fuga o escape puede desencadenar un incendio o la generación de una nube inflamable.

Estos riesgos exigen que las plantas de GNL adopten estrictos criterios, tanto en el diseño de las instalaciones y equipos, como en la adopción de medidas de seguridad. Las medidas de seguridad más adecuadas a adoptar en las instalaciones se derivarán de la elaboración de un análisis de riesgos específico de las mismas, análisis que pueden ser desarrollados apoyándose en diferentes metodologías tales como las *Check List*, *What-If / Check List*, FMEA (*Failure Modes and Effects Análisis*) y HAZOP entre otras

Durante el presente trabajo se realiza el análisis de riesgos para una planta regasificadora de GNL mediante metodología HAZOP. Para el desarrollo de este análisis se entrega en primer lugar una descripción detallada de la planta para continuar con una breve descripción de la metodología de análisis de riesgos a utilizar.

Finalmente, una vez desarrollado el análisis de riesgos para las secciones más relevantes de la planta (Capítulo 5), se presenta en el capítulo 7, un resumen de las medidas o recomendaciones de mejora que debiesen ser consideradas durante la construcción y operación de la planta.

# INDICE DE CONTENIDOS

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1	Antecedentes del proyecto a estudiar	1
1.2	Localización de la planta de regasificación	2
1.3	¿Por qué GNL?	2
<b>2.</b>	<b>ANTECEDENTES GENERALES</b>	<b>4</b>
2.1	Historia del Gas Natural	4
2.2	Propiedades del Gas Natural Licuado	4
2.3	Cadena Integrada del gas natural licuado	5
2.4	Mercado Internacional del Gas Natural Licuado	9
2.4.1	Reservas Mundiales de Gas Natural Licuado	9
2.4.2	Países Consumidores de Gas Natural	10
2.4.3	Comercio Internacional	10
2.5	Incidentes relacionados	11
2.5.1	Cleveland, Ohio, 1944	12
2.5.2	Staten Island, New York, Febrero de 1973	12
2.5.3	Cove Point, Maryland, Octubre de 1979	13
<b>3.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA</b>	<b>15</b>
3.1	Principales instalaciones de la planta	15
3.2	Muelle de descarga	17

3.3	Cabezo de gas Natural	17
3.3.1	Brazo de descarga de GNL y retorno de GN	18
3.3.1	Tuberías de descarga de GNL	19
3.4	Estanques de Almacenamiento	20
3.5	Planta de Regasificación	24
3.5.1	Recondensador	25
3.5.2	Regasificadores de panel abierto	26
3.5.3	Regasificadores de Combustión sumergida	29
3.6	Plataformas de servicio	31
3.6.1	Captación de agua de mar para sistema de regasificación	31
3.6.2	Captación de agua de mar para sistema contra incendios	32
3.6.3	Sistema contra incendios	33
3.7	Recuperación de vapores de gas natural	33
3.8	Instalaciones Auxiliares	34
3.8.1	Sistema de Combustible a Gas	34
3.8.2	Abastecimiento de Combustible Diesel	35
3.8.3	Sistema de Nitrógeno	35
3.8.4	Sistema de Aire Comprimido	35
3.8.5	Sistema de Suministro eléctrico	36
3.8.6	Sistema de control de incendios	36

<b>4.</b>	<b>METODOLOGÍA DE ANÁLISIS HAZOP</b>	<b>38</b>
4.1	Causas de accidentes en instalaciones de procesos	38
4.1.1	Fallos de Componentes	38
4.1.2	Desviaciones de las condiciones normales de operación	39
4.1.3	Errores humanos y de organización	39
4.2	Análisis HAZOP	40
4.3	Descripción del método HAZOP	41
4.3.1	Definición del área de estudio	41
4.3.2	Definición de los nudos	42
4.3.3	Aplicación de palabras guía	42
4.4	Sesiones HAZOP	44
4.5	Ventajas e inconvenientes del método	44
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS DE RIESGOS DEL SISTEMA</b>	<b>46</b>
5.1	Estanques de Almacenamiento	46
5.2	Análisis al recondensador	75
5.3	Análisis de regasificadores	106
5.3.1	Regasificadores de Panel Abierto	106
5.3.2	Regasificadores de combustión sumergida	132

<b>6.</b>	<b>ESTUDIO DEL ANÁLISIS HAZOP</b>	<b>152</b>
6.1	Riesgos Detectados	152
6.1.1	Estanques de Almacenamiento	153
6.1.2	Recondensador	153
6.1.3	Regasificadores	154
6.1.4	Sistema de tuberías	154
6.2	Riesgos Ambientales	155
6.2.1	Devolución de agua de mar con sus parámetros modificados	155
6.2.2	Funcionamiento del sistema de antorchas	155
<b>7.</b>	<b>RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD</b>	<b>157</b>
7.1	Estanques de almacenamiento	157
7.2	Recondensador	159
7.3	Sistema de tuberías	159
7.4	Regasificadores	160
7.5	Equipos de Protección Fija	161
7.6	Puesta en Marcha	161
7.7	Paradas de Emergencia	162
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>163</b>

**8. ANEXOS**

**164**

**ANEXO 1: Diagrama de P&ID**



## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>CAPITULO 2</b>	
Fig. 2.1: Planta de licuación de gas natural	6
Fig. 2.2: Buque metanero de esferas	7
Fig. 2.3: Distribución de Buques Metaneros	7
Fig. 2.4: Planta de regasificación de Gas Natural	8
Fig. 2.5: Cadena Integrada de gas Natural	8
Fig. 2.6: Reservas Mundiales de Gas Natural	9
<b>CAPITULO 3</b>	
Fig. 3.1: Diagrama de Flujo general del proyecto	16
Fig. 3.2: Brazos de descarga	19
Fig. 3.3: Tuberías de descarga	20
Fig. 3.4: Ejemplo de estanques de almacenamiento simple	21
Fig. 3.5: Diagrama de estanque de contención simple	22
Fig. 3.6: Espaciamiento Diques de contención	23
Fig. 3.7: Ejemplo de un ORV	26
Fig. 3.8: Tubos de Superficie extendida	27
Fig. 3.9: Esquema de un vaporizador ORV	29
Fig. 3.10: Evaporador SCV	30
<b>CAPITULO 5</b>	
Fig. 5.1: Diagrama simplificado de nodos en los estanques de almacenamiento	47
Fig. 5.2: Diagrama simplificado de nodos en el recondensador	77
Fig. 5.3: Diagrama simplificado de nodos en el regasificador	107
Fig. 5.4. Diagrama de nodos en el regasificador de Combustión sumergida	133

## **1. INTRODUCCIÓN**

El objetivo de este trabajo es desarrollar el análisis de riesgos mediante la utilización de la metodología HAZOP, a las áreas más relevantes dentro de la nueva planta de regasificación de gas natural licuado que se instalará en Ventanas, Región de Valparaíso.

Esté análisis tiene como objetivo generar una serie de recomendaciones de mejora en el diseño de equipos y funcionamiento de la planta antes mencionada.

### **1.1 Antecedentes del proyecto a estudiar**

El proyecto consiste en la construcción y operación de un terminal marítimo ubicado en la bahía de Quintero, V Región de Valparaíso, habilitado para recibir, descargar, almacenar y regasificar GNL transportado por barco, y para entregar gas natural, mediante un gasoducto de aproximadamente 2.000 metros de longitud, a un gasoducto que estará operativo a la fecha de puesta en marcha del presente proyecto.

El terminal de recepción está diseñado para recibir barcos de capacidad de hasta 165.000  $m^3$  de GNL, aunque se estima que la capacidad promedio de los barcos que operen será de 140.000  $m^3$ . La descarga del GNL se efectuará mediante las bombas de descarga del barco a una tasa promedio de 10.000 a 12.000  $[m^3/h]$ . El sistema permitirá descargar un barco de GNL en un período medio que varía entre 10 y 12 horas. Se estima una frecuencia media de arribo de 1 buque de GNL cada 7 días.

Su diseño considera una tasa promedio de entrega de gas natural de 10 millones de metros cúbicos estándar al día.

## **1.2 Localización de la Planta de regasificación**

La planta se ubicará en la bahía de Quintero, en las comunas de Quintero y Puchuncavi, pertenecientes a la Provincia de Valparaíso, V Región.

El proyecto se ubicará en terrenos de propiedad de ENAP y en sectores de concesiones marítimas otorgadas a su favor, donde actualmente la empresa cuenta con un terminal para descarga y almacenamiento de petróleo crudo y para la carga, descarga y almacenamiento de diferentes productos derivados del petróleo. Una parte menor de los terrenos de ENAP donde se emplaza el proyecto se ubica en la comuna de Puchuncavi, mientras la mayor parte de ellos están en la comuna de Quintero. ENAP está tramitando la concesión de una porción de playa de mar de aproximadamente  $255 \text{ m}^2$ , y la concesión de fondo de mar y porción de agua de un área de aproximadamente  $12.100 \text{ m}^2$ .

Las instalaciones terrestres del terminal (salvo el gasoducto de conexión) se emplazan en un terreno de propiedad de ENAP

## **1.3 ¿Por qué GNL?**

Las proyecciones de crecimiento en el consumo de gas natural en el país y las restricciones que presenta actualmente el suministro de gas importado desde Argentina, han llevado a ENAP a analizar otras alternativas viables de abastecimiento.

El gas natural importado desde Argentina se transporta vía gasoductos. No obstante, el abastecimiento desde países más lejanos e incluso ubicados en otros continentes, es económicamente factible si el gas se transporta por barco en forma líquida, ya que esto permite transportar 600 veces más gas que si se hace en forma gaseosa.

El gas natural en estado líquido, denominado “gas natural licuado” (GNL), se ha transformado en una alternativa económicamente competitiva de abastecimiento, en la

medida que en distintos lugares del mundo se han construido instalaciones productivas que permiten explotar las reservas disponibles. Por otra parte, las mejoras tecnológicas han permitido mejorar la eficiencia de la producción, transporte y almacenamiento del GNL. Como resultado, el GNL juega un importante papel en el mercado internacional del gas natural, ayudando a satisfacer la creciente demanda por parte de los sectores residencial, comercial e industrial en todo el mundo.

A partir del año 2003 el abastecimiento de gas natural de Argentina ha presentado una serie de restricciones, debido a problemas de producción en el vecino país. Lo anterior ha llevado a ENAP a desarrollar el proyecto “Terminal de GNL en Quintero”, con el objeto de contar con una alternativa tecnológicamente diferente al abastecimiento vía gasoductos desde Argentina.

## **2. ANTECEDENTES GENERALES**

### **2.1 Historia del GNL**

La licuación del gas natural se remonta al siglo XIX, cuando el químico y físico inglés Michael Faraday experimentó con el licuado de diferentes tipos de gases, incluyendo el gas natural. El ingeniero alemán Kart Von Linde construyó la primera máquina práctica de refrigeración en Munich en 1873. La primera planta de GNL fue construida en “West Virginia” en 1912. Entró en operación en 1917. La primera planta comercial de licuación fue construida en “Cleveland, Ohio”, en 1941.

La licuación del gas natural creó la posibilidad de su transporte a lugares remotos. En Enero de 1959, el primer transportador de GNL del mundo, con el nombre “The Methane Pioneer”, un buque de carga de la Segunda Guerra Mundial reconstruido, cargando cinco tanques prismáticos de aluminio de 7.000 barriles de capacidad con soportes de madera balsa y aislamiento de madera contrachapada y uretano, transportó una carga de GNL desde “Lake Charles” en Louisiana” hasta “Canvey Island” en el Reino Unido. Esto demostró que grandes cantidades de gas natural licuado podían ser transportadas de manera segura a través de los mares.

### **2.2 Propiedades del GNL**

El gas natural es uno de los combustibles fósiles energéticamente más eficientes, y su combustión es una de las más limpias desde el punto de vista ambiental. Al enfriarse a una temperatura de  $-162^{\circ}\text{C}$ , el gas natural se licua y su volumen se reduce a 1/600 del volumen original. De esta forma, el transporte de gas natural en su estado líquido es más fácil y económico.

En caso de derrame, el GNL se evapora y forma una nube visible de vapor de agua condensada, que presenta la apariencia de niebla. El gas natural está compuesto principalmente de metano, que por ser más liviano que el aire, al evaporarse (o vaporizarse)

se eleva y se dispersa. El GNL vaporizado sólo es inflamable en concentraciones entre 5% y 15% por volumen de aire. A diferencia de las gasolinas y otros hidrocarburos combustibles, el GNL no es explosivo, a menos que esté en estado gaseoso y el gas esté contenido en un espacio confinado.

El GNL posee propiedades diferentes al gas licuado de petróleo (GLP), normalmente denominado gas licuado, el cual está compuesto principalmente de propano y butano, y que puede formar mezclas explosivas con el aire. Dado que el GLP es más pesado que el aire, no se dispersa en forma rápida y puede formar un flujo continuo que se extiende a una distancia considerable del punto de fuga, y que puede originar una explosión si entra en contacto con una fuente de ignición.

El GNL no es tóxico ni corrosivo, y no contamina el suelo ni el agua, en caso de derrame no deja ningún residuo y, en caso de fuego, produce una cantidad de humo muy reducida, a diferencia de las gasolinas y el diesel, que en caso de derrames pueden infiltrar el suelo y las superficies permeables, lo que exige un tratamiento especial de limpieza y descontaminación, o causar incendios con altas temperaturas y humo denso.

Como combustible, el gas natural presenta menos impacto ambiental que cualquier otro combustible fósil. Su uso con fines de generación eléctrica prácticamente elimina las emisiones de dióxido de azufre ( $SO_2$ ) y reduce hasta en un 40% las emisiones de dióxido de carbono ( $CO_2$ ), en comparación con el uso de diesel y carbón.

### **2.3 Cadena integrada del GNL**

La cadena integrada del gas natural licuado se compone por tres eslabones:

- **Licua**ción del gas, generalmente en una zona cercana al pozo y lindante con la línea costera.
- **Transporte** en buques metaneros.

- **Regasificación** e introducción a la red de transporte del país comprador.

En la etapa de licuación, el gas natural se lleva a temperaturas inferiores a los  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ . En esta condición de temperatura, y a presión atmosférica, el gas natural sufre un cambio de estado, de gas a líquido, reduciendo 600 veces su volumen. Puede decirse que el rendimiento medio del proceso de licuación es del 90%. Esto quiere decir que el 10% del gas natural que ingresa a la planta de licuación, se pierde o se utiliza como fuente de energía para el proceso.

En la figura 2.1 se muestra una planta de gas de licuación de gas natural, durante el proceso de carga de un metanero.



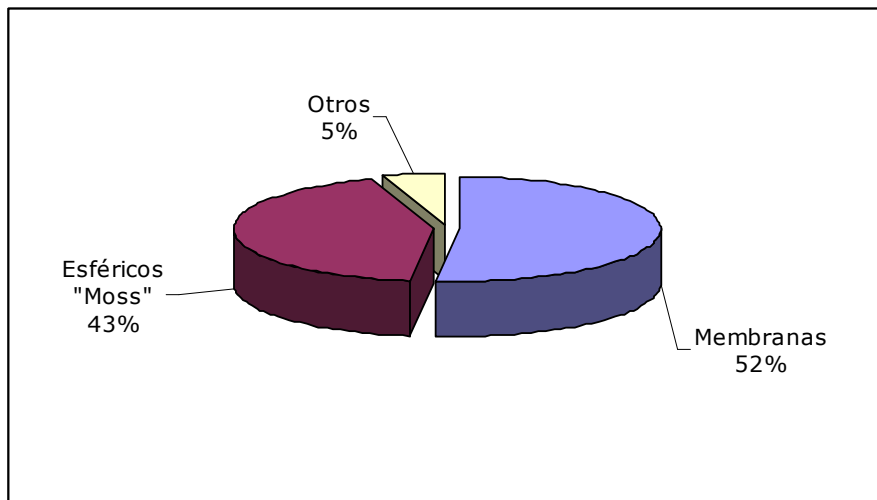
**Fig. 2.1: Planta de Licuación de Gas Natural**

El transporte en buques metaneros es el segundo eslabón de la cadena integrada del gas natural licuado. Actualmente hay dos tipos de barcos que se utilizan para el transporte de GNL. Los “de membrana” y los “de esferas”, mostrados en la Fig. 2.2. Las capacidades de transporte rondan los  $150.000\text{ }m^3$  de GNL por buque. Se estima que se llegará a una capacidad máxima de  $250.000\text{ }m^3$ . Ésta se considera el límite de lo técnicamente posible, ya que buques de mayor tamaño serían prácticamente innavegables.



**Fig. 2.2: Buque metanero de esferas**

Actualmente la flota mundial de metaneros ronda las 180 unidades. Puede decirse que, como se muestra en la figura 2.3, aproximadamente una mitad son buques de membrana y la otra de esferas.



**Fig. 2.3: Distribución de buques metaneros**

Aunque la tendencia es construir buques cada vez de mayor tamaño, en la actualidad el 56 % de la flota corresponde a buques de tamaños medios ( $100.000 \text{ m}^3$  a  $138.000 \text{ m}^3$ ).



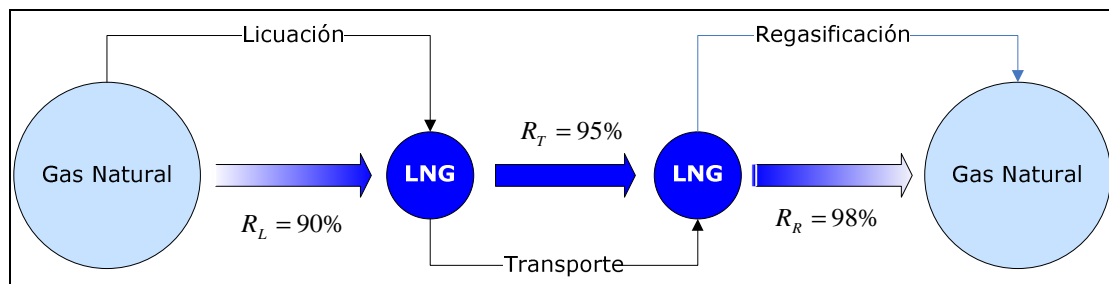
La regasificación es la tercera y última etapa. En ésta el volumen del gas aumenta 600 veces al pasar de estado líquido a gaseoso. Además, se le da al gas la presión con la que ingresará a la red de transporte por gasoductos. La regasificación presenta el rendimiento más alto dentro de la cadena integrada del GNL: 98%.

En la figura 2.4 se muestra una planta de regasificación de GNL.



**Fig. 2.4:** Planta de regasificación de gas natural – estanques de almacenamiento

Finalmente, en la figura 2.5, se presenta un esquema de la cadena integrada del gas natural licuado.



**Fig. 2.5:** Cadena Integrada del Gas Natural.

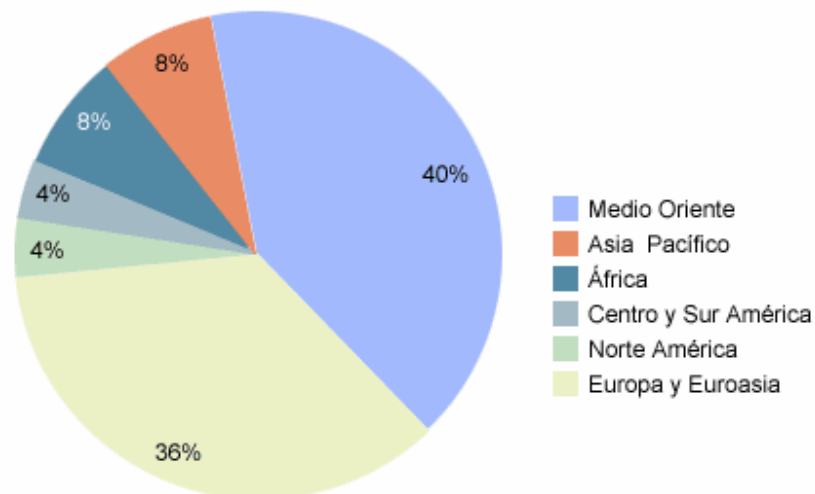
## 2.4. Mercado Internacional de GNL

### 2.4.1 Reservas mundiales de Gas Natural Licuado

Las reservas mundiales de gas natural, aunque limitadas, son muy importantes y las estimaciones de su dimensión continúan progresando a medida que las nuevas técnicas de explotación, de exploración y de extracción son descubiertas. Las reservas de gas natural son abundantes y ampliamente distribuidas por el mundo. Se estima que una cantidad significativa queda aún por descubrir.

Las mayores reservas mundiales se encuentran en el medio oriente, con el 40% del total mundial. Junto con Europa, que representa el 36% de las reservas mundiales, suponen aproximadamente las tres cuartas partes de las reservas mundiales de gas natural (Fig. 2.6)

Las reservas mundiales de gas natural se han multiplicado por dos en el transcurso de los últimos veinte años para alcanzar en el 2000, los 150,19 trillones de metros cúbicos.



**Fig. 2.6: Reservas Mundiales de gas natural**

#### **2.4.2. Países consumidores de Gas Natural**

Todos los países que se preocupan por el desarrollo sostenible utilizan gas natural como fuente primaria de energía. Entre los combustibles fósiles, el crecimiento del consumo de GNL en el mundo es el mayor. Tanto es así que en el año 2015 el mercado mundial demandará un 76% más que en 1993.

El mayor importador es Japón, que en el año 2000 adquirió 54 millones de toneladas de GNL, es decir, más de la mitad del comercio mundial de esta fuente energética. A su vez, el mayor exportador mundial es Indonesia.

Existen grandes reservas de gas natural en áreas donde no hay un mercado significativo. Tales reservas de hidrocarburos están ubicadas en África del Norte, al Oeste de África, Sudamérica, el Caribe, el Medio Oriente, Indonesia, Malasia, el Noroeste de Australia y Alaska. Parte del gas natural en estas regiones es licuado para ser transportado a mercados donde la demanda de gas natural es superior a la capacidad de abastecimiento doméstico. Estos mercados incluyen Japón, Taiwán, Corea, Europa y Estados Unidos.

De acuerdo a la Agencia de Información de Energía de Estados Unidos, la producción de gas natural en ese país se estima crecerá de 0,541 trillones de metros cúbicos en el 2000 a 0,807 trillones de metros cúbicos en el año 2020. Si embargo, su demanda total se espera que aumente de 0,646 trillones de metros cúbicos en el 2000 a alrededor de 0,957 trillones de metros cúbicos en 2020.

#### **2.4.3 Comercio internacional**

El comercio por buques de GNL (gas natural licuado) representa el 21% del comercio internacional de gas. El bajo porcentaje de intercambios internacionales se debe principalmente a los altos costes de transporte. Transportar gas natural es complejo y requiere inversiones altas, ya que la mayoría de las reservas están lejos de los centros de

consumo. Igualmente, la construcción y gestión de los gasoductos crean problemas legales y logísticos.

En el 2000 los principales países exportadores por gasoducto fueron Rusia, Canadá, Noruega, los Países Bajos, Argelia y el Reino Unido. La primera zona de importación por gasoducto, independientemente de los Estados Unidos que absorbió todas las exportaciones canadienses, fue Europa

La mayor parte del comercio internacional de GNL fue realizado por las regiones Asia-Pacífico, siendo los principales países exportadores Indonesia, Malasia y Australia y siendo Japón el principal país importador. Argelia y Qatar son igualmente importantes exportadores de GNL.

La infraestructura mundial del GNL es según el "World LNG Source Book 2001 (Gas Technology Institute)" la siguiente:

Doce países tienen equipos para licuar el gas: Abou Dhabi, Argelia, Australia, Brunei, Indonesia, Libia, Malasia, Nigeria, Omán, Qatar, Trinidad y Tobago y los Estados Unidos.

Treinta y ocho terminales de recepción funcionan en 10 países entre los cuales hay 23 en Japón, 3 en España, 3 en los Estados Unidos, 2 en Korea, 2 en Francia y 1 en Bélgica, Grecia e Italia, en la provincia china de Taiwan, en China y en Turquía.

## **2.5 Incidentes Relacionados**

De acuerdo con el "U.S. Department of Energy", durante los últimos 60 años la industria, sólo ha experimentado ocho accidentes marítimos a nivel mundial. Estos resultaron en un derrame de GNL y algunos causaron daños a la cubierta del buque debajo del múltiple de distribución debido a fracturas. No se han reportado incendios relacionados con la carga de GNL, y el diseño de los buques de GNL fue un factor crítico en la prevención de daños a los tanques de contención de GNL.

Con la excepción del incendio en Cleveland en el año de 1944, todos los daños relacionados con el GNL han ocurrido dentro de una instalación de GNL. Nunca ha habido una fatalidad a bordo de un buque de GNL, ni han ocurrido muertes o incidentes serios por el GNL en los Estados Unidos desde el accidente ocurrido en Cove Point en 1979. H.H. West y M.S. Mannan de la Texas A&M University concluyeron que: “La industria mundial de GNL ha acumulado un historial de seguridad envidiable como resultado del análisis minucioso de seguridad industrial y el desarrollo de reglamentos y normas apropiadas.” A continuación se describen brevemente los accidentes ocurridos en instalaciones de GNL.

### **2.5.1 Cleveland, Ohio, 1944**

Se construyó la primera instalación de “peakshaving” en el estado de West Virginia en 1939. En 1941, la East Ohio Gas Company construyó una segunda instalación en Cleveland. Esta instalación de “peakshaving” operó sin incidentes hasta 1944, cuando se expandió para incorporar un tanque más grande. La escasez del acero inoxidable durante la Segunda Guerra Mundial hizo que se comprometiera el diseño del tanque nuevo. Este presentó fallas poco después de haberse puesto en servicio, y el derrame de GNL formó una nube de vapor que llenó las calles vecinas y el sistema de drenaje en donde se encendió el vapor de gas natural. El saldo del accidente en Cleveland fue de 128 muertes en la zona residencial contigua. La entidad investigadora, la “U.S. Bureau of Mines”, concluyó que el concepto de licuefacción y almacenamiento de GNL aún eran válidos si se “tomaban las precauciones apropiadas.”

### **2.5.2 Staten Island, New York, Febrero de 1973**

En Febrero de 1973, un accidente industrial no relacionado con la presencia de GNL ocurrió en la instalación de “peakshaving” de la Texas Eastern Transmisión Company en Staten Island. En febrero de 1972, los operadores sospecharon que existía un escape de GNL en el tanque, y detuvieron su operación. Al vaciarse el tanque, encontraron gotas en el

“mylar lining” y mientras lo reparaban, el recubrimiento del “mylar lining” prendió fuego. El incendio hizo que subiera la temperatura dentro del tanque, generando suficiente presión para volar el techo de concreto de 6 pulgadas de espesor el cual cayó sobre los trabajadores que se encontraban adentro del tanque matando a 40 personas.

El informe realizado por el Departamento de Bomberos de la ciudad de New York en julio de 1973 determinó claramente que el accidente fue un accidente de construcción, y no un “incidente de GNL”. En 1988, en la reevaluación del moratorio sobre las instalaciones de GNL, el New York Planning Board concluyó que: “Hoy día las normas gubernamentales y las prácticas de operación de la industria evitarían una réplica de este incidente. El incendio fue causado por materiales de construcción inflamables y el diseño de un tanque que actualmente están prohibidos. Aunque nunca se podrán conocer las causas precisas, es indudable que el GNL no fue parte en el incidente, y no estuvieron expuestas al riesgo las áreas vecinas a la instalación.”

### **2.5.3 Cove Point, Maryland, Octubre de 1979**

En octubre de 1979, ocurrió una explosión dentro de una subestación eléctrica en el terminal receptor de Cove Point, Maryland. El GNL se filtró por un sello mal ajustado, el cual penetró a la bomba eléctrica, allí se vaporizó, pasó por 200 pies de tubería eléctrica subterránea y penetró en la subestación. No se habían instalado detectores de gas en ese edificio debido a que nunca se esperó encontrar gas natural en esa área. Los contactos eléctricos de los circuitos prendió la mezcla de gas natural y aire, lo que causó una explosión que mató a un operador dentro del edificio, hirió seriamente a otro, y causó daños valorados en aproximadamente US\$3 millones. Este fue un incidente aislado ocasionado por circunstancias muy específicas. La “National Transportation Safety Board” encontró que el Terminal en Cove Point fue diseñado y construido conforme a todos los reglamentos y códigos correspondientes. Sin embargo, como resultado de este incidente, antes de la reapertura de la instalación en Cove Point se hicieron tres cambios de diseño importantes en el código. Actualmente, dichos cambios se aplican a la industria internacional.

Debido a todas las medidas de seguridad y protección incluidas en la cadena de valor del GNL, actualmente la probabilidad de ocurrencia de un accidente serio es baja. Sin embargo, al igual que en cualquier otra instalación de energía las consecuencias de una falla en los terminales en tierra, pueden ser muy serias si no se emplean las precauciones y protecciones de seguridad apropiadas.

El pequeño número de accidentes de seguridad que han ocurrido sirven para mostrar el historial de excelente seguridad en la industria del GNL.

### **3. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA**

A continuación se presenta una descripción detallada de los principales componentes de la planta de regasificación gas natural licuado que se instalará en Ventanas, Región de Valparaíso.

#### **3.1 Principales instalaciones de la planta**

Los principales componentes de la planta de regasificación de GNL son los siguientes:

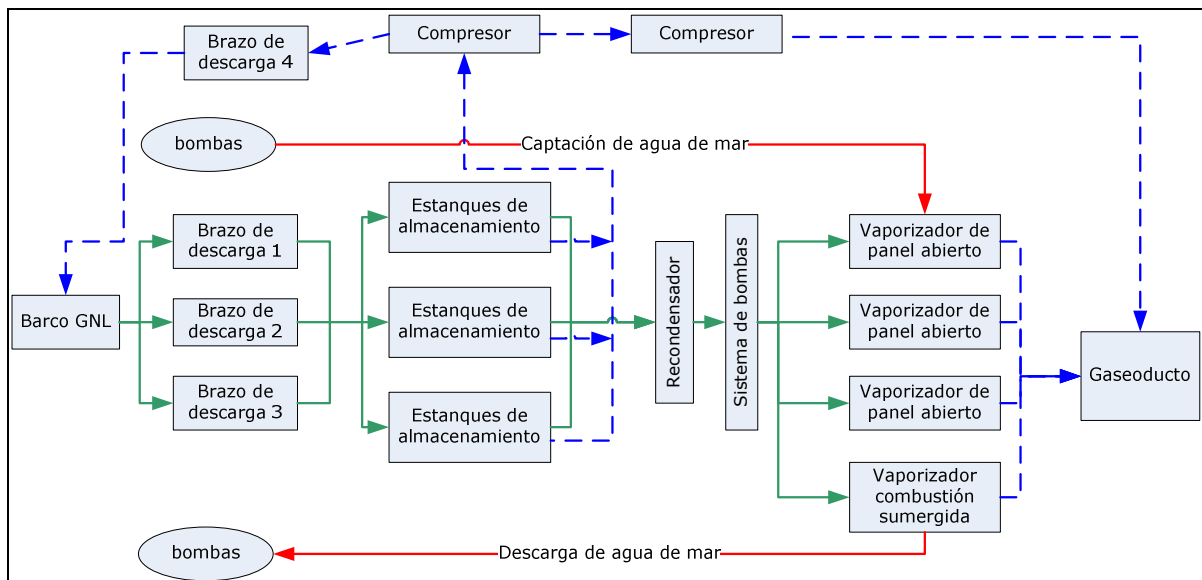
- Muelle de descarga de GNL desde los buques metaneros.
- Cabezo de descarga, en el extremo del muelle, equipado con 3 brazos de descarga de GNL (líquido) de 16" cada uno con una capacidad de descarga de  $4.000 \text{ m}^3/h$  y 1 brazo de retorno de vapor de gas de 16", con capacidad de  $4.000 \text{ m}^3/h$ .
- Dos estanques de almacenamiento de GNL, del tipo "Contención Simple" de  $160.000 \text{ m}^3$  de capacidad bruta cada uno.
- Una planta de regasificación con capacidad máxima de 15 millones de metros cúbicos estándar por día ( $15 \text{ MMm}^3/\text{día}$ ).
- Dos plataformas de captación de agua de mar para calentamiento de GNL y sistema de combate de incendios
- Sistema de retorno de vapores de gas natural (compuesto por compresor y un recondensador vertical).



- Un gasoducto de aproximadamente 2.000 metros de longitud, que permitirá transferir el gas natural, una vez regasificado, desde el terminal a un gasoducto autorizado
- Equipos e instalaciones auxiliares (equipos detectores de gas, red de incendio, estanques de agua de mar para red de incendio, estanques de combustibles, etc.)
- Edificaciones: oficina de administración, centro de control, subestación de suministro de agua de mar, bodega y taller de mantenimiento, sala de compresores y subestación eléctrica.

En la figura 3.1 se presenta un diagrama de flujo general del proyecto, que muestra los principales procesos realizados en el Terminal de GNL.

El diagrama P&ID de la planta se presenta en el Anexo1.



**Fig. 3.1: Diagrama de flujo general del proyecto**

### **3.2 Muelle de descarga**

El muelle consiste en un puente o pasarela elevada que tiene como objetivo dar acceso a personas, vehículos menores, tendidos de cañerías de GNL, vapores de gas y agua de mar, y servicios, a la plataforma operacional (cabezo) ubicada costa afuera, donde se sitúan los brazos de carga, sistemas de seguridad y otros.

El muelle consta además, de una plataforma intermedia, ubicada a 700 metros de la playa, donde se instalarán los equipos de captación de agua de mar para calentamiento del GNL, y una segunda plataforma, adyacente a la anterior, para la captación de agua de mar para el sistema contra incendios de la planta y el muelle. Bajo el muelle, a 500 m. de la playa, se ubicará la descarga de agua de mar utilizada para el calentamiento del GNL.

Las dimensiones del muelle de descarga se presentan en la tabla 3.1:

**Tabla 3.1: Características físicas del muelle de descarga**

Longitud aproximada	1200 metros
Ancho aproximado	4 metros
Alto aproximado	5 metros

### **3.3 Cabezo de Gas Natural**

Consiste en una plataforma de 40 metros de largo por 30 m de ancho, ubicada costa afuera, que soporta los siguientes equipos para descarga de gas natural.

- Brazos de descarga de gas natural licuado
- Brazo de retorno de vapor de gas natural
- Sistema hidráulico de posicionamiento de brazos

- Sistema de combate de incendios (red húmeda)

En esta estructura se ubican además las defensas de atraque y soportes de amarre para los buques metaneros.

### **3.3.1 Brazo de descarga de GNL y retorno de gas natural**

El proyecto considera la instalación de 3 brazos de descarga de 16", todos similares, con una capacidad para transportar  $4.000 \text{ m}^3/h$  de GNL cada uno, y 1 brazo de 16" para la carga de vapores de gas al barco, con capacidad de  $4.000 \text{ m}^3/h$  de vapores de gas.

Los brazos se instalan en el cabezo de descarga y se conectan, a través de un manifold común, con dos tuberías de descarga de GNL, de 26" de diámetro, que llevarán el producto hasta los estanques de almacenamiento.

Cada uno de estos brazos pesa alrededor de 100 toneladas y tiene una altura aproximada de 17 metros. En el cabezo, cerca de los brazos de descarga y de retorno de vapor de gas, se instalará también un estanque separador de vapor y un estanque de golpe de ariete, destinados a la protección de los equipos.

A continuación en la figura 3.2 se muestran 4 brazos de descarga de GNL que operan en conjunto.



**Fig. 3.2: Brazos de descarga**

### **3.3.2 Tuberías de descarga de GNL y retorno de vapor de gas natural**

El GNL será descargado desde los barcos a un flujo promedio de entre 10.000 y 12.000  $m^3/h$  y transportado hacia los estanques de almacenamiento (los estanques podrán ser llenados en forma simultánea) mediante dos tuberías cuyo diámetro es 26". Estas tuberías están convenientemente aisladas para contribuir a mantener las bajas temperaturas. En los períodos en que no se está descargando GNL, entre recaladas, se recircula GNL por las líneas de descarga a fin de mantener las tuberías a baja temperatura.

Adicionalmente, se considera la instalación de una línea de retorno de vapor de gas, de 16", que permite recircular hacia los estanques del barco los vapores que se producen durante la operación de descarga y llenado de los estanques de tierra, y una línea de vacío para el control de los equipos.

En la figura 3.3 se presenta un ejemplo de tuberías de descarga de GNL desde los metaneros:



**Fig. 3.3: Tuberías de descarga**

A continuación en la tabla 3.2 se presenta un resumen de las tuberías de descarga y retorno consideradas:

**Tabla 3.2: Características de las tuberías de descarga y retorno**

Tubería	Cantidad	Diámetro [pulg]	Caudal [ $m^3/h$ ]
GNL	2 operativas	26 – 30	12.000
	1 respaldo	4	-
Vapor de Gas natural	1	16	4.000

### 3.4. Estanques de almacenamiento

El proyecto considera la construcción de 2 estanques del tipo contención simple (Fig.3.4), de una capacidad bruta de almacenamiento de  $160.000 m^3$  cada uno. Los estanques tendrán un diámetro del orden de 80 m. y una altura aproximada de 55 m.

Los estanques han sido diseñados y se construirán, operarán y mantendrán de acuerdo a los estándares nacionales e internacionales normalmente considerados para la construcción de este tipo de estanques (National Fire Protection Agency, NFPA 59A; API 620)

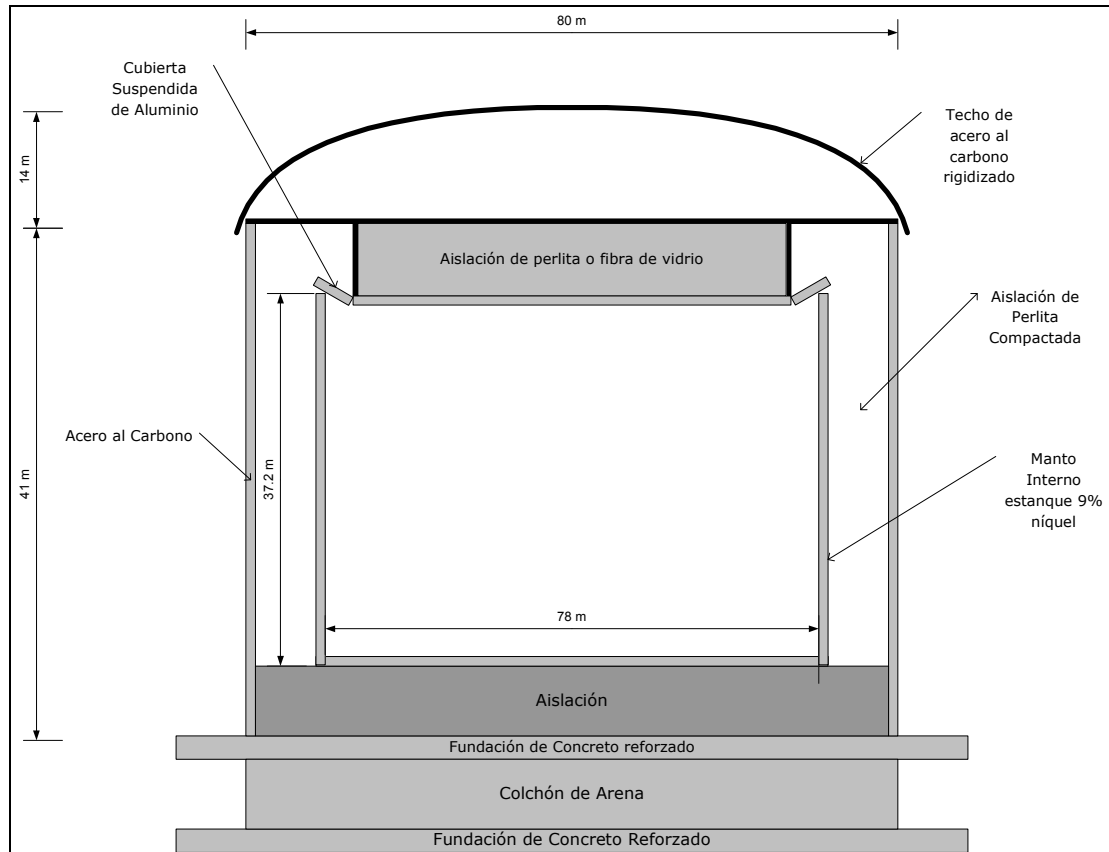


**Fig. 3.4: Ejemplo de estanques de contención simple**

Cada estanque estará construido con una doble pared de acero especial. La pared interior, construida en acero níquel (9% Ni), está diseñada para contener el GNL criogénico (-160 °C), y la pared exterior, construida en acero al carbono, está diseñada tanto para contener vapores de metano, como para proveer un soporte adecuado para el techo del estanque y proporcionar resistencia estructural al viento y a las condiciones de carga externas. En la figura 3.5 se presenta un diagrama de un estanque de contención simple.

Adicionalmente, esta segunda pared funciona como un contenedor de material aislante. Los estanques estarán provistos de un puente superior y de un techo construido en acero, y contarán con conexiones de carga y descarga por su parte superior.

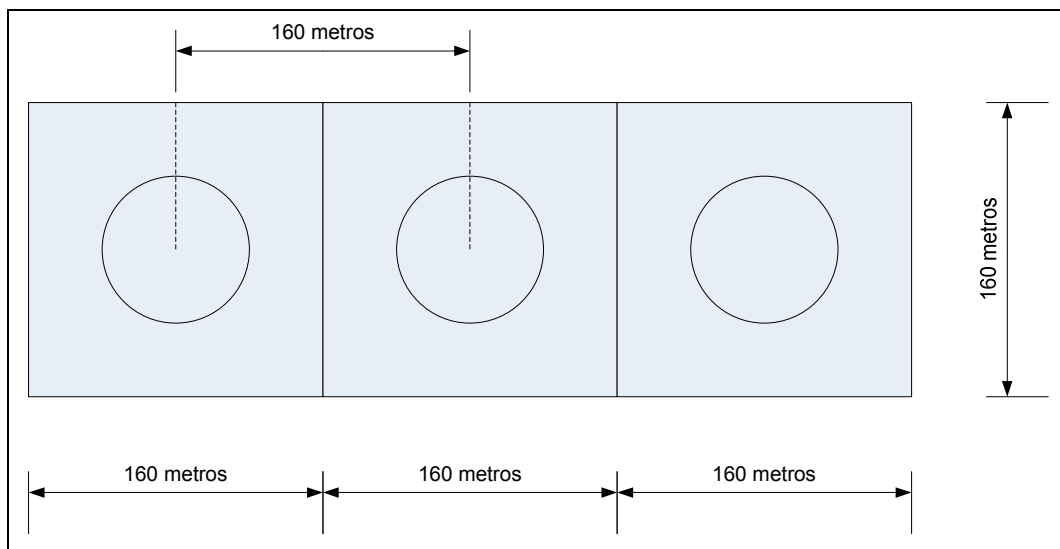
Para la descarga del GNL, cada uno de los estanques estará equipado con hasta tres bombas de columna montadas en su interior; una de las bombas se mantiene como respaldo.



**Fig. 3.5: Diagrama estanque de contención simple**

Cada estanque contará con sistemas de protección para prevenir sobrepresiones o condiciones de vacío. Para estos efectos, los estanques estarán conectados a un colector de vapor y a un compresor. Este último retornará estos vapores al cabezo de descarga del muelle, mediante una tubería especialmente habilitada para estos efectos, donde serán devueltos a los estanques del barco mediante un brazo de retorno ó, alternativamente, enviados a la red de gas natural de consumo. Durante la operación de descarga de GNL desde el barco, los estanques se mantienen a una presión mayor que la presión de saturación del GNL que está ingresando al estanque, a fin prevenir la inflamación.

Los estanques cuentan con diques de contención de derrames, con capacidad para contener un posible derrame de GNL generado en la operación de descarga o por la rotura de la pared interior del estanque, y sumideros, que canalizan y recogen las posibles fugas de GNL, y bombas que transfieren el GNL a uno de los estanques. Los diques de contención tienen capacidad para contener el 110% del contenido completo del estanque. Para estos efectos, los diques de contención de cada estanque tendrán una superficie de aproximadamente 160 m x 160 m (Fig. 3.6) y una altura de alrededor de 7.5 metros.



**Fig. 3.6 Espaciamiento diques de contención**

En el peor escenario, en caso de que todo el contenido del estanque interior se derrame en el dique de contención, se formaría una gran nube de vapor que podría resultar en un incendio mayor. Los diques de contención deben ser capaces de contener el 110% de la capacidad total del estanque, de acuerdo a lo exigido en la recomendación CFR193. Por su parte, la NFPA 59A establece que el dique debe ser diseñado para resistir un sismo de diseño preestablecido.

Como referencia, cabe destacar que en la actualidad, aproximadamente el 67% de los estanques de GNL existentes en el mundo corresponden al tipo contención simple,



incluyendo prácticamente la totalidad de los estanques en servicio en Estados Unidos y el 50% de los estanques que operan en Japón. Las estadísticas de seguridad de este tipo de estanques son excelentes.

A continuación en la tabla 3.3 se presenta un resumen de las características más importantes de los estanques de contención simple utilizados en la planta.

**Tabla 3.3: Características técnicas de los estanques de contención simple**

Capacidad Bruta	160.000 [m <sup>3</sup> ]
Capacidad neta	151.000 [m <sup>3</sup> ]
Altura aproximada	55 metros
Diámetro aproximado	80 metros
Materiales de construcción	Acero al carbono y acero al níquel
Ubicación	En tierra firme
Espaciamiento	160 metros
Presión de diseño	180 mbar (g)
Temperatura de operación	-160 °C
Presión de Operación	160 mbar (g)
Modo de descarga	Por la parte superior
Equipos de descarga	dos bombas montadas en el interior del estanque
Tasa Máxima admisible de generación de vapor de gas a 40°C	0.05% diario

### 3.5. Planta de regasificación

El GNL almacenado en los estanques en estado líquido, a  $-160^{\circ}$  C, debe ser regasificado (vaporizado) antes de ser entregado al gasoducto, donde se transporta como gas natural.

Para estos efectos, la planta considera un área de regasificación que estará compuesta, en lo principal, por los siguientes equipos:

- 1 Recondensador vertical
- 3 Vaporizadores tipo “vaporizador de panel abierto” (ORV), que funcionarán en paralelo.
- 1 Vaporizador tipo “vaporizador de combustión sumergida” (SCV), que funcionará como equipo de respaldo.

### **3.5.1 Recondensador**

El recondensador, tiene como objetivo condensar el Gas Natural que se ha vaporizado producto de los cambios de temperaturas durante la descarga de los buques metaneros (Estado operativo de descarga), así como el generado durante el periodo de espera (Período en el que no se descarga ningún barco). Esta condensación se lleva a cabo mediante el contacto directo de los vapores provenientes de los estanques de almacenamiento, con el GNL también proveniente de los estanques de almacenamiento, que se encuentra aproximadamente a  $-160^{\circ}\text{C}$  y que está siendo transportado al área de regasificación de la planta.

Para la vaporización del gas natural licuado existen dos opciones:

- Vaporizar a baja presión y después comprimir hasta la presión de ingreso al gaseoducto
- Comprimir el líquido hasta la presión del gaseoducto y después vaporizar.

Esta última, es la opción más económica y la que ha sido considerada en la implementación de la planta de regasificación.

Una vez que los vapores han sido condensados en el recondensador, el GNL es enviado a los regasificadores, mediante bombas de despacho que elevan su presión hasta aproximadamente 69 barg.

### **3.5.2 Regasificadores de Panel Abierto ORV (Open Rack. Vaporizer)**

Los Regasificadores tipo ORV utilizan el agua de mar, a temperatura ambiente, como elemento de calefacción. El agua de mar fluye sobre la superficie exterior de un panel, conformado básicamente por tubos de superficie extendida, y vaporiza el GNL que está en contacto con el interior del panel. Los tubos, de superficie extendida, están especialmente diseñados para mantenerse permanentemente cubiertos con una delgada película de agua de mar. La instrumentación y los sistemas de control de este tipo de regasificador son mínimos y sencillos.

A continuación en las figuras 3.7 y 3.8 se presenta un ejemplo de regasificadores de panel abierto y tubos de superficie extendida respectivamente.



**Fig. 3.7: Ejemplo de un ORV**



**Fig. 3.8: Tubos de superficie extendida**

El diseño de estos regasificadores es sencillo y sólo requiere un medio de calentamiento, en este caso, agua de mar. El agua de mar será tratada en forma continua en una unidad de cloración, mediante una unidad de electrocloración para evitar o minimizar la proliferación de microorganismos que se adhieren a las placas intercambiadoras de calor. Eventualmente, se deben realizar actividades de limpieza para remover los organismos adheridos a los tubos.

Los regasificadores que se instalarán en la planta permiten regasificar el GNL a un flujo de  $5 \text{ [MMm}^3/\text{día}]$ . Por lo tanto, una vez instalados los 3 regasificadores, la planta tendrá capacidad para tratar  $15 \text{ [MMm}^3/\text{día}]$  de gas natural licuado

El flujo de agua de mar a temperatura ambiente requerido en este proceso de calentamiento del GNL alcanza a  $15.000 \text{ [m}^3/\text{h}]$ . Como resultado del intercambio de calor, el agua de mar a la salida del regasificador disminuirá en  $7^\circ \text{C}$  con respecto a su temperatura inicial.

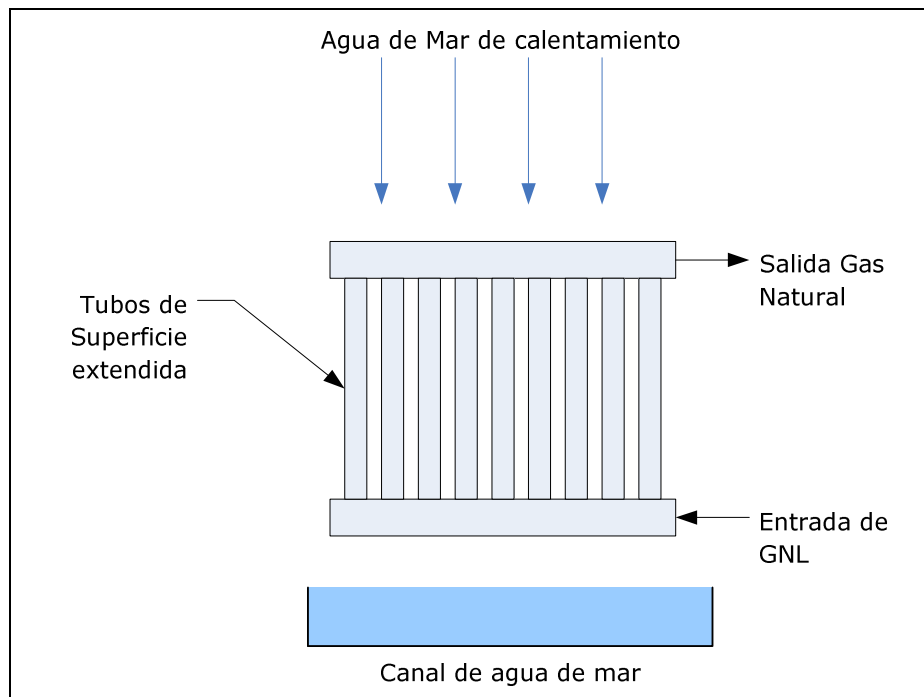
Por otra parte, el GNL ingresa a la planta de regasificación en estado criogénico (-160° C) y es entregado por los regasificadores a 3° C, temperatura a la cual se entrega al gasoducto, de acuerdo a la normativa vigente.

A continuación en la tabla 3.4 se presentan los detalles técnicos para este tipo de regasificadores:

**Tabla 3.4: Características técnicas de los regasificadores ORV**

Tasa de regasificación	5 [MMm <sup>3</sup> /día]
Presión de diseño	87.5 bar(g)
Temperatura de diseño	-170 °C
Presión de operación	67.7 bar (g)
Temperatura de Operación	-160°C
Material de construcción	Aleación de aluminio
Temperatura Final agua de mar	7°C inferior a su temperatura de alimentación
Temperatura final gas natural	3°C
Equipos anexos	Unidad de electrocloración para tratamiento de agua de mar.

En la figura 3.9 se presenta un esquema de un regasificador ORV



**Fig.3.9 Esquema de un Vaporizador ORV**

### 3.5.2 Regasificador de combustión sumergida SCV

El regasificador de combustión sumergida consiste en un calentador que utiliza un baño de agua como intercambiador de calor. El agua es calentada por inyección directa de los gases de combustión de gas natural. Esto aumenta la eficiencia térmica de la unidad, en la medida que el poder calorífico de la combustión se aprovecha mejor. El GNL se conduce por una tubería que atraviesa el baño de agua caliente, calentándose y vaporizándose.

Para evitar la acidificación del agua utilizada durante la operación, normalmente se aplica una dosis continua de algún controlador de pH. Durante la operación de la unidad existe una producción neta de agua, la que debe drenarse en forma continua. Por otra parte, también se debe suministrar agua para mantener niveles adecuados en el equipo.

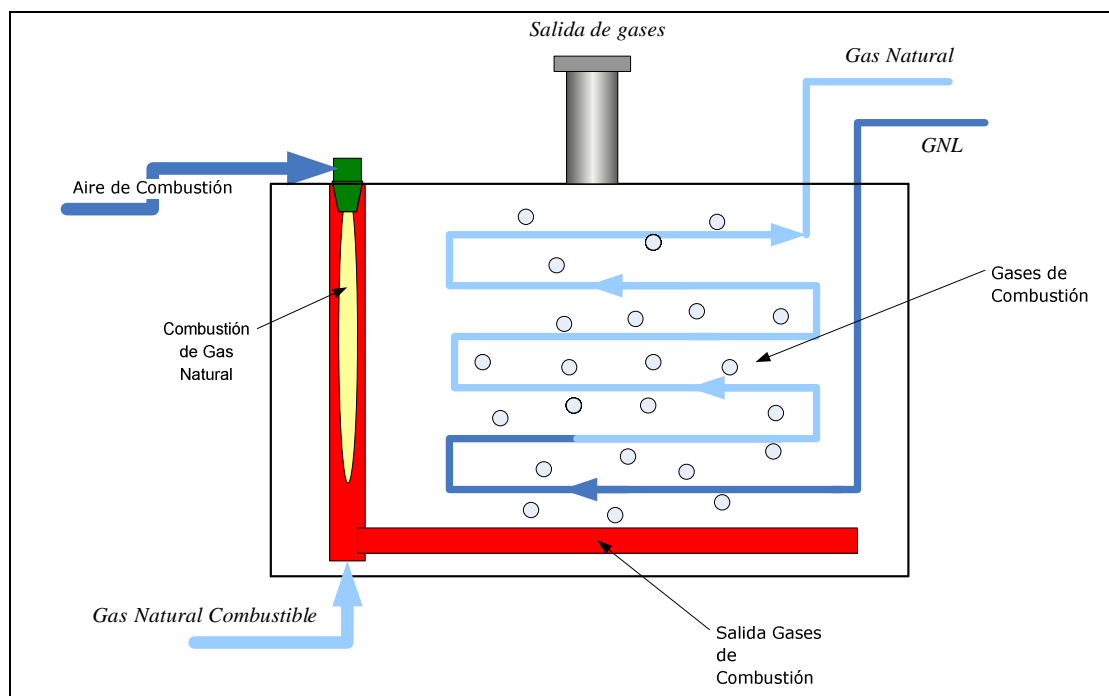
El control del sistema es relativamente sencillo. Sin embargo, requiere de un panel de control del quemador y controles adicionales para el combustible, la combustión, el pH y el

agua fresca. Este tipo de regasificador normalmente requiere el suministro de gas natural (combustible) a una presión de aproximadamente 3,5 bar (g).

El regasificador SCV que se instalará, es capaz de regasificar el GNL a una tasa de 5  $[MMm^3/día]$ .

Este vaporizador considera tuberías de acero inoxidable. La presión y temperatura de diseño son de 87.5 bar (g) y  $-170^{\circ} C$ , respectivamente, pero los parámetros de operación son de 67.7 bar (g) y  $-160^{\circ} C$ , respectivamente.

En la figura 3.10 se presenta un esquema de un regasificador SCV



**Fig. 3.10: Evaporador SCV**

### **3.6 Plataformas de servicio**

La planta considera dos plataformas de servicio adyacentes al muelle: la plataforma de captación de agua de mar para calentamiento GNL, y la plataforma de captación de agua de mar para el sistema contra incendios.

Estas plataformas se ubican de manera contigua, al costado del muelle, a 700 m desde la costa, y ambas poseen una superestructura metálica que soporta un mecanismo de levante capaz de montar y desmontar los equipos que ellas contienen. Ambas plataformas se describen a continuación.

#### **3.6.1 Captación de agua de mar para sistema de regasificación**

Esta plataforma está ubicada a un costado de la pasarela del muelle, a unos 700 m de la costa. Tiene dimensiones de 3 x 12 metros, con una losa de 25 cm de espesor.

Esta plataforma tiene por objeto dar cabida a cuatro bombas de captación de agua de mar con una capacidad de  $5.000 \text{ [m}^3/\text{h]}$  cada una. Tres de estas bombas son eléctricas y permanecen en estado operativo, mientras la cuarta es una moto-bomba diesel, de igual capacidad a las anteriores, que funciona de respaldo.

La plataforma contempla también una estructura para soportar un equipo de levante que permita izar las bombas.

La operación normal de las bombas de captación considera el funcionamiento simultáneo de hasta 3 bombas eléctricas, suministrando con esto un total de  $15.000 \text{ [m}^3/\text{h]}$  de agua de mar para el calentamiento de GNL. Después de esta operación, que se realiza en el área terrestre, el agua retorna por una tubería emplazada en el muelle, para ser devuelta al mar mediante una descarga ubicada al costado del muelle, a aproximadamente 500 m de la costa y a alrededor de 9 m de profundidad.



### 3.6.2. Captación de agua de mar para sistema contra incendios

Esta plataforma está ubicada a un costado de la pasarela del muelle y adyacente a la plataforma descrita anteriormente. La plataforma tiene dimensiones de 3 x 12 metros, con una losa de 25 cm de espesor y tiene por objeto dar cabida a cuatro bombas de captación de agua de mar, tres con una capacidad de 1.020 m<sup>3</sup>/h cada una y una cuarta en el caso de expansión.

El arreglo de operación de éstas es una bomba eléctrica y una bomba diesel en funcionamiento durante un siniestro normal, y una tercera motobomba-diesel en caso de emergencia por interrupción del servicio eléctrico, estas bombas alimentan el estanque de agua ubicado en la planta y al sistema de combate de incendio del cabezo del muelle.

El sistema contra incendio consta de un estanque en tierra, y dos bombas de combate de incendio (se agregará una tercera para el caso de expansión), y una bomba Jockey de funcionamiento eléctrico cuyo objetivo es la mantención de la presión sobre el sistema contra incendios mientras el consumo de agua no exceda los 11 [m<sup>3</sup>/h], que en caso de ser mayor hace partir en forma automática las bombas principales de incendio (340 [m<sup>3</sup>/h] cada una).

Para la operación durante un siniestro normal, las bombas de captación de agua de mar de incendio parten en conjunto una eléctrica y una diesel, en funcionamiento simultáneo, dando con esto un total de 2.040 [m<sup>3</sup>/h] de agua de mar para ataque de algún incendio o enfriamiento por precaución en la planta de GNL o en el muelle. La plataforma considera también una estructura para soportar un equipo de levante de 10 toneladas que permite izar las bombas.

A continuación en la tabla 3.5 se presenta un resumen del sistema de captación de agua de mar para regasificación y sistema contra incendios.

**Tabla 3.5: Tuberías de conducción de agua de mar**

	<b>Cantidad</b>	<b>Diámetro (pulg.)</b>	<b>Caudal</b>
Calentamiento agua de mar	1	60	15.000 [m <sup>3</sup> /h]
Retorno agua de mar	1	60	15.000 [m <sup>3</sup> /h]
Sistema contra incendios Muelle	1	10	1020 [m <sup>3</sup> /h]
Sistema contra incendios planta	1	16	2040 [m <sup>3</sup> /h]

### **3.6.3 Sistema contra incendios**

El sistema contra incendio en el muelle está compuesto por una plataforma de cuatro bombas según lo descrito anteriormente, una tubería de 16" de acero carbono, alimentando el sistema de tierra y una tubería de FRP de 10" para el sistema contra incendios del muelle.

Para obtener la protección del cabezo propiamente tal, se contempla una derivación de 6" en acero al carbono con tres monitores fijos de 250 galones por minuto por unidad, convenientemente distribuidos en superficie, de modo que con ello se obtenga una lluvia densa de agua que permita el enfriamiento de los equipos principales de cada cabezo.

### **3.7. Recuperación de vapores de Gas Natural**

A fin de recuperar el gas que se produce durante la carga de los estanques de almacenamiento o debido a intercambios de calor no deseados en algún punto del sistema de descarga del GNL, la planta considera un sistema de recuperación de gas, compuesto, fundamentalmente, por los siguientes equipos:

- 1 recipiente separador de gotas, vertical, diámetro aproximado de 2m y altura 3,2 m

- 1 compresor de gas de pistón, con capacidad nominal de 4.400 [kg/h]
- 2 compresores centrífugos de gas, con capacidad nominal de 27.000 [kg/h] cada uno

Adicionalmente, existe una tubería de 16 pulgadas que se utiliza para la recirculación de los gases recuperados en los estanques de almacenamiento. Todas las tuberías están aisladas térmicamente, con el objeto de evitar el calentamiento del GNL y las sobre presiones por temperatura.

### **3.8. Instalaciones auxiliares**

El terminal de GNL considera las siguientes instalaciones auxiliares principales:

- Suministro de Gas Combustible
- Suministro de Combustible Diesel
- Sistema de Nitrógeno para inertización
- Sistema de Aire Comprimido
- Sistema de Suministro Eléctrico
- Sistema de control instrumentación y seguridad
- Sistema de Suministro de Agua Potable
- Sistema de Control Incendios

#### **3.8.1 Sistema de Combustible a Gas**

Algunos equipos del terminal utilizarán gas natural como combustible. Entre éstos cabe destacar el equipo vaporizador de respaldo (un vaporizador del tipo combustión sumergida, SCV).

El gas natural que se requiera utilizar como combustible para equipos del proyecto se obtendrá del sistema de recuperación de vapor de gas, específicamente, desde la descarga del compresor del sistema de recuperación de vapor.

### **3.8.2 Abastecimiento de Combustible Diesel**

El uso de combustible Diesel está asociado principalmente al funcionamiento a equipos de respaldo críticos, tales como las bombas de respaldo para la impulsión de agua de mar de calentamiento y de la red de incendios.

La planta considera un estanque de almacenamiento de Diesel dispuesto en un área segura, dando cumplimiento a la legislación vigente (D.S. 379/86 del Ministerio de Economía) en cuanto al tipo de estanque y sus condiciones de operación.

### **3.8.3 Sistema de Nitrógeno**

El nitrógeno vaporizado se utiliza normalmente en los sellos de los compresores, en las conexiones de los brazos de descarga, en el cabezal de la antorcha y para inertización de tuberías en caso de paralización momentánea del proceso.. Adicionalmente, se utiliza para purgar diferentes equipos, como por ejemplo las bombas de GNL.

El nitrógeno líquido que se requiera será abastecido al terminal por medio de camiones y será almacenado en un estanque habilitado para este fin. El nitrógeno vaporizado será utilizado a una presión de 7 bar. (g).

### **3.8.4 Sistema de Aire Comprimido**

La planta considera un sistema de compresión de aire que proporcione aire comprimido seco para purgar los equipos de las instalaciones en tierra y las instalaciones de descarga

del cabezo del muelle. También se requiere aire comprimido para la operación de los sistemas de control y para la operación de elementos neumáticos.

La planta y el sistema de aire comprimido consideran los siguientes componentes:

- Dos compresores que funcionan a motor
- Dos unidades de secado de aire
- Receptor de aire

Cada compresor tiene capacidad para generar aire libre de aceites a un flujo de 10  $[m^3/min]$ . Cada unidad se compone de un compresor que trabaja con un motor, un filtro, un enfriador, instrumentación de control y un receptáculo de aire húmedo. Debido a que el suministro de aire es una actividad crítica para la operación de la planta, los sistemas de aire comprimido estarán conectados al sistema de respaldo de suministro eléctrico, de modo de asegurar el suministro de aire instrumental sin interrupciones. Se utilizará el compresor de respaldo cada vez que la presión del aire instrumental baje por debajo de los 80 psig.

### **3.8.5 Sistema de suministro eléctrico**

La línea aérea de alimentación al Terminal será en 110 kV, suministrado por terceros mediante contrato con una compañía eléctrica.

### **3.8.6 Sistema de Control de Incendio**

El terminal contará con un sistema de detección de fuga de gases y de incendios, que en forma automática actuará para aislar los circuitos involucrados en la emergencia, de manera de minimizar los elementos combustibles en el área afectada.

En caso de incendio, los estanques y la planta de regasificación contarán con un sistema de generación de espuma contra incendio, la cual desplaza el aire sofocando el fuego.

El área de estanques y la planta de regasificación cuentan con diques de contención y sumideros, que canalizan y recogen las posibles fugas de GNL, y bombas que transfieren el GNL a uno de los estanques. Además se contará con un sistema de agua contra incendio para la refrigeración de las áreas adyacentes al siniestro. Este sistema será alimentado con agua de mar a través de bombas instaladas en el muelle y contará con un estanque y una red alimentada mediante bombas.

La red se mantendrá en presión mediante una bomba jockey, el circuito cubrirá todas las instalaciones del terminal, incluyendo muelle, estanques de GNL, planta de regasificación, oficinas, talleres y cualquier otra instalación que lo requiera, para lo que se proyecta la adecuada distribución de grifos para la toma de agua de incendio.

Para obtener la protección del cabezo del muelle se contempla una derivación de 6" en acero al carbono con tres monitores fijos de 250 galones por minuto por unidad, convenientemente distribuidos en superficie, de modo que con ello se obtenga una lluvia densa de agua que permita el enfriamiento de los equipos principales del cabezo.

Otros elementos de control de fuego, tales como extintores portátiles manuales y rodados se instalarán en lugares estratégicos, estos serán provistos y mantenidos de acuerdo a NFPA 10 (Estándares para extintores portátiles).

## **4. METODOLOGÍA DE ANALISIS DE RIESGOS**

Toda operación productiva tiene riesgos, y si bien éstos no pueden ser eliminados completamente, hay técnicas que permiten identificarlos, acotarlos y minimizarlos.

Las metodologías de análisis de riesgos, conocidas generalmente como PHA (Process Hazards Analysis), se están convirtiendo rápidamente en un estándar de la industria a nivel mundial.

Algunas metodologías PHA se utilizan para identificar riesgos (métodos cualitativos) y otras para evaluar riesgos (generalmente de naturaleza cuantitativa). En este trabajo utilizaremos exclusivamente el método HAZOP como método PHA para identificar riesgos.

### **4.1 Causas de Accidentes es Instalaciones de Procesos**

Las causas principales de lo accidentes acaecidos en plantas de proceso pueden clasificarse en los siguientes tres grupos, dejando al margen las ingerencias de agentes externos al proceso y fuerzas naturales (proximidades a instalaciones peligrosas, viento, heladas, incendios, etc.).

#### **4.1.1 Fallos de Componentes**

Dentro de este punto se consideran los siguientes fallos mas frecuentes:

- Diseño inapropiado frente a presión interna, fuerzas externas, corrosión del medio y temperaturas
- Fallos de elementos tales como bombas, compresores, ventiladores, agitadores, etc.
- Fallos de sistemas de control tales como sensores de presión, temperaturas, controladores de nivel, reguladores de flujo, etc.

- Fallos de sistemas específicos de seguridad tales como válvulas de seguridad, discos de ruptura, sistemas de alivio de presiones, sistemas de neutralización, etc.
- Fallos de juntas y conexiones

#### **4.1.2 Desviaciones de las condiciones normales de operación**

Dentro de este punto se consideran los siguientes fallos mas frecuentes:

- Alteraciones descontroladas de los parámetros fundamentales de proceso (presión, temperatura, flujo, concentraciones)
- Fallos en servicios tales como enfriamiento y calefacción
- Fallos en procedimientos de parada o puesta en marcha
- Formación de subproductos, residuos o impurezas, causantes de reacciones colaterales indeseadas.

#### **4.1.3 Errores humanos y de organización**

Dentro de este punto se consideran los siguientes fallos mas frecuentes:

- Errores de operación
- Desconexión de sistemas de seguridad a causa de frecuentes falsas alarmas
- Confusión de sustancias peligrosas
- Errores de Comunicación
- Incorrecta reparación o trabajo de mantenimiento
- Realización de trabajo no autorizados

Evidentemente la seguridad de una instalación de proceso debe iniciarse en la fase de diseño seleccionando los debidos componentes y montándolos bajo normas y con rigurosos controles de calidad. Al respecto, el análisis de riesgos es una excelente herramienta para



determinar durante la fase de construcción de una planta, los posibles riesgos y medidas que se pueden tomar para minimizarlos.

## 4.2 Análisis Hazop

La técnica del HAZOP fue desarrollada en el Reino Unido en la década del 60, por la compañía Imperial Chemical Industries en el estudio de procesos químicos. El resto de las metodologías de análisis de riesgos actualmente existentes han surgido a partir de ésta.

Otras metodologías disponibles para realizar los estudios de identificación de riesgos son las siguientes:

- *What-If*
- *Check List*
- *What-If / Check List*
- FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*)

La selección de la técnica PHA de identificación de riesgos a aplicar se realiza en función del propósito del análisis, resultados deseados, información disponible, complejidad de la instalación, etapa del desarrollo de la instalación y otros factores.

De todas las metodologías, el HAZOP es el método más completo y riguroso por lo que es generalmente la técnica preferida por las empresas. El análisis de HAZOP se basa en identificar cuatro elementos clave:

- La fuente o **causa** del riesgo.
- La **consecuencia**, impacto o efecto resultante de la exposición a este riesgo.
- Las **salvaguardas** existentes o controles, destinados a prevenir la ocurrencia de la causa o mitigar las consecuencias asociadas.

- Las **recomendaciones** o acciones que pueden ser tomadas si se considera que las salvaguardas o controles son inadecuados o directamente no existen.

El objetivo de la técnica de HAZOP es identificar los potenciales riesgos en las instalaciones y evaluar los problemas de operabilidad. Aunque la identificación de riesgos es el objetivo principal del método, los problemas de operabilidad deben ser revelados cuando éstos tienen impacto negativo en la rentabilidad de la instalación o conducen también a riesgos. Se determinan así los escenarios peligrosos para el personal, instalaciones, terceras partes y medio ambiente, y las situaciones que derivan en una pérdida de producción.

### **4.3 Descripción del método Hazop**

El HAZOP es una técnica de identificación de riesgos inductiva basada en la premisa de que los riesgos, los accidentes o los problemas de operabilidad, se producen como consecuencia de una desviación de las variables de proceso con respecto a los parámetros normales de operación en un sistema dado y en una etapa determinada. Por tanto, ya se aplique en la etapa de diseño, como en la etapa de operación, la sistemática consiste en evaluar, en todas las líneas y en todos los sistemas las consecuencias de posibles desviaciones en todas las unidades de proceso, tanto si es continuo como discontinuo. La técnica consiste en analizar sistemáticamente las causas y las consecuencias de unas desviaciones de las variables de proceso, planteadas a través de unas "palabras guía".

La realización de un análisis HAZOP consta de las siguientes etapas que se describen a continuación.

#### **4.3.1 Definición del área de estudio**

Consiste en delimitar las áreas a las cuales se aplica la técnica. En una determinada instalación de proceso, considerada como el área objeto de estudio, se definirán para mayor

comodidad una serie de subsistemas o líneas de proceso que corresponden a entidades funcionales propias: línea de carga a un depósito, separación de disolventes, reactores, etc.

#### **4.3.2 Definición de los nodos**

En cada uno de estos subsistemas o líneas se deberán identificar una serie de nodos o puntos claramente localizados en el proceso. Por ejemplo, tubería de alimentación de una materia prima a un reactor, impulsión de una bomba, depósito de almacenamiento, etc.

Cada nodo deberá ser identificado y numerado correlativamente dentro de cada subsistema y en el sentido del proceso para mejor comprensión y comodidad. La técnica HAZOP se aplica a cada uno de estos puntos. Cada nodo vendrá caracterizado por variables de proceso: presión, temperatura, caudal, nivel, composición, viscosidad, etc.

La facilidad de utilización de esta técnica requiere reflejar en esquemas simplificados de diagramas de flujo todos los subsistemas considerados y su posición exacta.

El documento que actúa como soporte principal del método es el diagrama de flujo de proceso, o de tuberías e instrumentos, P&ID (Anexo 1)

#### **4.3.3 Aplicación de las palabras guía**

Las "palabras guía" se utilizan para indicar el concepto que representan a cada uno de los nodos definidos anteriormente que entran o salen de un elemento determinado. Se aplican tanto a acciones (reacciones, transferencias, etc.) como a parámetros específicos (presión, caudal, temperatura, etc.). La tabla 4.1 presenta algunas palabras guía y su significado.

**Tabla 4.1: Palabras guías aplicable en el método Hazop**

<b>Palabra guía</b>	<b>Significado</b>	<b>Ejemplo de desviación</b>
No	Ausencia de la variable a la cual se aplica	No hay flujo en una línea
Mas	Aumento Cuantitativo de una variable	Mas flujo Mas temperatura
Menos	Disminución cuantitativa de una variable	Menos Caudal Menos Temperatura
Inverso	Analiza la inversión en el sentido de la variable. Se obtiene el efecto contrario al que se pretende	Flujo Inverso
Además de	Aumento cualitativo. Se obtiene algo más que las intenciones del diseño	Impurezas o una fase extraordinaria
Parte de	Disminución cualitativa. Parte de lo que debería ocurrir sucede según lo previsto	Disminución de la composición en una mezcla
Diferente de	Actividades distintas respecto a la operación normal	Cualquier actividad

Para cada nodo se plantea de forma sistemática todas las desviaciones que implican la aplicación de cada palabra guía a una determinada variable o actividad. Para realizar un análisis exhaustivo, se deben aplicar todas las combinaciones posibles entre palabra guía y variable de proceso, descartándose durante la sesión las desviaciones que no tengan sentido para un nudo determinado.

Paralelamente a las desviaciones se deben indicar las causas posibles de estas desviaciones y posteriormente las consecuencias de estas desviaciones.

En la tabla 4.1 se presentan algunos ejemplos de aplicación de palabras guías.

#### 4.4 Sesiones HAZOP

Las sesiones HAZOP tienen como objetivo la realización sistemática del proceso descrito anteriormente, analizando las desviaciones en todas las líneas o nudos seleccionados a partir de las palabras guía aplicadas a determinadas variables o procesos. Se determinan las posibles causas, las posibles consecuencias, las respuestas que se proponen, así como las acciones a tomar.

Toda esta información se presenta en forma de tabla que sistematiza la entrada de datos y el análisis posterior. A continuación en la tabla 4.2 se presenta el formato de recogida del HAZOP aplicado a un proceso continuo.

**Tabla 4.2: Formato de recogida de datos Hazop**

Planta:				
Sistema:				
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Medidas Preventivas

#### 4.5 Ventajas e inconvenientes del método

El método, principalmente cubre los objetivos para los que se ha diseñado, y además:

1. Es una buena ocasión para contrastar distintos puntos de vista de una instalación.
2. Es una técnica sistemática que puede crear, desde el punto de vista de la seguridad, hábitos metodológicos útiles.
3. El coordinador mejora su conocimiento del proceso.
4. No requiere prácticamente recursos adicionales, con excepción del tiempo de dedicación.

Los principales inconvenientes, pueden ser:

1. Al ser una técnica cualitativa, aunque sistemática, no hay una valoración real de la frecuencia de las causas que producen una determinada consecuencia, ni tampoco el alcance de la misma.
2. Las modificaciones que haya que realizar en una determinada instalación como consecuencia de un HAZOP, deben analizarse con mayor detalle además de otros criterios, como los económicos y los posibles riesgos asociados al cambio
3. Los resultados que se obtienen dependen en gran medida de la calidad y capacidad de los miembros del equipo de trabajo.
4. Depende mucho de la información disponible, hasta tal punto que puede omitirse un riesgo si los datos de partida son erróneos o incompletos.

## 5. ANALISIS DE RIESGOS DEL SISTEMA

A continuación se presenta el análisis de riesgos utilizando la metodología HAZOP desarrollado a los equipos más importantes ubicados en la planta de regasificación de Gas natural licuado ubicada en Ventanas, Región de Valparaíso.

### 5.1 Estanques de Almacenamiento (E101 y E102)

Las variables de proceso analizadas para este equipo son:

Flujo

Presión

Temperatura

Los nodos a considerar son los siguientes:

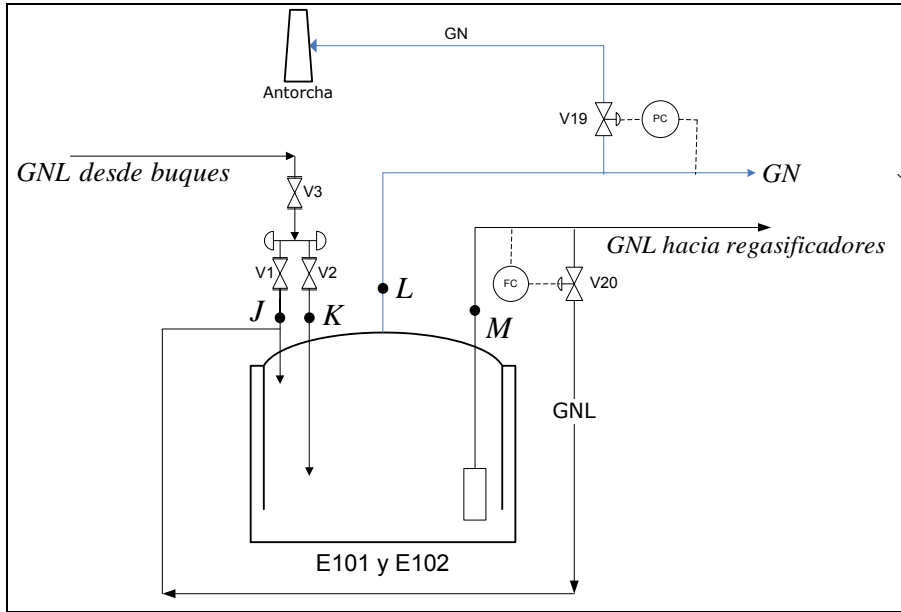
**Nodo J:** Tubería de descarga de GNL desde los barcos metaneros (Tubería para GNL de alta densidad)

**Nodo K:** Tubería de descarga de GNL desde los barcos metaneros (Tubería para GNL de baja densidad)

**Nodo L:** Tubería de descarga de vapores provenientes de Boil Off.

**Nodo M:** Tubería de transferencia de GNL a los recondensadores.

A continuación en la figura 5.1 se presenta un diagrama simplificado de los nodos analizados para los estanques de almacenamiento.



**Fig. 5.1: Estanques de almacenamiento**



<b>Sistema:</b> Nodo J, Tubería de descarga de GNL desde los barcos metaneros (Tubería para GNL de alta densidad)				
<b>Variables de proceso:</b> Flujo, temperatura y Presión				
<b>Palabra Guía</b>	<b>Desviación</b>	<b>Causas</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Medidas Preventivas</b>
No	No Flujo	Válvula V1 cerrada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla proceso de transferencia de GNL desde los barcos metaneros.</li> <li>• Falla de bombas elevadoras por sobrepresión</li> <li>• Generación del fenómeno denominado Rollover por inutilización del ducto de descarga de gas de alta densidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema que controle la apertura de la válvula V1 en caso de sobrepresión en los ductos de transferencia de GNL.</li> <li>• La válvula V1 debe ser considerada para que siempre falle abierta (Modo de fallo)</li> </ul>
		Válvula V3 cerrada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla proceso de transferencia de GNL desde los barcos metaneros.</li> <li>• Falla de bombas elevadoras (J100) por sobrepresión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema que controle la apertura de la válvula V3 en caso de sobrepresión en los ductos de transferencia de GNL.</li> <li>• La válvula V3 debe ser considerada para que siempre falle abierta (Modo de fallo)</li> </ul>

		<p>Obstrucción de la tubería de transferencia de gas natural desde los metaneros (Obstrucción antes del nodo J)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla proceso de transferencia de GNL desde los barcos metaneros</li> <li>• Falla de bombas elevadoras por sobrepresión</li> <li>• Generación de el fenómeno denominado Rollover por inutilización del ducto de descarga de gas de alta densidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de flujo en las tuberías para detección de cualquier anomalía</li> <li>• Inspección y mantención periódica de las tuberías de transferencia.</li> </ul>
		<p>Rotura de la tubería de transferencia de gas natural desde los metaneros (antes del nodo J)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla del proceso de transferencia de GNL desde los barcos metaneros</li> <li>• Vaporización de GNL con riesgos de explosión</li> <li>• Detención del proceso de descarga de GNL desde los metaneros</li> <li>• Detención del proceso de regasificación de GNL.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y sensores de detección de gas metano</li> <li>• El sistema de tuberías de descarga deberá disponer de válvulas de corte para limitar el volumen descargado de GNL.</li> </ul>

				<ul style="list-style-type: none"> <li>• El sistema de tuberías de GNL debe estar diseñado para soportar expansiones y contracciones esperables debido a cambios en la temperatura y otras fallas del sistema</li> <li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de GNL para inertización antes de reiniciar el funcionamiento de la planta.</li> <li>• Inspección y mantención periódica de las tuberías de transferencia</li> </ul>
Menos	Menos Flujo	Válvula V1 mas cerrada de lo normal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la tasa de transferencia de GNL desde los barcos metaneros.</li> <li>• Falla de bombas elevadoras por sobrepresión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema que controle la apertura de la válvula V1 en caso de sobrepresión en los ductos de transferencia de GNL.</li> </ul>

		Válvula V3 mas cerrada de lo normal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la tasa de transferencia de GNL desde los barcos metaneros.</li> <li>• Falla de bombas elevadoras por sobrepresión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema que controle la apertura de la válvula V3 en caso de sobrepresión en los ductos de transferencia de GNL</li> </ul>
		Obstrucción parcial de las tuberías (antes del nodo J)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la tasa de transferencia de GNL desde los barcos metaneros</li> <li>• Falla de bombas elevadoras por sobrepresión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de flujo en las tuberías para detección de cualquier anomalía</li> </ul>
		Fuga de GNL en las tuberías de descarga de los metaneros por rotura de tuberías (Antes del nodo J)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la tasa de transferencia de GNL desde los barcos metaneros</li> <li>• Vaporización de GNL con riesgos de explosión</li> <li>• Detención del proceso de descarga de GNL desde los metaneros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y sensores de detección de gas metano</li> <li>• El sistema de tuberías de descarga deberá disponer de válvulas de</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"><li>• Detención del proceso de regasificación de GNL</li></ul>	<p>corte para limitar el volumen descargado de GNL.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• El sistema de tuberías de GNL debe estar diseñado para soportar expansiones y contracciones esperables debido a cambios en la temperatura y otras fallas del sistema</li><li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de GNL para inertización antes de reiniciar el funcionamiento de la planta.</li><li>• Inspección y mantenimiento periódica de las tuberías de transferencia</li></ul>
--	--	--	--	--

Menos	Menos Presión	Obstrucción parcial o total de la tubería de transferencia de GNL desde los metaneros (Antes del nodo J)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de transferencia de GNL en caso de obstrucción total</li> <li>• Disminución de la tasa de transferencia de GNL en caso de obstrucción parcial</li> <li>• Aumento de la presión en la porción de tuberías que se encuentra antes de la obstrucción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de flujo en las tuberías para detección de cualquier anomalía</li> <li>• Inspección y mantenimiento periódica de las tuberías de transferencia</li> </ul>
		Fuga de GNL en las tuberías de descarga de los metaneros debido a roturas o fallas en las empaquetaduras (Antes del nodo J)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la tasa de transferencia de GNL desde los barcos metaneros</li> <li>• Vaporización de GNL con riesgos de explosión</li> <li>• Detención del proceso de descarga de GNL desde los metaneros</li> <li>• Detención del proceso de regasificación de GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y sensores de detección de gas metano</li> <li>• El sistema de tuberías de descarga deberá disponer de válvulas de corte para limitar el volumen descargado de GNL.</li> <li>• El sistema de tuberías de GNL debe estar diseñado para soportar expansiones y contracciones esperables debido a cambios en la</li> </ul>

				<p>temperatura y otras fallas del sistema</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de GNL para inertización antes de reiniciar el funcionamiento de la planta.</li> <li>• Inspección y mantenimiento periódica de las tuberías de transferencia</li> </ul>
Mas	Mas Presión	Obstrucción parcial o total de la tubería de transferencia de GNL desde los metaneros (después del nodo J)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de transferencia de GNL en caso de obstrucción total</li> <li>• Disminución de la tasa de transferencia de GNL en caso de obstrucción parcial</li> <li>• Aumento de la presión en la porción de tuberías que se encuentra antes de la obstrucción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de flujo en las tuberías para detección de cualquier anomalía</li> <li>• Instalación de sensores de presión en las tuberías para detección de cualquier anomalía</li> </ul>

		Aumento de la temperatura del GNL en el sistema de tuberías	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla en el aislamiento del sistema de tuberías de descarga de GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de temperatura en las tuberías de descarga con cobertura suficiente para asegurar el monitoreo de todas las líneas.</li> </ul>
Mas	Más Temperatura.	Falla de aislamiento en el sistema de las tuberías de descarga	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión en el sistema de tuberías de descarga por vaporización del GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de temperatura en las tuberías de descarga con cobertura suficiente para asegurar el monitoreo de todas las líneas</li> </ul>



<b>Sistema:</b> Nodo K, Tubería de descarga de GNL desde los barcos metaneros (Tubería para GNL de baja densidad)				
<b>Variables de proceso:</b> Flujo, temperatura y Presión				
<b>Palabra Guía</b>	<b>Desviación</b>	<b>Causas</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Medidas Preventivas</b>
No	No Flujo	Válvula V2 cerrada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla proceso de transferencia de GNL desde los barcos metaneros</li> <li>• Falla de bombas elevadoras por sobrepresión</li> <li>• Generación de el fenómeno denominado Rollover por inutilización del ducto de descarga de gas de baja densidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema que controle la apertura de la válvula V2 en caso de sobrepresión en los ductos de transferencia de GNL.</li> <li>• La válvula V2 debe quedar abierta en caso de falla (Modo de fallo)</li> </ul>
		Válvula V3 cerrada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla proceso de transferencia de GNL desde los barcos metaneros.</li> <li>• Falla de bombas elevadoras por sobrepresión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema que controle la apertura de la válvula V3 en caso de sobrepresión en los ductos de transferencia de GNL.</li> </ul>

		<p>Obstrucción de la tubería de transferencia de gas natural desde los metaneros (Obstrucción antes del nodo K)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla proceso de transferencia de GNL desde los barcos metaneros</li> <li>• Falla de bombas elevadoras por sobrepresión</li> <li>• Generación de el fenómeno denominado Rollover por inutilización del ducto de descarga de gas de alta densidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de flujo en las tuberías para detección de cualquier anomalía</li> <li>• La válvula V3 debe quedar abierta en caso de falla (Modo de fallo)</li> </ul>
		<p>Rotura de la tubería de transferencia de gas natural desde los metaneros (antes del nodo K)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla del proceso de transferencia de GNL desde los barcos metaneros</li> <li>• Vaporización de GNL con riesgos de explosión</li> <li>• Detención del proceso de descarga de GNL desde los metaneros</li> <li>• Detención del proceso de regasificación de GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y sensores de detección de gas metano</li> <li>• El sistema de tuberías de descarga deberá disponer de válvulas de corte para limitar el volumen descargado de GNL.</li> <li>• El sistema de tuberías de GNL debe estar diseñado para soportar expansiones y contracciones esperables debido a cambios en la</li> </ul>

				<p>temperatura y otras fallas del sistema</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de GNL para inertización antes de reiniciar el funcionamiento de la planta.</li> <li>• Inspección y mantenimiento periódico de las tuberías de transferencia</li> </ul>
Menos	Menos Flujo	Válvula V2 mas cerrada de lo normal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la tasa de transferencia de GNL desde los barcos metaneros.</li> <li>• Falla de bombas elevadoras por sobrepresión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema que controle la apertura de la válvula V2 en caso de sobrepresión en los ductos de transferencia de GNL.</li> </ul>
		Válvula V3 mas cerrada de lo normal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la tasa de transferencia de GNL desde los barcos metaneros.</li> <li>• Falla de bombas elevadoras por sobrepresión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema que controle la apertura de la válvula V3 en caso de sobrepresión en los ductos de transferencia de GNL</li> </ul>

		Obstrucción parcial de las tuberías (antes del nodo K)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la tasa de transferencia de GNL desde los barcos metaneros</li> <li>• Falla de bombas elevadoras por sobrepresión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de flujo en las tuberías para detección de cualquier anomalía</li> <li>• Inspección y mantenimiento periódica de las tuberías de transferencia</li> </ul>
		Fuga de GNL en las tuberías de descarga de los metaneros (Antes del nodo K)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la tasa de transferencia de GNL desde los barcos metaneros</li> <li>• Vaporización de GNL con riesgos de explosión</li> <li>• Detención del proceso de descarga de GNL desde los metaneros</li> <li>• Detención del proceso de regasificación de GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y sensores de detección de gas metano</li> <li>• El sistema de tuberías de descarga deberá disponer de válvulas de corte para limitar el volumen descargado de GNL.</li> <li>• El sistema de tuberías de GNL debe estar</li> </ul>

				<p>diseñado para soportar expansiones y contracciones esperables debido a cambios en la temperatura y otras fallas del sistema</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de GNL para inertización antes de reiniciar el funcionamiento de la planta.</li> <li>• Inspección y mantenimiento periódica de las tuberías de transferencia</li> </ul>
Menos	Menos Presión	Obstrucción parcial o total de la tubería de transferencia de GNL desde los metaneros (Antes del nodo K)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de transferencia de GNL en caso de obstrucción total</li> <li>• Disminución de la tasa de transferencia de GNL en caso de obstrucción parcial</li> <li>• Aumento de la presión en la porción de tuberías que se encuentra antes de la obstrucción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de flujo en las tuberías para detección de cualquier anomalía</li> <li>• Instalación de sensores de presión en las tuberías para detección de cualquier anomalía</li> <li>• Inspección y mantenimiento periódica de las tuberías de</li> </ul>

				transferencia
		Fuga de GNL en las tuberías de descarga de los metaneros (Antes del nodo K)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la tasa de transferencia de GNL desde los barcos metaneros</li> <li>• Vaporización de GNL con riesgos de explosión</li> <li>• Detención del proceso de descarga de GNL desde los metaneros</li> <li>• Detención del proceso de regasificación de GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías, con sensores de detección de gas metano</li> <li>• El sistema de tuberías de descarga deberá disponer de válvulas de corte para limitar el volumen descargado de GNL.</li> <li>• El sistema de tuberías de GNL debe estar diseñado para soportar expansiones y contracciones esperables debido a cambios en la temperatura y otras fallas del sistema</li> <li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección</li> </ul>

				<p>de nitrógeno a las líneas de GNL para inertización antes de reiniciar el funcionamiento de la planta.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspección y mantenimiento periódica de las tuberías de transferencia</li> </ul>
Mas	Mas Presión	Obstrucción parcial o total de la tubería de transferencia de GNL desde los metaneros (Después del nodo K)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de transferencia de GNL en caso de obstrucción total</li> <li>• Disminución de la tasa de transferencia de GNL en caso de obstrucción parcial</li> <li>• Aumento de la presión en la porción de tuberías que se encuentra antes de la obstrucción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de flujo en las tuberías para detección de cualquier anomalía</li> </ul>
		Aumento de la temperatura del GNL en el sistema de tuberías	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla en el aislamiento del sistema de tuberías de descarga de GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de temperatura en las tuberías de descarga con cobertura suficiente para asegurar el monitoreo de todas las líneas.</li> </ul>

Mas	Más Temperatura.	Falla de aislamiento en el sistema de las tuberías de descarga	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aumento de la presión en el sistema de tuberías de descarga por vaporización del GNL</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Instalación de sensores de temperatura en las tuberías de descarga con cobertura suficiente para asegurar el monitoreo de todas las líneas</li></ul>
-----	---------------------	--	--	--



<b>Sistema:</b> Nodo L, Tubería de descarga de vapores provenientes de Boil Off.				
<b>Variables de proceso:</b> Flujo, temperatura y Presión				
<b>Palabra Guía</b>	<b>Desviación</b>	<b>Causas</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Medidas Preventivas</b>
Mas	Mas Flujo	Aumento de la temperatura dentro de los estanques de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de presión dentro del estanque de almacenamiento</li> <li>• Aumento de la tasa de evaporación de GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se debe contar con un sistema de antorchas para quemar el GNL en caso aumento de la tasa de regasificación</li> <li>• El estanque debe estar conectado en forma directa al sistema de antorchas el que será utilizado solo en caso de emergencia.</li> </ul>
		Formación de dos capas de GNL con diferentes densidades (estratificación)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mezcla muy rápida de ambas capas y evaporación acelerada de GNL producto del calentamiento de la capa inferior</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se debe contar con un sistema de antorchas para quemar el GNL en caso aumento de la tasa de regasificación. La antorcha será utilizada solo en caso de emergencia.</li> <li>• Instalación de tuberías de llenado de los estanques de almacenamiento por</li> </ul>

				<p>tope y fondo (Tuberías de descargas de alta y baja densidad)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de medición de la densidad del GNL descargado desde los metaneros.</li> </ul>
Mas	Mas Presión	Aumento de la temperatura del GNL dentro de los estanques por falla en el sistema de aislamiento de tuberías o falla de aislamiento de las paredes de los estanques	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de presión dentro del estanque de almacenamiento</li> <li>• Aumento de la tasa de evaporación de GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se debe contar con un sistema de antorchas para quemar el GNL en caso aumento de la tasa de regasificación. El sistema solo se utilizará en caso de emergencia.</li> <li>• Se debe contar con sensores de temperatura en las tuberías y dentro del estanque de almacenamiento.</li> </ul>
Mas	Mas Temperatura	Falla de aislamiento en el sistema de las tuberías o falla de aislamiento de las paredes de los estanques.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión en el sistema de tuberías de descarga por vaporización del GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de temperatura en las tuberías de descarga con cobertura suficiente para asegurar el monitoreo de todas las líneas</li> </ul>

		Falla de aislamiento en los estanques de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión en el sistema de tuberías de descarga por vaporización del GNL</li> <li>• Aumento de la temperatura del GNL dentro de los estanques de almacenamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de temperatura en las tuberías de descarga con cobertura suficiente para asegurar el monitoreo de todas las líneas</li> </ul>
Inverso	Flujo Inverso	Generación de condiciones de vacío dentro del estanque de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrastre de parte de GN a través de las tuberías de traspaso de GNL al recondensador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se debe disponer de sistema de inyección de gas nitrógeno para rotura de vacío</li> <li>• Se debe disponer válvulas de descarga conectadas directamente al estanque de almacenamiento para rotura de vacío.</li> </ul>

<b>Sistema:</b> Nodo M, Tubería de descarga de GNL a los recondensadores.				
<b>Variables de proceso:</b> Flujo, temperatura y Presión				
<b>Palabra Guía</b>	<b>Desviación</b>	<b>Causas</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Medidas Preventivas</b>
No	No Flujo	Estanque de almacenamiento vacío	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cavitación de las bombas primarias (Bombas que impulsan el GNL desde los estanques de almacenamiento al recondensador)</li> <li>• Paralización del proceso de regasificación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sensor de nivel dentro del estanque de almacenamiento. Este sensor regulará el funcionamiento de las bombas primarias.</li> </ul>
		Obstrucción de las tuberías antes del nodo M	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación</li> <li>• Aumento de la presión en la porción de tubería antes del nodo M</li> <li>• Falla de la bomba primaria por sobrepresión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de flujo en las tuberías para detección de cualquier anomalía</li> <li>• Instalación de un sistema de recirculación del GNL a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Las bombas primarias deberán contar con un sistema de corte automático en caso de sobrepresión en las tuberías.</li> </ul>

		Rotura de la tubería antes del nodo M	<ul style="list-style-type: none"><li>• No hay transferencia de GNL desde los estanques de almacenamiento al recondensador</li><li>• Vaporización de Gas natural con riesgo de explosión</li><li>• Detención del proceso de regasificación.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y sensores de detección de gas metano</li><li>• El sistema de tuberías de descarga deberá disponer de válvulas de corte para limitar el volumen descargado de GNL.</li><li>• El sistema de tuberías de GNL debe estar diseñado para soportar expansiones y contracciones esperables debido a cambios en la temperatura y otras fallas del sistema</li><li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de GNL para inertización antes de reiniciar el funcionamiento de la planta.</li></ul>
--	--	---------------------------------------	---	---

				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspección y mantenimiento periódica de las tuberías de transferencia</li> </ul>
		Falla de las bombas primarias	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de bombas primarias de respaldo</li> <li>• Instalación de una bomba primaria de respaldo para asegurar funcionamiento en caso de falla en el suministro eléctrico. La bomba de respaldo deberá ser accionada por una turbina a vapor.</li> </ul>
Menos	Menos Flujo	Falla bomba primaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la tasa de regasificación de GNL</li> <li>• Si el flujo baja demasiado se puede provocar la cavitación de las bombas secundarias.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de bombas primarias de respaldo</li> <li>• Instalación de una bomba primaria de respaldo para asegurar funcionamiento en caso de falla en el suministro eléctrico. La bomba de respaldo deberá ser</li> </ul>

				accionada por una turbina a vapor.
		Fuga de GNL antes del Nodo M	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la tasa de transferencia de GNL desde los estanques de almacenamiento al recondensador</li> <li>• Vaporización de Gas natural con riesgo de explosión</li> <li>• Detención del proceso de regasificación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y sensores de detección de gas metano</li> <li>• El sistema de tuberías de descarga deberá disponer de válvulas de corte para limitar el volumen descargado de GNL.</li> <li>• El sistema de tuberías de GNL debe estar diseñado para soportar expansiones y contracciones esperables debido a cambios en la temperatura y otras fallas del sistema</li> <li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de GNL para inertización antes de reiniciar el</li> </ul>

				<p>funcionamiento de la planta.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspección y mantenimiento periódica de las tuberías de transferencia</li> </ul>
		<p>Obstrucción parcial de las tuberías antes del nodo M</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la tasa de transferencia de GNL desde los estanques de almacenamiento al recondensador</li> <li>• Aumento de la presión en la porción de tubería antes del nodo M</li> <li>• Falla de la bomba primaria por sobrepresión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de flujo en las tuberías para detección de cualquier anomalía</li> <li>• Instalación de un sistema de recirculación del GNL a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Las bombas primarias deberán contar con un sistema de corte automático en caso de sobrepresión en las tuberías.</li> <li>• Inspección y mantenimiento periódica de las tuberías de transferencia</li> </ul>



Menos	Menos Presión	Obstrucción parcial o total en las tuberías antes del nodo M	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación en caso de obstrucción total</li> <li>• Disminución de la tasa de transferencia de GNL desde los estanques de almacenamiento al recondensador en caso de obstrucción parcial</li> <li>• Aumento de la presión en la porción de tubería antes del nodo M</li> <li>• Falla de la bomba primaria por sobrepresión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de flujo en las tuberías para detección de cualquier anomalía</li> <li>• Instalación de un sistema de recirculación del GNL a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Las bombas primarias deberán contar con un sistema de corte automático en caso de sobrepresión en las tuberías.</li> </ul>
		Fuga de GNL antes del nodo M	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la tasa de transferencia de GNL desde los estanques de almacenamiento al recondensador</li> <li>• Vaporización de Gas natural con riesgo de explosión</li> <li>• Detención del proceso de regasificación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y sensores de detección de gas metano</li> <li>• El sistema de tuberías de descarga deberá disponer de válvulas de corte para limitar el volumen descargado de GNL.</li> <li>• El sistema de tuberías de</li> </ul>

				<p>GNL debe estar diseñado para soportar expansiones y contracciones esperables debido a cambios en la temperatura y otras fallas del sistema</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de GNL para inertización antes de reiniciar el funcionamiento de la planta.</li> <li>• Inspección y mantención periódica de las tuberías de transferencia</li> </ul>
Mas	Mas Presión	Obstrucción parcial o total de la tubería después del nodo M	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación en caso de obstrucción total</li> <li>• Disminución de la tasa de transferencia de GNL desde los estanques de almacenamiento al recondensador en caso de obstrucción parcial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de flujo en las tuberías para detección de cualquier anomalía</li> <li>• Instalación de un sistema de recirculación del GNL a los estanques de almacenamiento</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión en la porción de tubería antes del nodo M</li> <li>• Falla de la bomba primaria por sobrepresión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las bombas primarias deberán contar con un sistema de corte automático en caso de sobrepresión en las tuberías.</li> </ul>
		Aumento de la temperatura del GNL en el sistema de tuberías	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla en el aislamiento del sistema de tuberías de descarga de GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de temperatura en las tuberías de descarga con cobertura suficiente para asegurar el monitoreo de todas las líneas.</li> </ul>
Mas	Mas temperatura	Falla de aislamiento en el sistema de las tuberías	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión en el sistema de tuberías de descarga por vaporización del GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de temperatura en las tuberías de descarga con cobertura suficiente para asegurar el monitoreo de todas las líneas</li> </ul>

## 5.2 Análisis al recondensador (F104)

El recondensador, tiene como objetivo condensar el Gas Natural que se ha vaporizado producto de los cambios de temperaturas durante la descarga de los buques metaneros (Estado operativo de descarga), así como el generado durante el periodo de espera (Período en el que no se descarga ningún barco). Esta condensación se lleva a cabo mediante el contacto directo de los vapores provenientes de los estanques de almacenamiento, con el GNL también proveniente de los estanques de almacenamiento, que se encuentra aproximadamente a  $-160^{\circ}\text{C}$  y que está siendo transportado al área de regasificación de la planta.

Las variables de proceso analizadas para cada uno de los nodos que se irán indicando más adelante son:

1. Flujo
2. Presión
3. Temperatura

En el análisis de riesgo al recondensador los nodos estudiados son los siguientes:

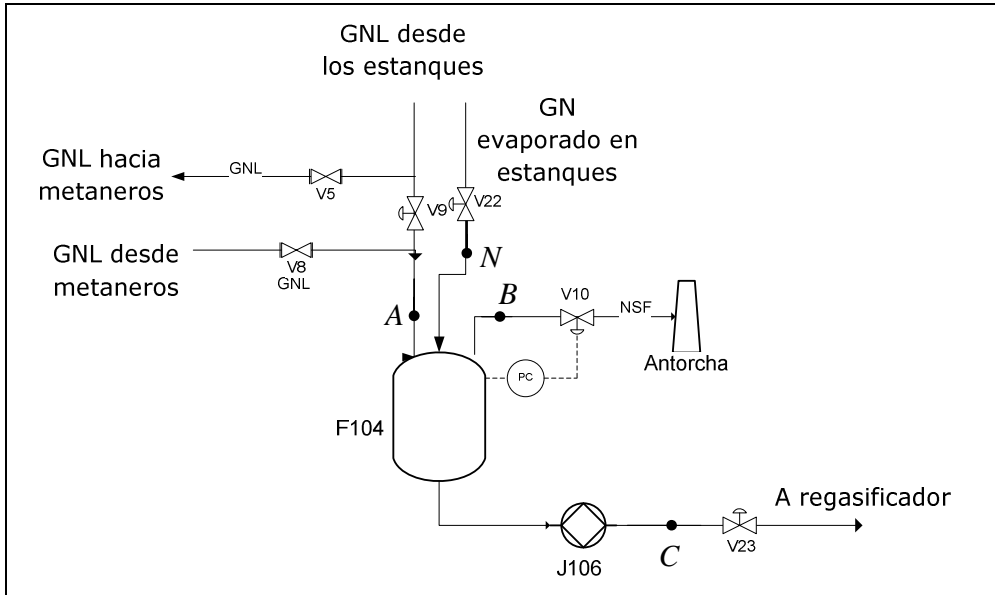
**Nodo A:** Ubicado en la tubería que conecta los estanques de almacenamiento con el recondensador

**Nodo B:** Ubicado en la tubería que conecta el recondensador con la antorcha.

**Nodo C:** Ubicado en la línea que conecta el recondensador con las bombas de entrega de GNL a los regasificadores.

**Nodo N:** Ubicado en la tubería que transporta el Gas natural vaporizado en los estanques de almacenamiento a el recondensador.

A continuación en la figura 5.2 se presenta un diagrama simplificado de los nodos estudiados en el recondensador.



**Fig. 5.2: Diagrama simplificado de nodos en el recondensador**

<b>Sistema:</b> Nodo A, ubicado en la tubería que conecta los estanques de almacenamiento y el recondensador				
<b>Variables de proceso:</b> Flujo, temperatura y Presión				
<b>Palabra Guía</b>	<b>Desviación</b>	<b>Causas</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Medidas Preventivas</b>
No	No Flujo	Válvula V9 cerrada (Válvula V8 se mantiene siempre cerrada ya que la tubería en que se encuentra instalada permanece sin flujo en operación normal)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla en la transferencia de GNL desde los estanques de almacenamiento al recondensador</li> <li>• Baja el nivel del GNL en el recondensador</li> <li>• Sobrepresiones en el sistema de tuberías de descarga de Gas Natural Licuado desde los estanques de almacenamiento</li> <li>• Falla en las bombas primarias por sobrepresión en el sistema de tuberías de descarga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de control de nivel en el recondensador, que regule la apertura de la válvula de corte V9.</li> <li>• La válvula V9 debe quedar abierta en caso de falla (Modo de fallo)</li> <li>• Instalar un sistema de recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento, con una válvula de control que se active en caso de sobrepresión en el sistema de tuberías de descarga</li> <li>• Las bombas primarias deberán contar con un sistema automático de corte en caso de sobrepresión en el</li> </ul>

				sistema de tuberías de descarga
--	--	--	--	------------------------------------



		<p>Obstrucción de las tuberías de descarga de GNL antes del nodo A</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• No hay transferencia de GNL desde los estanques de almacenamiento al recondensador</li><li>• Baja el nivel de GNL en el recondensador</li><li>• Sobrepresiones en el sistema de tuberías de descarga de Gas Natural Licuado</li><li>• Falla en las bombas primarias por sobrepresión en el sistema de tuberías de descarga</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Instalar de un sistema de recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento con una válvula de control que se active en caso de sobrepresión en el sistema de tuberías de descarga. De esta forma se evitará una detención de la planta</li><li>• Las bombas primarias deberán contar con un sistema automático de corte en caso de sobrepresión en el sistema de tuberías de descarga</li><li>• Instalación de sensores de flujo para detección de anomalías. Los sensores de flujo deben estar distribuidos en todo el sistema de tuberías para facilitar la localización del punto donde se produce la obstrucción.</li></ul>
--	--	--	--	---

		<p>Rotura o fuga en el sistema de tuberías de descarga de gas natural antes del nodo A</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• No hay transferencia de GNL desde los estanques de almacenamiento al recondensador</li><li>• Vaporización de Gas natural con riesgo de explosión</li><li>• Detención del proceso de regasificación.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y sensores de detección de gas metano</li><li>• El sistema de tuberías de descarga deberá disponer de válvulas de corte para limitar el volumen descargado de GNL.</li><li>• El sistema de tuberías de GNL debe estar diseñado para soportar expansiones y contracciones esperables debido a cambios en la temperatura y otras fallas del sistema</li><li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de GNL para inertización antes de reiniciar el funcionamiento de la planta.</li></ul>
--	--	--	---	---

		Estanques vacíos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay transferencia de GNL</li> <li>• Paralización del proceso de regasificación</li> <li>• Cavitación de las bombas primarias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de control de nivel en los estanques de almacenamiento que desactive las bombas primarias por señal de bajo nivel</li> </ul>
Menos	Menos Flujo	Válvula V9 mas cerrada de lo necesario	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja el nivel de GNL en el recondensador</li> <li>• Disminución de la cantidad gas natural licuado alimentado a los regasificadores</li> <li>• Sobrepresiones en el sistema de tuberías de descarga de gas natural licuado</li> <li>• Falla de las bombas primarias por sobrepresiones en el sistema de tuberías de descarga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de control de nivel en el recondensador, que regule la apertura de la válvula de corte V9</li> <li>• Instalar un sistema de recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento con una válvula de control que se active en caso de sobrepresión en el sistema de tuberías de descarga</li> <li>• Las bombas primarias deberán contar con un sistema automático de corte es caso de</li> </ul>

				sobrepresiones en el sistema de tuberías de descarga de GNL
		Fuga de GNL en tuberías de descarga antes del nodo A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la cantidad de gas natural licuado alimentado a los regasificadores</li> <li>• Vaporización de Gas Natural con riesgo de explosión</li> <li>• Disminución de la presión en las tuberías de descarga de GNL</li> <li>• Detención del proceso de regasificación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y sensores de detección gas metano.</li> <li>• El sistema de tuberías de descarga deberá disponer de válvulas de corte para limitar el volumen descargado de GNL.</li> <li>• El sistema de tuberías de GNL debe estar diseñado para soportar expansiones y contracciones esperables debido a cambios en la temperatura y otras fallas del sistema</li> <li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de GNL para inertización antes de</li> </ul>

				reiniciar el funcionamiento de la planta.
		Falla bomba primaria en uno de los estanques	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja el nivel de GNL en el recondensador</li> <li>• Disminución de la cantidad GNL alimentado a los regasificadores</li> <li>• Disminución de la presión en las tuberías de descarga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con bombas primarias de respaldo.</li> <li>• Se deberá tener en cuenta además una posible falla en el sistema de suministro eléctrico contando con una bomba de respaldo que será accionada por una turbina a vapor.</li> </ul>
		Obstrucción parcial en el sistema de tuberías de descarga de GNL antes del nodo A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja el nivel de GNL en el recondensador</li> <li>• Disminución de la cantidad de GNL alimentado a los regasificadores</li> <li>• Sobrepresiones en el sistema de tuberías.</li> <li>• Falla de una o mas bombas primarias (dependiendo del lugar de la obstrucción) por sobrepresión en el sistema de tuberías de descarga.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá instalar un sistema de recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento con una válvula de control que se active en caso de sobrepresión en el sistema de tuberías de descarga</li> <li>• Las bombas primarias deberán contar con un sistema automático de</li> </ul>

				<p>corte en caso de sobrepresión en el sistema de tuberías de descarga.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de flujo para detección de anomalías.</li> </ul>
	Menos Presión	Rotura o Fuga en el sistema de tuberías de descarga de GNL antes del nodo A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja el nivel de GNL en el recondensador</li> <li>• Disminución de la cantidad de gas natural licuado alimentado a los regasificadores</li> <li>• Vaporización de Gas Natural con riesgo de explosión</li> <li>• Detención del proceso de regasificación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y sensores de detección de gas metano</li> <li>• El sistema de tuberías de descarga deberá disponer de válvulas de corte para limitar el volumen descargado de GNL</li> <li>• El sistema de tuberías de GNL debe estar diseñado para soportar expansiones y contracción esperables debido a cambios en la temperatura y otras fallas del sistema.</li> </ul>

				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de GNL para inertización antes de reiniciar el funcionamiento de la planta.</li> </ul>
		Falla bomba primaria de uno de los estanques de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja el nivel de GNL en el recondensador</li> <li>• Disminución de la tasa de producción de GNL alimentado a los regasificadores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con bombas primarias de respaldo</li> <li>• Se deberá tener en cuenta además una posible falla en el sistema de suministro eléctrico contando con una bomba de respaldo</li> <li>• La bomba de respaldo deberá ser accionada por una turbina a vapor.</li> </ul>
Mas	Mas Flujo	Válvula V9 mas abierta de lo normal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta nivel de gas natural licuado en el recondensador</li> <li>• Aumenta la presión dentro del recondensador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de control de nivel en el recondensador, que regule la apertura de la válvula de corte V9</li> </ul>

				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá disponer de un sistema de control de presión dentro del recondensador, que regule la apertura de la válvula de corte V9</li> </ul>
Mas	Mas Presión	Obstrucción total en el sistema de tuberías de descarga de GNL después del nodo A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay transferencia de GNL desde los estanques de almacenamiento al recondensador</li> <li>• Baja el nivel de GNL en el recondensador</li> <li>• Falla de una o mas bombas primarias (dependiendo del lugar de la obstrucción) por sobrepresión en el sistema de tuberías de descarga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalar un sistema de recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento con una válvula de control que se active en caso de sobrepresión en el sistema de tuberías de descarga</li> <li>• Las bombas primarias deberán contar con un sistema automático de corte en caso de sobrepresión en el sistema de tuberías de descarga.</li> <li>• Instalación de sensores de flujo para detección de anomalías</li> </ul>



		<p>Obstrucción parcial de las tuberías de descarga de Gas natural licuado después del nodo A</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja el nivel de GNL en el recondensador</li> <li>• Disminución de la cantidad de GNL alimentado a los regasificadores</li> <li>• Falla de una o mas bombas primarias (dependiendo del lugar de la obstrucción) por sobrepresión en el sistema de tuberías de descarga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalar un sistema de recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento con una válvula de control que se active en caso de sobrepresión en el sistema de tuberías de descarga</li> <li>• Las bombas primarias deberán contar con un sistema automático de corte en caso de sobrepresión en el sistema de tuberías de descarga</li> <li>• Instalación de sensores flujo para detección de anomalías</li> </ul>
		<p>Aumento de la temperatura del GNL en el sistema de tuberías</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla en el aislamiento del sistema de tuberías de descarga de GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de temperatura en las tuberías de descarga con cobertura suficiente para asegurar el monitoreo de todas las líneas.</li> </ul>

Mas	Mas Temperatura	Falla de aislamiento en el sistema de las tuberías de descarga	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aumento de la presión en el sistema de tuberías de descarga por vaporización del GNL</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Instalación de sensores de temperatura en las tuberías de descarga con cobertura suficiente para asegurar el monitoreo de todas las líneas</li></ul>
-----	-----------------	--	--	--

<b>Sistema:</b> Nodo B Ubicado en la tubería que conecta el recondensador con la antorcha.				
<b>Variables de proceso:</b> Flujo, presión y temperatura				
<b>Palabra Guía</b>	<b>Desviación</b>	<b>Causas</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Medidas Preventivas</b>
No	No Flujo	Válvula de alivio V10 cerrada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión en el ducto de salida de GN (Antes de V10)</li> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de control de presión dentro del recondensador que regule la apertura de la válvula V10</li> </ul>
		Obstrucción de la tubería antes del nodo B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión en el ducto de salida de GN (antes de la obstrucción)</li> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores flujo para detección de anomalías</li> <li>• Instalación de sensores de presión para detección de cualquier anomalía</li> <li>• Instalación de una válvula de alivio.</li> </ul>
		Rotura de tuberías antes del nodo B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liberación de GN con riesgo de explosión</li> <li>• Detención del proceso de transferencia de GNL hacia el recondensador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y sensores de detección de gas metano</li> <li>• El sistema de tuberías de</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detención de la planta</li> </ul>	<p>GN debe estar diseñado para soportar expansiones y contracción esperables debido a cambios en la temperatura y otras fallas del sistema.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de GN para inertización antes de reiniciar el funcionamiento de la planta.</li> </ul>
Menos	Menos Flujo	Válvula V10 parcialmente abierta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión en el ducto de salida de GN</li> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de control de presión dentro del recondensador que regule la apertura de la válvula V10</li> <li>• Instalación de una válvula de alivio</li> </ul>
		Obstrucción parcial de la tubería antes del nodo B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión en el ducto de salida de GN</li> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores flujo para detección de anomalías</li> <li>• Instalación de un sistema de venteo para liberar presión en caso de emergencia.</li> </ul>

		Fuga de Gas Natural antes del nodo B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liberación de GN con riesgo de explosión</li> <li>• Detención del proceso de transferencia de GNL hacia el recondensador</li> <li>• Detención de la planta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y sensores de detección de gas metano</li> <li>• El sistema de tuberías de GN debe estar diseñado para soportar expansiones y contracción esperables debido a cambios en la temperatura y otras fallas del sistema.</li> <li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de GN para inertización antes de reiniciar el funcionamiento de la planta.</li> </ul>
Menos	Menos Presión	Fuga de GN antes del nodo B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liberación de GN con riesgo de explosión</li> <li>• Detención del proceso de transferencia de GNL hacia el recondensador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y sensores de detección de gas metano</li> <li>• El sistema de tuberías de</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detención de la planta</li> </ul>	<p>GN debe estar diseñado para soportar expansiones y contracción esperables debido a cambios en la temperatura y otras fallas del sistema.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de GN para inertización antes de reiniciar el funcionamiento de la planta.</li> </ul>
Mas	Mas Presión	Aumento de la temperatura del GN en el sistema de tuberías	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla en el aislamiento del sistema de tuberías de descarga de GN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de temperatura en las tuberías con cobertura suficiente para asegurar el monitoreo de todas las líneas.</li> </ul>
		Válvula V10 cerrada o más cerrada de lo normal.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de control de presión dentro del recondensador que regule la apertura de la válvula V10</li> </ul>

		Obstrucción parcial o total de las tuberías después del nodo B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de venteo para liberar de presión en caso de emergencia.</li> </ul>
Mas	Mas Temperatura	Falla de aislamiento en el sistema de las tuberías de descarga	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión en el sistema de tuberías de descarga por vaporización del GN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de presión en las tuberías de descarga con cobertura suficiente para asegurar el monitoreo de todas las líneas</li> </ul>
Inverso	Flujo Inverso	Generación de condiciones de vacío dentro del recondensador	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrastre de parte de GN a través de las tuberías de traspaso de GNL a los regasificadores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se debe disponer de sistema de inyección de gas nitrógeno para rotura de vacío</li> </ul>

<b>Sistema:</b> Nodo C Ubicado en la línea que conecta el recondensador con las bombas de entrega de GNL a los regasificadores.				
<b>Variables de proceso:</b> Flujo, presión y temperatura				
<b>Palabra Guía</b>	<b>Desviación</b>	<b>Causas</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Medidas Preventivas</b>
No	No Flujo	Falla bomba secundaria J106 (Bomba de traspaso de GNL desde el recondensador a los regasificadores)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación de GNL</li> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del recondensador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de bombas secundarias de respaldo</li> <li>• Instalación de un sistema de control de presión dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL a los estanques de almacenamiento y en última instancia al sistema de antorchas</li> <li>• Instalación de un sistema de control de nivel dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL directo a los estanques de almacenamiento y en última instancia al sistema de antorchas. El sistema de antorchas solo funcionará en caso de emergencia.</li> <li>• Instalación de una bomba de respaldo en caso de</li> </ul>



				<p>falla en el suministro eléctrico.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La bomba de respaldo será accionada mediante una turbina de vapor.</li> </ul>
		Recondensador Vacío	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación de GNL</li> <li>• Cavitación de la bomba secundaria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de control que ajuste el funcionamiento de la bomba secundaria en función del nivel de GNL dentro de recondensador.</li> </ul>
		Rotura de la tubería de descarga de GNL desde el recondensador antes del nodo C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación de GNL</li> <li>• Vaporización de GNL con riesgo de explosión</li> <li>• Detención del proceso de transferencia de GNL hacia los regasificadores</li> <li>• Detención de la planta</li> <li>• Dependiendo del lugar de la rotura, la bomba secundaria puede cavitación.</li> <li>• Detención de la planta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y sensores de detección de gas metano</li> <li>• El sistema de tuberías de descarga deberá disponer de válvulas de corte para limitar el volumen descargado de GNL</li> <li>• El sistema de tuberías de GNL debe estar diseñado para soportar expansiones y contracción esperables</li> </ul>

				<p>debido a cambios en la temperatura y otras fallas del sistema.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de GNL para inertización antes de reiniciar el funcionamiento de la planta.</li> <li>• Se deberá contar con un sistema de control que regule el funcionamiento de las bombas secundarias en caso de una disminución en el flujo de GNL.</li> </ul>
		<p>Obstrucción total de la tubería de transferencia de GNL a los regasificadores antes del nodo C</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación de GNL</li> <li>• Aumento de la presión en tuberías de descarga del recondensador</li> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador.</li> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del recondensador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de una línea de recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Instalación de un sistema de control de presión dentro del regasificador que active la recirculación de GNL a los estanques de</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cavitación o falla por sobrepresión, de las bombas secundarias</li> <li>• Detención de la planta</li> </ul>	<p>almacenamiento o antorchas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de control de nivel dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL directo a los estanques de almacenamiento</li> <li>• Instalación de sensores de flujo para detección de anomalías</li> <li>• Se deberá contar con un sistema de control que regule el funcionamiento de las bombas secundarias en caso de una disminución en el flujo de GNL o aumento en la presión de las tuberías de transferencia de GNL (Control MISO)</li> </ul>
Menos	Menos Flujo	Falla bomba secundaria J106	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la cantidad de GNL alimentada a los regasificadores</li> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de bombas secundarias de respaldo</li> <li>• Instalación de un sistema de control de presión dentro del recondensador</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del recondensador</li> </ul>	<p>que desvíe el flujo de GNL a los estanques de almacenamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de control de nivel dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL directo a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Instalación de una motobomba de respaldo en caso de falla en el suministro eléctrico</li> </ul>
		Obstrucción parcial de la tubería de transferencia de GNL a los regasificadores antes del nodo C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución del flujo de transferencia de GNL a los regasificadores</li> <li>• Aumento de la presión en las tuberías de descarga de GNL.</li> <li>• Aumento de presión dentro del recondensador</li> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del recondensador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de una línea de recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Instalación de un sistema de control de presión dentro del regasificador que active la recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento</li> <li>• Instalación de un sistema</li> </ul>

				<p>de control de nivel dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL directo a los estanques de almacenamiento o antorchas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de flujo para detección de anomalías</li> </ul>
		Fuga de GNL antes del nodo C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación de GNL</li> <li>• Detención de emergencia de la planta</li> <li>• Vaporización de GNL con riesgo de explosión</li> <li>• Detención del proceso de regasificación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y sensores de detección de gas metano</li> <li>• El sistema de tuberías de descarga deberá disponer de válvulas de corte para limitar el volumen descargado de GNL</li> <li>• El sistema de tuberías de GNL debe estar diseñado para soportar expansiones y contracción esperables debido a cambios en la temperatura y otras fallas del sistema.</li> </ul>

				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de GNL para inertización antes de reiniciar el funcionamiento de la planta</li> </ul>
Menos	Menos Presión	Rotura o Fuga en el sistema de tuberías de descarga de GNL antes del nodo C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación de GNL</li> <li>• Detención de emergencia de la planta</li> <li>• Vaporización de GNL con riesgo de explosión</li> <li>• Detención del proceso de regasificación</li> <li>• Cavitación de la bomba secundaria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y sensores de detección de gas metano</li> <li>• El sistema de tuberías de descarga deberá disponer de válvulas de corte para limitar el volumen descargado de GNL</li> <li>• El sistema de tuberías de GNL debe estar diseñado para soportar expansiones y contracción esperables debido a cambios en la temperatura y otras fallas del sistema.</li> <li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de</li> </ul>

				GNL para inertización antes de reiniciar el funcionamiento de la planta
Mas	Mas Presión	Falla bomba secundaria J106	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la cantidad de GNL alimentada a los regasificadores</li> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del recondensador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de bombas secundarias de respaldo</li> <li>• Instalación de un sistema de control de presión dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL a los estanques de almacenamiento o al sistema de antorchas.</li> <li>• Instalación de un sistema de control de nivel dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL directo a los estanques de almacenamiento</li> <li>• Instalación de una motobomba de respaldo en caso de falla en el suministro eléctrico</li> </ul>

		<p>Obstrucción parcial de las tuberías de transferencia de GNL a los regasificadores después del nodo C</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución del tasa de transferencia de GNL a los regasificadores</li> <li>• Aumento de presión dentro del recondensador</li> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del recondensador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de una línea de recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento</li> <li>• Instalación de un sistema de control de presión dentro del regasificador que active la recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento</li> <li>• Instalación de un sistema de control de nivel dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL directo a los estanques de almacenamiento</li> <li>• Instalación de sensores de flujo para detección de anomalías</li> </ul>
		<p>Obstrucción total de las tuberías de transferencia de GNL a los regasificadores después del nodo C</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación de GNL</li> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador.</li> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del recondensador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de una línea de recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento</li> <li>• Instalación de un sistema de control de presión dentro del regasificador</li> </ul>



				<p>que active la recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de control de nivel dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL directo a los estanques de almacenamiento</li> <li>• Instalación de sensores de flujo para detección de anomalías</li> </ul>
		Aumento de la temperatura del GNL en el sistema de tuberías	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla en el aislamiento del sistema de tuberías de descarga de GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de temperatura en las tuberías con cobertura suficiente para asegurar el monitoreo de todas las líneas.</li> </ul>
Mas	Mas Temperatura	Falla de aislamiento en el sistema de las tuberías de descarga	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión en el sistema de tuberías de descarga por vaporización del GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de temperatura en las tuberías de descarga con cobertura suficiente para asegurar el monitoreo de todas las líneas</li> </ul>

**Sistema:** Nodo N, Ubicado en la tubería que transporta el Gas natural vaporizado en los estanques de almacenamiento a el recondensador.

**Variables de proceso:** Flujo, presión y temperatura

<b>Palabra Guía</b>	<b>Desviación</b>	<b>Causas</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Medidas Preventivas</b>
Mas	Mas Flujo	Aumento del Flujo de GN vaporizado debido a una falla en la aislación de las paredes de los estanques de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fallas en el recondensador por incapacidad para recondensar todo el GN proveniente de los estanques de almacenamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instalación de tuberías que trasladen parte del GN producido en los estanques, directamente a la red de alimentación domiciliaria.</li> </ul>
Mas	Mas Temperatura	Falla en la aislación de las paredes de los estanques de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fallas en el recondensador por incapacidad para recondensar todo el GN proveniente de los estanques de almacenamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instalación de tuberías que trasladen parte del GN producido en los estanques, directamente a la red de alimentación domiciliaria</li> </ul>
Mas	Mas Presión	Falla en la aislación de las paredes de los estanques de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fallas en el recondensador por incapacidad para recondensar todo el GN proveniente de los estanques de almacenamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instalación de tuberías que trasladen parte del GN producido en los estanques directamente a la red de alimentación domiciliaria</li> </ul>

## **5.3 Análisis a regasificadores (C401 y C402 )**

### **5.3.1 Regasificadores de Panel Abierto**

La descripción de este tipo de regasificadores se desarrolla en el capítulo 3 de este trabajo.

Las variables de proceso analizadas para cada uno de los nodos que se irán indicando mas adelante son:

1. Flujo
2. Presión
3. Temperatura

En el análisis de riesgo para el regasificador de panel abierto los nodos estudiados son los siguientes:

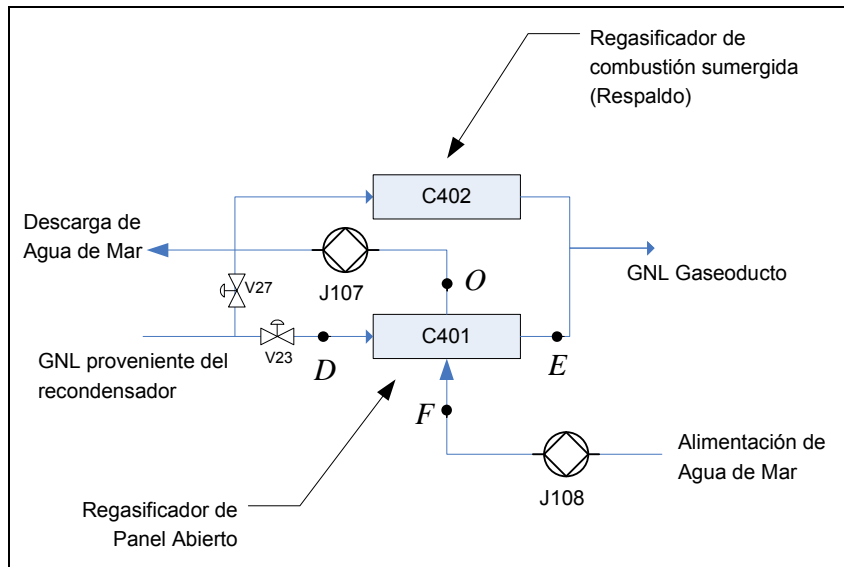
**Nodo D:** Ubicado en la tubería que conecta el recondensador al regasificador de panel abierto.

**Nodo E:** Ubicado en la tubería que conecta el regasificador con el gaseoducto.

**Nodo F:** Ubicado en la tubería de alimentación de agua de mar al regasificador.

**Nodo O:** Ubicado en la tubería de descarga de agua de mar

A continuación en la figura 5.3 se presenta un diagrama simplificado de los nodos estudiados en el regasificador de panel abierto.



**Fig. 5.3: Diagrama simplificado de nodos en el regasificador**

<b>Sistema:</b> Nodo D Ubicado en la tubería que conecta el recondensador al regasificador de panel abierto.				
<b>Variables de proceso:</b> Flujo, presión y temperatura				
<b>Palabra Guía</b>	<b>Desviación</b>	<b>Causas</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Medidas Preventivas</b>
No	No Flujo	Válvula V23 Cerrada (Válvula V27 permanece cerrada en operación normal ya que la tubería en que se encuentra instalada se encuentra normalmente sin flujo)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación</li> <li>• Aumento de presión en la tubería</li> <li>• Aumento de presión dentro del recondensador</li> <li>• Aumento de nivel de GNL dentro del recondensador</li> <li>• Falla bomba secundaria por sobrepresión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de control de presión que regule la apertura de la válvula V23</li> <li>• Instalación de un sistema de control de nivel dentro del recondensador que regule la apertura de la válvula V23</li> <li>• Las bombas secundarias deberán contar con un sistema automático de corte en caso de sobrepresión en el sistema de tuberías de descarga</li> </ul>
		Falla de la bomba secundaria J106	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación</li> <li>• Aumento de presión dentro del recondensador</li> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de bombas secundarias de respaldo</li> <li>• Instalación de un sistema de control de presión dentro del recondensador que desvíe el flujo de</li> </ul>

			recondensador	<p>GNL a los estanques de almacenamiento.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de control de nivel dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL directo a los estanques de almacenamiento</li> <li>• Instalación de una bomba de respaldo en caso de falla en el suministro eléctrico</li> <li>• La bomba será accionada por una turbina a vapor</li> </ul>
		Obstrucción total de la tubería antes del nodo D	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación</li> <li>• Aumento de la presión en la tubería antes de nodo D.</li> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del recondensador</li> <li>• Falla de la bomba secundaria por</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de una línea de recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Instalación de un sistema de control de presión dentro del regasificador que active la recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento</li> <li>• Instalación de un sistema</li> </ul>

			sobrepresión	<p>de control de nivel dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL directo a los estanques de almacenamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores flujo.</li> <li>• Instalación de sensores de presión.</li> </ul>
		Rotura de la tubería antes del nodo D	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación de GNL</li> <li>• Vaporización de GNL con riesgo de explosión</li> <li>• Detención del proceso de regasificación</li> <li>• Parada de emergencia de la planta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y sensores de detección de gas metano</li> <li>• El sistema de tuberías de descarga deberá disponer de válvulas de corte para limitar el volumen descargado de GNL</li> <li>• El sistema de tuberías de GNL debe estar diseñado para soportar expansiones y contracción esperables debido a cambios en la temperatura y otras fallas del sistema.</li> </ul>

				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de GNL para inertización antes de reiniciar el funcionamiento de la planta.</li> <li>• Inspección y mantención periódica de las tuberías de descarga</li> </ul>
Menos	Menos Flujo	Válvula V23 mas cerrada de lo normal (por falla en funcionamiento)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión en la tubería</li> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del recondensador</li> <li>• Falla de la bomba secundaria por sobrepresión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de control de presión dentro del regasificador que regule la apertura de la válvula V23</li> <li>• Instalación de un sistema de control de nivel dentro del recondensador que regule la apertura de la válvula V23</li> <li>• Las bombas secundarias deberán contar con un sistema automático de corte (Parada de emergencia) en caso de</li> </ul>



				<p>sobrepresión en el sistema de tuberías de descarga</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La válvula V23 deberá falla siempre abierta (Modo de fallo)</li> </ul>
		Falla de la Bomba secundaria J106	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de presión dentro del recondensador</li> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del recondensador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de bombas secundarias de respaldo</li> <li>• Instalación de un sistema de control de presión dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL a los estanques de almacenamiento</li> <li>• Instalación de un sistema de control de nivel dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL directo a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Instalación de una bomba de respaldo en caso de falla en el suministro eléctrico</li> <li>• La bomba de respaldo</li> </ul>

				deberá ser accionada mediante una turbina a vapor.
		Obstrucción parcial de la tubería antes del nodo D	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión en la tubería</li> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del recondensador</li> <li>• Falla de bomba secundaria por sobrepresión o cavitación dependiendo del lugar de la obstrucción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de una línea de recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento</li> <li>• Instalación de un sistema de control de presión dentro del recondensador que active la recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento</li> <li>• Instalación de un sistema de control de nivel dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL directo a estanques de almacenamiento</li> <li>• Instalación de sensores de flujo para detección de posibles obstrucciones</li> </ul>
		Fuga de GNL antes del nodo D	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación de GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vaporización de GNL con riesgo de explosión</li> <li>• Detención del proceso de regasificación</li> <li>• Parada de emergencia de la planta</li> </ul>	<p>sensores de detección de gas metano, que activen el cierre de válvulas para evitar fugas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El sistema de tuberías de descarga deberá disponer de válvulas de corte para limitar el volumen descargado de GNL</li> <li>• El sistema de tuberías de GNL debe estar diseñado para soportar expansiones y contracción esperables debido a cambios en la temperatura y otras fallas del sistema.</li> <li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de GNL para inertización antes de reiniciar el funcionamiento de la planta.</li> </ul>
Menos	Menos Presión	Válvula V23 mas cerrada de lo normal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de control de presión dentro del regasificador</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del recondensador</li> <li>• Falla de la bomba secundaria por sobrepresión</li> </ul>	<p>que regule la apertura de la válvula V23</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de control de nivel dentro del recondensador que regule la apertura de la válvula V23</li> <li>• Las bombas secundarias deberán contar con un sistema automático de corte en caso de sobrepresión en el sistema de tuberías de descarga</li> </ul>
		Fuga de GNL antes del nodo D	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación de GNL</li> <li>• Vaporización de GNL con riesgo de explosión</li> <li>• Detención del proceso de regasificación</li> <li>• Para de emergencia de la planta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y sensores de detección de gas metano, que activen el cierre de válvulas para evitar fugas.</li> <li>• El sistema de tuberías de descarga deberá disponer de válvulas de corte para limitar el volumen descargado de GNL</li> </ul>

				<ul style="list-style-type: none"> <li>• El sistema de tuberías de GNL debe estar diseñado para soportar expansiones y contracción esperables debido a cambios en la temperatura y otras fallas del sistema.</li> <li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de GNL para inertización antes de reiniciar el funcionamiento de la planta.</li> </ul>
		Falla de la Bomba secundaria J106.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del recondensador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de bombas secundarias de respaldo</li> <li>• Instalación de un sistema de control que active la operación de las bombas de respaldo</li> <li>• Instalación de un sistema de control de presión dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL a los estanques de almacenamiento.</li> </ul>

				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de control de nivel dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL directo a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Instalación de una motobomba de respaldo en caso de falla en el suministro eléctrico</li> </ul>
		Obstrucción parcial de las tuberías antes del nodo D	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del recondensador</li> <li>• Falla de la bomba secundaria por sobrepresión o cavitación dependiendo del lugar de la obstrucción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de una línea de recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Instalación de un sistema de control de presión dentro del regasificador que active una alarma y la recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento</li> <li>• Instalación de un sistema de control de nivel dentro del recondensador que active la alarma y desvíe</li> </ul>

				<p>el flujo de GNL directo a los estanques de almacenamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de flujo para detección de posibles obstrucciones.</li> </ul>
Mas	Mas Presión	Obstrucción de las tuberías después del nodo D	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del recondensador</li> <li>• Falla de la bomba secundaria por sobrepresión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de una línea de recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Instalación de un sistema de control de presión dentro del regasificador que active la recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Instalación de un sistema de control de nivel dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL directo a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Instalación de sensores de flujo para detección de posibles obstrucciones</li> </ul>

		Aumento de la temperatura del GNL en el sistema de tuberías	<ul style="list-style-type: none"> <li>Falla en el aislamiento del sistema de tuberías de descarga de GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instalación de sensores de temperatura en las tuberías con cobertura suficiente para asegurar el monitoreo de todas las líneas.</li> </ul>
Mas	Mas Temperatura	Falla de aislamiento en el sistema de las tuberías de descarga	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento de la presión en el sistema de tuberías de descarga por vaporización del GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instalación de sensores de temperatura en las tuberías de descarga con cobertura suficiente para asegurar el monitoreo de todas las líneas</li> </ul>



**Sistema:** Nodo E Ubicado en la tubería que conecta el regasificador con el gaseoducto.

**Variables de proceso:** Flujo

<b>Palabra Guía</b>	<b>Desviación</b>	<b>Causas</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Medidas Preventivas</b>
Otro	Otro Flujo (Referido a flujo en una fase distinta a la deseada)	Cantidad nula o Insuficiente de agua de mar de calentamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación de GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de bombas de respaldo para captación de agua de mar de calentamiento</li> <li>• Instalación de motobombas de respaldo en caso de falla en el suministro eléctrico.</li> <li>• Instalación de tuberías de recirculación del GNL a los estanques de almacenamiento.</li> </ul>
		Falla en el funcionamiento de los regasificadores de panel abierto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación de GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de regasificadores de respaldo</li> <li>• Desarrollo de inspecciones y mantenimiento periódica</li> </ul>
No	No Flujo	Obstrucción total de la tubería de GN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión dentro del regasificador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de flujo para detección de</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión en las tuberías anteriores al nodo E</li> <li>• Paralización del proceso de producción de GN</li> </ul>	<p>posibles obstrucciones.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de presión</li> </ul>
Menos	Menos Flujo	Obstrucción parcial de la tubería de GN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión dentro del regasificador</li> <li>• Aumento de la presión en las tuberías anteriores al nodo E</li> <li>• Disminución del flujo de GN enviado al gaseoducto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de flujo para detección de posibles obstrucciones.</li> <li>• Instalación de sensores de presión</li> </ul>

<b>Sistema:</b> Nodo F Ubicado en la tubería de alimentación de agua de mar al regasificador				
<b>Variables de proceso:</b> Flujo y Presión				
<b>Palabra Guía</b>	<b>Desviación</b>	<b>Causas</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Medidas Preventivas</b>
No	No Flujo	Fallo en las bombas de captación de agua de mar (J108)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación de GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de bombas de respaldo</li> <li>• Instalación de motobombas de respaldo en caso de falla en el suministro eléctrico.</li> <li>• Instalación de tuberías de recirculación del GNL a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Instalación de regasificadores de respaldo (regasificadores de combustión sumergida)</li> </ul>
		Rotura en las tuberías de captación de agua de mar antes del nodo F	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación de GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de tuberías de recirculación del GNL a los estanques de almacenamiento</li> <li>• Instalación de regasificadores de</li> </ul>

				respaldo que no utilicen agua de mar como medio de calentamiento
		Obstrucción total en las tuberías de captación de agua de mar antes del nodo F	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación de GNL</li> <li>• Aumento de presión en las tuberías de captación de agua de mar</li> <li>• Falla de las bombas de captación de agua de mar por sobrepresión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de tuberías de recirculación del GNL a los estanques de almacenamiento</li> <li>• Instalación de regasificadores de respaldo que no utilicen agua de mar como medio de calentamiento</li> <li>• Instalación de mallas de protección en el punto de captación del agua de mar. Con esto se evitará el arrastre de sedimento o cuerpos extraños que puedan obstruir los ductos.</li> <li>• Instalación de un sistema de desbaste en las bocatomas con limpieza periódica.</li> </ul>
Menos	Menos Flujo	Fallo en las bombas de	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la tasa de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de bombas de</li> </ul>

		captación de agua de mar	regasificación de GNL	respaldo <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de motobombas de respaldo en caso de falla en el suministro eléctrico.</li> <li>• Desarrollo de un sistema de rotación programada de las bombas para mantenimiento periódica</li> <li>• Instalación de tuberías de recirculación del GNL a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Instalación de regasificadores de respaldo (Regasificadores de combustión sumergida)</li> </ul>
		Fuga en las tuberías de captación de agua de mar antes del nodo F	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la tasa de regasificación de GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de tuberías de recirculación del GNL a los estanques de almacenamiento</li> <li>• Instalación de regasificadores de respaldo que no utilicen</li> </ul>

				agua de mar como medio de calentamiento
		Obstrucción parcial en las tuberías de captación de agua de mar antes del nodo F	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la tasa de regasificación de GNL</li> <li>• Aumento de presión en las tuberías de captación de agua de mar</li> <li>• Falla de las bombas de captación de agua de mar por sobrepresión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de tuberías de recirculación del GNL a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Instalación de regasificadores de respaldo que no utilicen agua de mar como medio de calentamiento</li> <li>• Instalación de mallas de protección en el punto de captación del agua de mar. Con esto se evitará el arrastre de sedimento o cuerpos extraños que puedan obstruir los ductos.</li> <li>• Instalación de sensores de presión en las tuberías.</li> </ul>
Menos	Menos Presión	Fallo en las bombas de captación de agua de mar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la tasa de regasificación de GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de bombas de respaldo</li> <li>• Desarrollo de un sistema de rotación programada para mantención de las</li> </ul>

				<p>bombas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de motobombas de respaldo en caso de falla en el suministro eléctrico.</li> <li>• Instalación de tuberías de recirculación del GNL a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Instalación de regasificadores de respaldo (Regasificadores de combustión sumergida)</li> </ul>
		Fuga de agua de mar antes del nodo F	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la cantidad de agua de mar alimentada a los regasificadores</li> <li>• Disminución de la tasa de regasificación de GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de tuberías de recirculación del GNL a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Instalación de regasificadores de respaldo que no utilicen agua de mar como medio de calentamiento</li> </ul>
		Obstrucción de las tuberías antes del nodo F	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la cantidad de agua de mar alimentada a los</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de tuberías de recirculación del GNL a</li> </ul>

			<p>regasificadores</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la tasa de regasificación de GNL</li> </ul>	<p>los estanques de almacenamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de regasificadores de respaldo que no utilicen agua de mar como medio de calentamiento</li> <li>• Instalación de mallas de protección en el punto de captación del agua de mar. Con esto se evitará el arrastre de sedimento o cuerpos extraños que puedan obstruir los ductos.</li> </ul>
Mas	Mas Presión	Obstrucción de las tuberías después del nodo F	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la cantidad de agua de mar alimentada a los regasificadores</li> <li>• Disminución de la tasa de regasificación de GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de tuberías de recirculación del GNL a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Instalación de regasificadores de respaldo que no utilicen agua de mar como medio de calentamiento</li> <li>• Instalación de mallas de protección en el punto de</li> </ul>



				<p>captación del agua de mar. Con esto se evitará el arrastre de sedimento o cuerpos extraños que puedan obstruir los ductos.</p>
--	--	--	--	---

<b>Sistema:</b> Nodo O Ubicado en la tubería de descarga de agua de mar.				
<b>Variables de proceso:</b> Flujo y Presión				
<b>Palabra Guía</b>	<b>Desviación</b>	<b>Causas</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Medidas Preventivas</b>
No	No Flujo	Fallo en las bombas de descarga de agua de mar (J107)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento del nivel de agua de mar en el regasificador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de bombas de respaldo</li> <li>• Instalación de motobombas de respaldo en caso de falla en el suministro eléctrico.</li> <li>• Instalación de un regasificador de respaldo (Combustión sumergida)</li> </ul>
		Rotura en las tuberías de captación de agua de mar antes del nodo O	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Derrame de agua de mar en las instalaciones de regasificación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de protección de las tuberías de descarga para evitar derrames de agua</li> <li>• Instalación de un regasificador de respaldo (Combustión sumergida)</li> </ul>
		Obstrucción total en las tuberías de eliminación de agua de mar antes del nodo O por depósitos de minerales en los ductos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de presión en las tuberías de descarga de agua de mar</li> <li>• Falla de las bombas de descarga de agua de mar por sobrepresión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalaciones de una planta de purificación de agua de mar para evitar depósitos en las tuberías</li> </ul>

Menos	Menos Flujo	Fallo en las bombas de captación de agua de mar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento del nivel de agua de mar en el regasificador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de bombas de respaldo</li> <li>• Instalación de motobombas de respaldo en caso de falla en el suministro eléctrico.</li> <li>• Instalación de un regasificador de respaldo (Combustión sumergida)</li> </ul>
		Fuga en las tuberías de captación de agua de mar antes del nodo O	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Derrame de agua de mar en las instalaciones de regasificación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de protección de las tuberías de descarga para evitar derrames de agua</li> </ul>
		Obstrucción parcial en las tuberías de captación de agua de mar antes del nodo O por depósitos de minerales en los ductos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de presión en las tuberías de descarga de agua de mar</li> <li>• Falla de las bombas de descarga de agua de mar por sobrepresión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalaciones de una planta de purificación de agua de mar para evitar depósitos en las tuberías</li> </ul>
Menos	Menos Presión	Fuga de agua de mar antes del nodo O	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Derrame de agua de mar en las instalaciones de regasificación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de protección de las tuberías de descarga para</li> </ul>

				evitar derrames de agua
		Obstrucción de las tuberías antes del nodo O	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de presión en las tuberías de descarga de agua de mar</li> <li>• Falla de las bombas de descarga de agua de mar por sobrepresión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalaciones de una planta de purificación de agua de mar para evitar depósitos en las tuberías</li> </ul>
Mas	Mas Presión	Obstrucción de las tuberías después del nodo O	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de presión en las tuberías de descarga de agua de mar</li> <li>• Falla de las bombas de descarga de agua de mar por sobrepresión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalaciones de una planta de purificación de agua de mar para evitar depósitos en las tuberías</li> </ul>

### 5.3.2 Regasificadores de Combustión Sumergida (C402)

Se utilizará un regasificador de combustión sumergida como respaldo en caso de falla en los regasificadores de panel abierto.

Las variables de proceso analizadas para cada uno de los nodos que se irán indicando mas adelante son:

1. Flujo
2. Presión
3. Temperatura

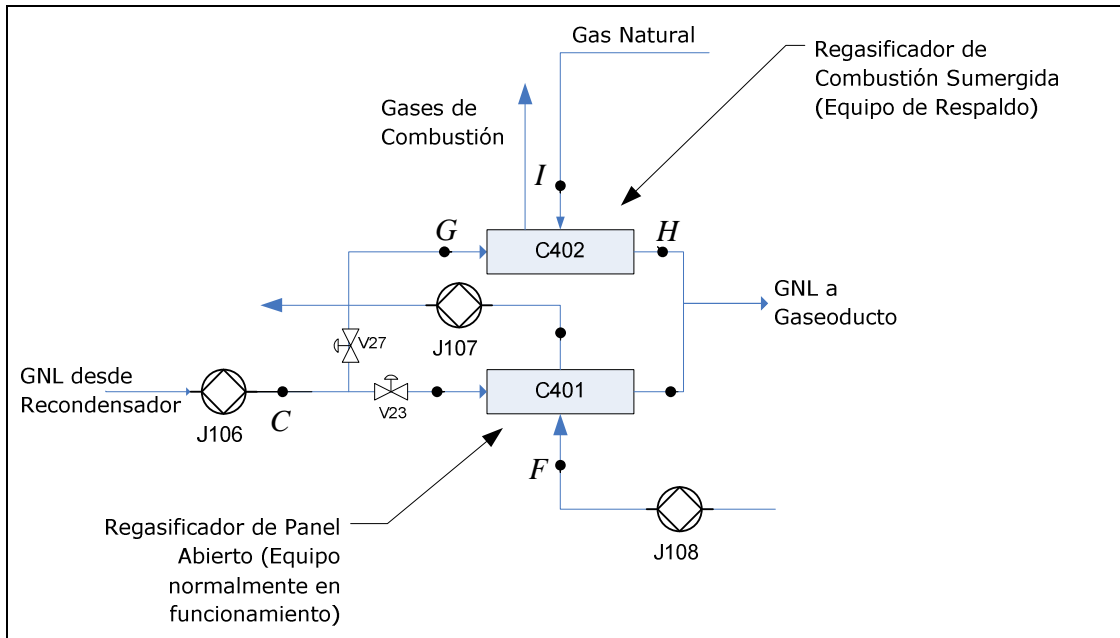
En el análisis de riesgo para el regasificador de combustión sumergida los nodos estudiados son los siguientes:

**Nodo G:** Ubicado en la tubería que conecta el recondensador al regasificador de combustión sumergida

**Nodo H:** Ubicado en la tubería que conecta el regasificador con el gaseoducto.

**Nodo I:** Ubicado en la tubería de alimentación de gas natural para combustión

A continuación en la figura 5.4 se presenta un diagrama simplificado de los nodos estudiados en el regasificador.



**Fig. 5.4: Diagrama simplificado de nodos en el regasificador de combustión sumergida (C402)**

<b>Sistema:</b> Nodo G Ubicado en la tubería que conecta el recondensador al regasificador de combustión Sumergida				
<b>Variables de proceso:</b> Flujo, presión y temperatura				
<b>Palabra Guía</b>	<b>Desviación</b>	<b>Causas</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Medidas Preventivas</b>
No	No Flujo	Válvula V27 Cerrada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación</li> <li>• Aumento de la presión en la tubería</li> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del recondensador</li> <li>• Falla de la bomba secundaria por sobrepresión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las bombas secundarias deberán contar con un sistema automático de corte en caso de sobrepresión en el sistema de tuberías de descarga</li> <li>• Instalación de un sistema que controle la apertura de la válvula V27 en caso de aumento de presión en las tuberías de traspaso de GNL a los regasificadores de panel abierto y ponga en operación el regasificador C402</li> </ul>
		Falla de la bomba secundaria J106	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación</li> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del recondensador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de bombas secundarias de respaldo</li> <li>• Instalación de un sistema de control de presión dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL a los estanques de</li> </ul>

				<p>almacenamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La tubería de recirculación de GNL a los estanques debe estar provista de una válvula de seguridad conectada al sistema de antorcha. La antorcha solo entrará en funcionamiento en caso de emergencia.</li> <li>• Instalación de un sistema de control de nivel dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL directo a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Instalación de una motobomba de respaldo en caso de falla en el suministro eléctrico</li> </ul>
		Obstrucción total de la tubería antes del nodo G	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación</li> <li>• Aumento de la presión en la tubería</li> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de una línea de recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Instalación de un sistema de control de presión</li> </ul>



			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del recondensador</li> <li>• Falla de la bomba secundaria por sobrepresión o cavitación dependiendo del lugar de la obstrucción.</li> </ul>	<p>dentro del regasificador que active la recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de control de nivel dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL directo a los estanques de almacenamiento</li> <li>• Instalación de sensores de flujo para detectar posibles obstrucciones</li> </ul>
		Rotura de la tubería antes del nodo G	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación de GNL</li> <li>• Vaporización de GNL con riesgo de explosión</li> <li>• Detención del proceso de regasificación</li> <li>• Parada de emergencia de la planta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y sensores de detección de gas metano</li> <li>• El sistema de tuberías de descarga deberá disponer de válvulas de corte automático para limitar el volumen descargado de GNL</li> <li>• El sistema de tuberías de</li> </ul>

				<p>GNL debe estar diseñado para soportar expansiones y contracción esperables debido a cambios en la temperatura y otras fallas del sistema.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de GNL para inertización antes de reiniciar el funcionamiento de la planta.</li> </ul>
Menos	Menos Flujo	Válvula V27 mas cerrada de lo normal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión en la tubería</li> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del recondensador</li> <li>• Falla de la bomba secundaria por sobrepresión</li> <li>• Detención del proceso de regasificación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de control de en la tubería de traspaso de GNL a los regasificadores de panel abierto que regule la apertura de la válvula V27</li> <li>• Las bombas secundarias deberán contar con un sistema automático de corte en caso de sobrepresión en el sistema de tuberías de descarga</li> </ul>

		Falla de la Bomba secundaria J106	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del recondensador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de bombas secundarias de respaldo</li> <li>• Instalación de un sistema de control de presión dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Instalación de un sistema de control de nivel dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL directo a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Instalación de una motobomba de respaldo en caso de falla en el suministro eléctrico</li> </ul>
		Obstrucción parcial de la tubería antes del nodo G	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión en la tubería, aguas abajo de la obstrucción</li> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de una línea de recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento</li> <li>• Instalación de un sistema de control de presión</li> </ul>

			<p>recondensador</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla de la bomba secundaria por sobrepresión o cavitación dependiendo del lugar de la obstrucción.</li> </ul>	<p>dentro del regasificador que active la recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de control de nivel dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL directo a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Instalación de sensores de flujo para detección de posibles obstrucciones</li> </ul>
		Fuga de GNL antes del nodo G	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación de GNL</li> <li>• Vaporización de GNL con riesgo de explosión</li> <li>• Detención del proceso de regasificación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y sensores de detección de gas metano</li> <li>• El sistema de tuberías de descarga deberá disponer de válvulas de corte automático para limitar el volumen descargado de GNL</li> <li>• El sistema de tuberías de</li> </ul>

				<p>GNL debe estar diseñado para soportar expansiones y contracción esperables debido a cambios en la temperatura y otras fallas del sistema.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de GNL para inertización antes de reiniciar el funcionamiento de la planta.</li> </ul>
Menos	Menos Presión	Válvula V27 mas cerrada de lo normal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del recondensador</li> <li>• Falla de la bomba secundaria por sobrepresión (J106)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de control de presión en la tubería de traspaso de GNL al regasificador de panel abierto que regule la apertura de la válvula V27</li> <li>• Las bombas secundarias deberán contar con un sistema automático de corte en caso de sobrepresión en el sistema de tuberías de descarga</li> </ul>

		Fuga de GNL antes del nodo G	<ul style="list-style-type: none"><li>• Paralización del proceso de regasificación de GNL</li><li>• Vaporización de GNL con riesgo de explosión</li><li>• Detención del proceso de regasificación</li><li>• Parada de emergencia de la planta</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y sensores de detección de gas metano</li><li>• El sistema de tuberías de descarga deberá disponer de válvulas de corte automático para limitar el volumen descargado de GNL</li><li>• El sistema de tuberías de GNL debe estar diseñado para soportar expansiones y contracción esperables debido a cambios en la temperatura y otras fallas del sistema.</li><li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de GNL para inertización antes de reiniciar el funcionamiento de la planta.</li></ul>

		Falla de la Bomba secundaria J106.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del recondensador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de bombas secundarias de respaldo</li> <li>• Desarrollo de un sistema de rotación programada de las bombas para mantenimiento periódica</li> <li>• Instalación de un sistema de control de presión dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL a los estanques de almacenamiento</li> <li>• Instalación de un sistema de control de nivel dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL directo a los estanques de almacenamiento</li> <li>• Instalación de una motobomba de respaldo en caso de falla en el suministro eléctrico</li> </ul>
		Obstrucción parcial de las tuberías antes del nodo G	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de una línea de recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento.</li> </ul>

			<p>recondensador</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla de la bomba secundaria por sobrepresión o cavitación dependiendo del lugar de la obstrucción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de control de presión dentro del regasificador que active la recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Instalación de un sistema de control de nivel dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL directo a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Instalación de sensores de flujo para detección de posibles obstrucciones</li> </ul>
Mas	Mas Presión	Obstrucción de las tuberías después del nodo G	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión dentro del recondensador</li> <li>• Aumento del nivel de GNL dentro del recondensador</li> <li>• Falla de la bomba secundaria por sobrepresión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de una línea de recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Instalación de un sistema de control de presión dentro del regasificador que active la recirculación de GNL a los estanques de</li> </ul>



				<p>almacenamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de control de nivel dentro del recondensador que desvíe el flujo de GNL directo a los estanques de almacenamiento.</li> <li>• Instalación de sensores de presión por tramo de tuberías para detección de anomalías de presión en los ductos. De esta forma se podrá detectar el lugar de la obstrucción en caso de que se produzca</li> </ul>
Mas	Mas Temperatura	Falla de aislamiento en el sistema de las tuberías de descarga	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la presión en el sistema de tuberías de descarga por vaporización del GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de temperatura en las tuberías de descarga con cobertura suficiente para asegurar el monitoreo de todas las líneas</li> </ul>

<b>Sistema:</b> Nodo H Ubicado en la tubería que conecta el regasificador con el gaseoducto.				
<b>Variables de proceso:</b> Flujo				
<b>Palabra Guía</b>	<b>Desviación</b>	<b>Causas</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Medidas Preventivas</b>
Otro	Otro Flujo (Referido a flujo en una fase distinta a la deseada)	Disminución del flujo de gas natural para combustión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación de GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de tuberías de recirculación del GNL a los estanques de almacenamiento</li> <li>• Instalación de estanques de almacenamiento de gas natural para uso en los regasificadores de combustión sumergida.</li> </ul>
		Falla en el funcionamiento de los regasificadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación de GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de regasificadores de respaldo</li> <li>• Instalación de tuberías de recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento.</li> </ul>

<b>Sistema:</b> Nodo I Ubicado en la tubería de alimentación de gas natural para combustión				
<b>Variables de proceso:</b> Flujo y Presión				
<b>Palabra Guía</b>	<b>Desviación</b>	<b>Causas</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Medidas Preventivas</b>
No	No Flujo	Obstrucción antes del nodo I	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación</li> <li>• Falla del compresor J103 por sobrepresión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un compresor de respaldo</li> <li>• Instalación de un sensor de presión que desactive el compresión J106 en caso de aumento de presión en las tuberías</li> <li>• Instalación de sensores de flujo en las tuberías para detección de obstrucciones o anomalías</li> </ul>
		Rotura de la tubería antes del nodo I	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación</li> <li>• Vaporización de GNL con riesgo de explosión</li> <li>• Detención del proceso de regasificación</li> <li>• Paralización de emergencia de la</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y sensores de detección de gas metano</li> <li>• El sistema de tuberías de descarga deberá disponer de válvulas de corte automático para limitar el</li> </ul>

			planta	<p>volumen descargado de GNL</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El sistema de tuberías de GNL debe estar diseñado para soportar expansiones y contracción esperables debido a cambios en la temperatura y otras fallas del sistema.</li> <li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de GNL para inertización antes de reiniciar el funcionamiento de la planta.</li> </ul>
		Falla Compresor J103	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un compresor de respaldo</li> </ul>
Menos	Menos flujo	Obstrucción parcial antes del nodo I	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la capacidad de regasificación de GNL</li> <li>• Falla del compresor J103 por sobrepresión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un compresor de respaldo</li> <li>• Instalación de sensores de flujo en las tuberías para detección de</li> </ul>

				obstrucciones o anomalías
		Fuga de GNL antes del nodo I	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación</li> <li>• Vaporización de GNL con riesgo de explosión</li> <li>• Detención del proceso de regasificación</li> <li>• Paralización de emergencia de la planta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y sensores de detección de gas metano</li> <li>• El sistema de tuberías de descarga deberá disponer de válvulas de corte automático para limitar el volumen descargado de GNL</li> <li>• El sistema de tuberías de GNL debe estar diseñado para soportar expansiones y contracción esperables debido a cambios en la temperatura y otras fallas del sistema.</li> <li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de GNL para inertización antes de reiniciar el funcionamiento de la</li> </ul>

				planta.
		Falla Compresor J103	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un compresor de respaldo</li> <li>• Instalación de tuberías de recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento</li> <li>• Instalación de un sistema de corte automático de GNL al regasificador</li> </ul>
Menos	Menos Presión	Obstrucción parcial o total antes del nodo I	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la capacidad de regasificación de GNL en caso de obstrucción parcial</li> <li>• Paralización del proceso de regasificación en caso de obstrucción total de la cañería</li> <li>• Falla del compresor J103 por sobrepresión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un compresor de respaldo</li> <li>• Instalación de sensores de flujo en las tuberías para detección de obstrucciones o anomalías</li> </ul>
		Fuga de GNL antes del nodo I	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la tasa de regasificación de GNL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deberá contar con un sistema de encamisado para las tuberías y</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vaporización de GNL con riesgo de explosión</li> <li>• Detención del proceso de regasificación</li> <li>• Paralización de emergencia de la planta</li> </ul>	<p>sensores de detección de gas metano</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El sistema de tuberías de descarga deberá disponer de válvulas de corte automático para limitar el volumen descargado de GNL</li> <li>• El sistema de tuberías de GNL debe estar diseñado para soportar expansiones y contracción esperables debido a cambios en la temperatura y otras fallas del sistema.</li> <li>• Se deberá disponer de un sistema de inyección de nitrógeno a las líneas de GNL para inertización antes de reiniciar el funcionamiento de la planta.</li> </ul>
		Falla Compresor J103	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralización del proceso de regasificación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un compresor de respaldo</li> <li>• Instalación de un sistema de corte automático de la</li> </ul>

				<p>alimentación de GNL al recondensador.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de tuberías de recirculación de GNL a los estanques de almacenamiento</li> </ul>
Mas	Mas Presión	Obstrucción parcial o total después del nodo I	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la capacidad de regasificación de GNL en caso de obstrucción parcial</li> <li>• Paralización del proceso de regasificación en caso de obstrucción total de la cañería</li> <li>• Falla del compresor J103 por sobrepresión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sensores de flujo en las tuberías para detección de obstrucciones o anomalías</li> </ul>



## **6. ESTUDIO DEL ANÁLISIS HAZOP DESARROLLADO PARA LA PLANTA DE GNL**

Como se señaló en el capítulo 4 del presente trabajo, el análisis de riesgos tiene como objetivo fundamental, la determinación de riesgos latentes durante la operación de una planta y la determinación de las medidas que pueden corregir esta situación

Basándonos en el principio anteriormente expuesto, utilizaremos el análisis de riesgos desarrollado en el capítulo 5 para enumerar una serie de riesgos y recomendaciones de seguridad por equipos (capítulo siguiente), que debiesen ser adoptadas durante la fase de construcción y operación de la planta de GNL.

### **6.1 Riesgos detectados**

El análisis de riesgos por metodología HAZOP, permite determinar los riesgos existentes por fallos de componentes y desviaciones de las condiciones de operación. Para nuestro caso en particular, dicha información será extraída del campo denominado “Consecuencias<sup>1</sup>” que aparece en las tablas de análisis de riesgos del capítulo 5. Este campo, enumera una serie de consecuencias producidas a partir del planteamiento de diversas desviaciones de las variables de proceso, en nuestro caso, presión, temperatura y flujo.

Para extraer un listado de los riesgos detectados mediante esta metodología, es necesario aclarar que muchas veces, desviaciones en diferentes variables de proceso, dan como resultado una misma consecuencia. Debido a lo anterior, se hace imprescindible reducir la lista de consecuencias que aparece en el análisis original de forma que no se genere redundancia en la información entregada.

---

<sup>1</sup> Si se requiere mayor información sobre la metodología aplicada o el significado de cada uno de los campos desarrollados en el análisis de riesgos, consultar el Capítulo 4 sobre “Metodologías de Análisis de Riesgos”

### **6.1.1 Estanques de almacenamiento**

A partir de los datos entregados en el capítulo 5, y desarrollando el respectiva reducción en la información, obtenemos como resultado final la siguiente lista de riesgos.

- Roturas o fugas en las tuberías de llenado de los estanques
- Roturas o fugas en las líneas de impulsión de las bombas primarias
- Sobrepresiones por fallos en el aislamiento de los estanques. Estas fallas de aislamiento pueden provocar además y aumento de el GN liberado que de no ser canalizado en forma correcta puede generar grandes problemas.
- Generación de vacío producto de la aspiración descontrolada de las bombas primarias
- Estratificación del GNL, proceso conocido como Rollover.
- Cavitación de las bombas primarias por bajo nivel de GNL en los estanques
- Fallo de las bombas primarias por sobrepresión
- Fallas en conexiones a flanches, nozzles, empaquetaduras, soldaduras, etc.

### **6.1.2 Recondensador**

Del mismo modo que en el apartado anterior, tenemos la siguiente lista de riesgos para el recondensador.

- Aumento de presión en las tuberías de llenado de GNL
- Aumento del nivel de GNL dentro del equipo
- Rotura o fuga en las tuberías de descarga del equipo
- Rotura o fuga en las tuberías de llenado del equipo
- Aumento de presión en las tuberías de descarga y llenado producto de un aumento en la temperatura del GNL o GN
- Aumento de la presión dentro del equipo por aumento en la cantidad de GN producida.

Este ultimo punto tiene directa relación con un fallo en el sistema de aislamiento de las tuberías ya que un aumento de temperatura provocará un aumento en la vaporización del GN que de no ser canalizado de forma correcta puede generar incidentes o accidentes de carácter grave.

### **6.1.3 Regasificadores**

La lista de riesgos detectada es la siguiente:

- Roturas o fugas en las líneas de impulsión de las bombas secundarias
- Roturas o fugas en las tuberías de descarga del equipo
- Sobrepresiones en el sistema de tuberías por dilatación térmica del GNL o GN transportado.
- Fallas en el suministro de agua y Gas natural

### **6.1.4 Sistema de tuberías**

La lista de riesgos detectada es la siguiente:

- Rotura o fuga de GNL con posterior formación de una nube de GN
- Obstrucción total o parcial de las tuberías
- Sobrepresiones debidas a dilataciones térmicas
- Fallas en conexiones, soldaduras, empaquetaduras, etc.

Con la lista de cada uno de los equipos citados anteriormente, tenemos una vista general de los riesgos asociados al funcionamiento del proceso de almacenamiento y regasificación de

GNL. A continuación, en el capítulo siguiente, se desarrollará una lista de medidas tendientes a evitar estos riesgos.

## **6.2 Riesgos Ambientales**

En relación al funcionamiento de los estanques de almacenamiento y planta de regasificación, se deben considerar los siguientes riesgos ambientales:

### **6.2.1 Devolución de Agua de Mar con sus parámetros modificados (temperatura y composición)**

El agua de enfriamiento utilizada en la planta de regasificación del terminal, se verterá al mar a temperaturas mas bajas que la temperatura del medio (aproximadamente 4°C), y con un contenido de cloro libre residual menor a 0,1 [mg/l]. Al respecto, el DS N°90/2000 sobre regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos, señala como temperatura máxima permitida para descargas a cuerpos de aguas marinos 30°C, no especificando valores mínimos para bajas temperaturas. Respecto al cloro libre residual, no se establecen límites máximos permitidos, por lo que no existirían problemas en relación a la descarga de aguas de calentamiento de GNL.

La fiscalización de esta normativa corresponde a la superintendencia de servicios sanitarios.

### **6.2.2 Funcionamiento del sistema de antorchas**

En relación al funcionamiento del sistema de antorchas, considerado solo para casos de emergencias, existen dos normas que regulan las emisiones generadas por este concepto.

- DS N°115, Noma primaria de calidad de aire para monóxido de carbono (*CO*)
- DS N°112, Norma primaria de calidad de aire para ozono.

La respecto, el proyecto tiene especificados los mecanismos necesarios para el cumplimiento de los límites establecidos en ambas normas.

## 7. RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

Al igual que los riesgos enumerados en el Capítulo 6, las recomendaciones de seguridad también se obtienen del análisis de riesgos desarrollado en el capítulo 5, específicamente del campo denominado “medidas Preventivas” que aparece en las tablas que allí se desarrollan. Nuevamente, en este caso, encontraremos que muchas de las medidas preventivas se repiten constantemente durante el análisis, debido a que como se señaló en el Capítulo 6, diversas desviaciones en las variables de procesos dan como resultado, iguales consecuencias y por tanto, medidas preventivas iguales.

Siguiendo la explicación anterior, se presenta a continuación el resumen de las medidas preventivas obtenidas de la información entregada en el Capítulo 5.

### 7.1 Estanques de Almacenamiento

Las recomendaciones de mejora a adoptar en el caso de los estanques de almacenamiento son las siguientes.

**Protección contra la presión:** El estanque de GNL debe estar equipado como mínimo con una conexión directa al sistema de antorchas o válvulas de alivio o seguridad.

**Protección contra vacío:** Debe impedirse que el estanque adquiera presiones negativas más allá del límite admisible, parando a tiempo de forma automática, las bombas y compresores. Asimismo se debe disponer de sistemas de rotura de vacío tales como los siguientes:

- Sistema de inyección de gas nitrógeno
- Válvulas de descarga de vacío

Dado que la introducción de aire puede provocar una mezcla inflamable al interior del estanque, las válvulas de descarga de vacío deben ser utilizadas solo como último recurso y con el fin de evitar daños permanentes en el estanque.

**Dispositivos Anti Inversión (Anti Rollover):** Con el fin de evitar la inversión se debe disponer de sistemas que permitan el llenado en función de la densidad del GNL descargado de los metaneros. Este sistema de llenado consiste en la instalación de tuberías para llenado del estanque por tope o fondo.

Si el GNL que se está descargando es más liviano, se debe utilizar el sistema de llenado por fondo. De esta forma, el GNL más liviano tenderá a subir y a mezclarse con el existente. Cuando el GNL que se está descargando es más pesado que el existente, la descarga se debe hacer por tope, de modo que el GNL de menor densidad, existente en el estanque, tienda a subir.

**Sensores de Temperatura:** Los estanques de GNL deben disponer de sensores de temperatura, con señal de alarma a la sala de control. La cobertura de sensores debe ser suficiente para asegurar que se detectará cualquier gradiente de temperatura anormal.

**Sensores de Nivel:** Los estanques de GNL deben disponer de dispositivos de medición de nivel independientes, que permitan la medición continua de nivel, con alarmas de alto, muy alto y bajo nivel y que permitan el control de las bombas primarias.

**Sensores de Presión:** Los estanques de GNL deben disponer de sensores que permitan la medición continua de presión, la detección de una presión muy elevada y de una presión muy baja o vacío.

**Conexiones a los estanques:** Todas las conexiones a los estanques, por las que circule GNL deben disponer de válvulas de cierre automático en caso de derrame, o exposición a fuego.

**Sistema de Antorchas:** Tanto los estanques de almacenamiento como el resto de los equipos que conforman la planta de GNL deben contar con un sistema de tuberías que transporte los vapores de GN provenientes de la vaporización directo a un sistema de antorchas. Este sistema tendrá como función quemar el exceso de GN generado en las distintas etapas de almacenaje y regasificación.

## 7.2 Recondensador

Las recomendaciones de mejora para el recondensador son las siguientes:

**Sensores de Nivel:** El recondensador debe disponer de sensores de bajo y alto nivel que permitan el control en forma automática de las bombas secundarias y dispositivos para recirculación de GNL a estanques o derivación al sistema de antorchas.

**Sensores de Presión:** El recondensador debe disponer de sensores de alta y baja presión o vacío que permitan el control en forma automática de las bombas secundarias, válvulas de seguridad y eliminación de vacío.

## 7.3 Sistema de Tuberías

Los elementos de protección que deben ser considerados en todo el sistema de tuberías de la planta de GNL son los siguientes:

**Válvulas automáticas de corte:** El sistema de tuberías debe disponer de válvulas de corte para limitar el volumen descargado de GNL en caso de roturas o fugas, así como dispositivos que impidan el exceso de presión debida a la dilatación térmica del producto encerrado entre dos válvulas.

**Diseño de las tuberías:** Las líneas de GNL deben estar diseñadas para máximas expansiones y contracciones debido a cambios de temperatura.



**Sensores de Gas metano:** Se deben instalar sensores de gas metano con cobertura suficiente para detectar cualquier posible fuga o derrame de GNL en el sistema de tuberías. Los sensores deben estar conectados a un sistema de alarmas que alerten ante cualquier anomalía.

**Encamisado de Tuberías:** Para evitar la fuga o derrame con posterior vaporización de GN, se recomienda la instalación de un encamisado para las tuberías lo que servirá como barrera de contención en caso de una posible fuga de material.

**Sensores de presión:** Se deben instalar sensores de presión en el sistema de tuberías, con cobertura suficiente para detectar posibles anomalías que indicarán fugas de material. Los sensores deben estar conectados a un sistema de alarmas que alerten ante cualquier anomalía.

**Sensores de Flujo:** Otra forma de detectar posibles fugas de GNL es mediante la instalación de sensores de flujo. Los sensores deben estar conectados a un sistema de alarmas que alerten ante cualquier anomalía.

#### **7.4 Regasificadores**

Una de las etapas cruciales en el proceso de obtención de gas natural es la regasificación de GNL. Durante esta etapa, las recomendaciones de seguridad que debiesen ser tomadas en consideración son las siguientes:

**Válvulas de corte:** Cada regasificador debe poseer válvulas de corte en la línea de GNL y en la línea de GN. Estas válvulas deben poder ser activadas en forma automática.

**Protección contra presión:** Los regasificadores deben estar dotados con una válvula de seguridad de sobrepresión que descargue el GN directamente al sistema de antorchas.

## **7.5 Equipos de protección fija**

Adicionalmente a las medidas de seguridad que se describen en los apartados anteriores, las plantas de recepción y almacenamiento de GNL debiesen contar con los siguientes dispositivos.

- Detectores de humo o llama
- Sistema contra incendios

En el caso del sistema contra incendios, se debe contar con instalaciones fijas en el cabezo de descarga, muelle e instalaciones de tierra. Estas instalaciones fijas consisten básicamente en la instalación de monitores fijos para utilización en caso de emergencia.

## **7.6 Puesta en Marcha**

Los pasos más importantes en la puesta en marcha de una planta de GNL son los siguientes:

- Inertización de todas las líneas y equipos
- Enfriamiento de tuberías y equipos
- Chequeo de la circulación de agua de mar para los regasificadores y sistema de incendios
- Verificación del estado general de equipos y válvulas
- Operación definitiva.

Para cada uno de los pasos citados anteriormente, se deberá contar con procedimientos estandarizados y documentados.

El primer paso en la puesta en marcha de la planta regasificadora es la recepción del primer buque metanero. Antes de comenzar la descarga del GNL, y para asegurar que no existen riesgos de explosión de este combustible, se debe purgar todas las líneas para eliminar todo

el oxígeno, lo que se conseguirá utilizando una corriente de nitrógeno gaseoso que se hará pasar a través de todas las tuberías y equipos que están involucrados en el proceso.

Una vez que comienza la descarga del GNL, inicia la segunda fase que consiste en el enfriamiento de tuberías y equipos. Esta fase tiene una duración aproximada de 1 mes y tiene como objetivo secundario comprobar el correcto funcionamiento de las instalaciones.

Durante la segunda etapa el sistema de antorchas se mantiene permanentemente funcionando. Lo anterior se debe principalmente a que durante el proceso de enfriamiento de tuberías se genera una gran cantidad de vapor de GN el que debe ser quemado para evitar cualquier tipo de riesgos. El encendido del sistema de antorchas marca el comienzo de la etapa de enfriamiento. Esta se mantendrá en funcionamiento durante todo el proceso de puesta en marcha. Superada esta fase, la antorcha quedará en funcionamiento con la llama piloto como parte del sistema de seguridad.

Una vez terminado el periodo de pruebas, se inicia la operación definitiva de la planta.

## **7.7 Paradas de emergencia**

Entre otras medidas de seguridad, las plantas de GNL deben disponer de un sistema de parada de emergencia que lleve a la planta a una situación segura. Este sistema consta principalmente de procedimientos a efectuarse en caso de que se origine algún siniestro y tiene como actor principal a las personas que desarrollan en dicho lugar. Dicho sistema debe cumplir con requisitos establecidos en el siguiente estándar: ANSI/ISA – S84.01 – 1996 “Application of safety instrumented systems for the process industries”

Para la puesta en marcha después de una parada de emergencia, se deben seguir procedimientos similares a los descritos en el apartado 7.6, siendo uno de los procesos más importantes, la inertización de las tuberías para evitar riesgos de explosión.

## CONCLUSIONES

La metodología HAZOP de análisis de riesgos corresponde a unas de las técnicas de identificación de riesgos más sistemática y rigurosa que existe actualmente. Mediante la aplicación de esta técnica de análisis, fue posible determinar varias recomendaciones de mejora para los equipos e instalaciones de la Planta de regasificación de GNL que se instalará en ventanas, mejoras que al ser aplicadas, pueden disminuir considerablemente el riesgo durante la operación de la planta.

Si se revisa con detención el desarrollo del análisis de riesgos, se verá que la mayor parte de las recomendaciones se centran principalmente en mejoras de las tuberías de canalización tanto de gas natural como de GNL. Esto se debe fundamentalmente a que se puede considerar que uno de los puntos vulnerables de este tipo de instalaciones son la serie de tuberías de transporte de material existentes.

Por otro lado, se notará que uno de los grandes problemas con lo que se debe lidiar constantemente es el aumento de presión provocado principalmente por la vaporización de GNL. Este punto es también un factor importante a considerar ya que agrupa buena parte de las recomendaciones de mejoras consideradas.

Finalmente y a modo de resumen, podemos señalar que este tipo de análisis contribuyen a diseñar instalaciones con un riesgo mínimo tanto en términos económicos como para las personas que trabajan en ellas. Un análisis de riesgos bien desarrollado, se transforma entonces en una herramienta de valor incalculable a la hora de obtener resultados óptimos en términos de seguridad ya que nos permitirá determinar si existen situaciones de riesgos asociadas al funcionamiento de una instalación y determinar las medidas preventivas antes de que ocurra un incidente o accidente.

---

# ANEXO 1

---

