

Gas Natural

Análisis HAZOP en plantas de GNL

G. Reyes Delgado, ~ Macías Jaén y J. Santos Remesal Seguridad Industrial Inerco, S.A. Dpto.

1. Introducción

El gas natural constituye una de las fuentes de energía primaria más limpia, económica y abundante, circunstancia que ha favorecido un aumento espectacular de su consumo en los últimos años. El crecimiento del consumo ha motivado en España la necesidad de construcción de nuevas plantas de recepción, almacenamiento y regasificación de gas natural licuado y la ampliación de las ya existentes, provocando la construcción de nuevos gasoductos para transporte a los puntos de consumo.

los que se bombea en estado líquido hasta la presión de la red (75 kg/cm² normalmente) para ser posteriormente vaporizados y expedidos por el gasoducto. De forma previa a su envío al gasoducto, se dispone de un sistema de odorización en el cual se inyecta al GNL un producto odorizante, (tetrahidro-tiofeno o lliT, C₄H₄S), con el fin de hacer al producto perceptible al olfato en el caso de una fuga en las instalaciones de conducción del fluido.

Por tanto, las áreas o secciones principales de que consta una planta de GNL son:

- Pantalán marítimo de descarga. -
- Tanques de almacenamiento de GNL.
- Bombee de GNL. -
- Vaporizadores.
- Sistema de recuperación de vapores.
- Sistema de odorización. -
- Cargadero de cisternas.

Las operaciones realizadas en las plantas de recepción, almacenamiento y regasificación del gas natural licuado (GNL) llevan aparejado un riesgo inherente al carácter extremadamente inflamable del mismo, de manera que cualquier fuga o escape puede desencadenar un incendio o la generación de una nube inflamable.

Las medidas de seguridad más adecuadas a adoptar en las instalaciones se derivarán de la elaboración de un análisis de riesgos específico en las mismas. En este sentido, la metodología HAZOP (Hazard and Operability) se presenta como una técnica de identificación de riesgos sistemática y rigurosa, que permite obtener recomendaciones de mejora del diseño final de los equipos y de sus medidas de seguridad.

En síntesis, el proceso llevado a cabo en una planta de recepción, almacenamiento y regasificación de gas natural licuado (GNL) (Figs. 1, 2 y 3) es la descarga del GNL de los metaneros y el almacenamiento a presión atmosférica a -160°C en grandes tanques criogénicos, desde

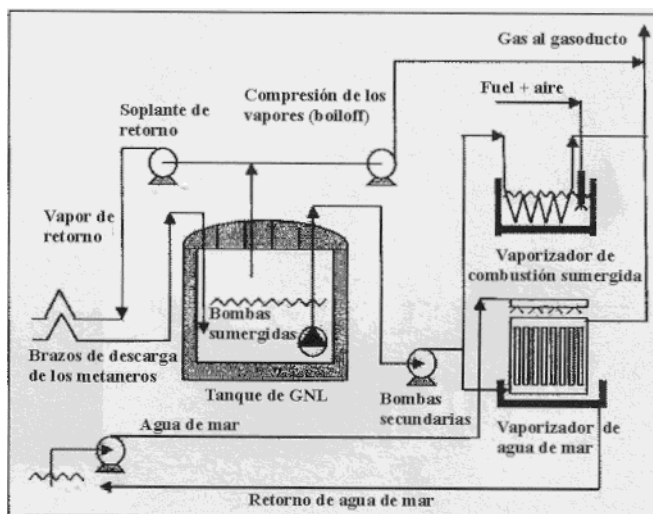


Figura 1. Diagrama de flujo de una planta de recepción, almacenamiento y regasificación de GNL.

2. Principales riesgos en plantas de GNL

El gas natural es una energía de origen fósil que se encuentra en el sub suelo y procede de la descomposición de materia orgánica atrapada en estratos rocosos. Su composición incluye diversos hidrocarburos gaseosos, con predominio del metano en una proporción aproximada del 90%. El resto es fundamentalmente etano, con proporciones menores de propano, butano y nitrógeno. Se trata, por tanto, de un gas extremadamente inflamable, con una temperatura de inflamación de $-188\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una temperatura de autoignición de $538\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Por consiguiente, las operaciones realizadas con el gas natural en las plantas de recepción, almacenamiento y regasificación llevan aparejado 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.

En este sentido, los principales riesgos existentes en las distintas secciones de una planta de GNL son:

-Pantalán de descarga

.Rotura, fuga o desconexión del brazo de descarga-

.Rotura o fuga en el colector de GNL.

.Sobrepresiones debidas a dilataciones técnicas del GNL retenido entre las válvulas del brazo.

.Generación de vacío en el tanque de GNL del barco durante las operaciones de descarga, con posible formación de atmósfera explosiva en su interior.

-Tanques de GNL

.Rotura o fuga en la línea de llenado del tanque.

.Disparo de las PSV's.

. Rotura o fuga en la línea de impulsión de las bombas primarias.

.Sobrepresiones por fuego exterior, pérdida de refrigeración, va-

porización instantánea (*flash*) durante las operaciones de llenado por diferencias de composición entre GNL o temperaturas, etc.

.Generación de vacío en los procesos de aspiración en las bombas, aspiración del compresor del gas de evaporación, etc., con posible formación de atmósfera explosiva.

.Posibles sobrelLENADOS.

.Estratificación o inversión (" *roll-over*") del GNL.

-Sistema de tuberías

.Rotura o fuga en el sistema de tuberías.

.Sobrepresiones debidas a dilataciones térmicas del GNL retenido entre las válvulas de corte.

, -Bombas secundarias de envío a vaporizadores

.Rotura o fuga en la línea de impulsión de las bombas secundarias.

-Vaporizadores

.Rotura o fuga en la línea de salida de GN de vaporizadores.

.Sobrepresiones por fuego exterior, pérdida de refrigeración, etc.

-Recuperación de vapores

.Rotura o fuga en la impulsión de los compresores de "boiloff".

-Instalaciones para la odorización con THT del GN.

.Fuga en las operaciones de llenado de tanques.

.Fuga en el tanque.

.Fuga en la línea de trasiego a aditivación.

-Cargadero de cisternas

.Rotura, fuga o desconexión del brazo de carga de las cisternas.

.Generación de vacío en el camión cisterna durante las operaciones de descarga, con posible formación de atmósfera explosiva en su interior.

Estos riesgos potenciales exigen que estas plantas adopten estrictos criterios, tanto en el diseño de las instalaciones y equipos, como en

la adopción de medidas de seguridad para reducir al máximo la probabilidad de un incidente y minimizar sus consecuencias asociadas. Las medidas de seguridad más adecuadas a adoptar en las instalaciones se derivarán de la elaboración de un análisis de riesgos específico en las mismas, mediante la aplicación de una o varias técnicas de identificación de riesgos.

Existe una gran variedad de técnicas de identificación de riesgos, tales como bases de datos de accidentes, análisis de peligros y operatividad (HAZOP), análisis "what if", listas de chequeo, análisis de los modos de fallo, efectos y consecuencias (FCMEA), análisis mediante árboles de fallo y árboles de suceso, etc.

La técnica de identificación seleccionada dependerá de los propósitos perseguidos con la identificación de riesgos, así como de los datos y recursos disponibles. En este sentido, la metodología HAZOP se presenta como una de las técnicas más rigurosas y estructurada para la identificación de los peligros asociados a una planta de proceso. La aplicación principal de esta técnica se encuentra en la identificación de riesgo en las primeras etapas del diseño, al ser el mejor momento para introducir cambios o modificaciones, dado que los resultados son recomendaciones de mejora que modificarán el diseño final de los equipos o sistemas.



Figura 2. Recepción de gas natural licuado

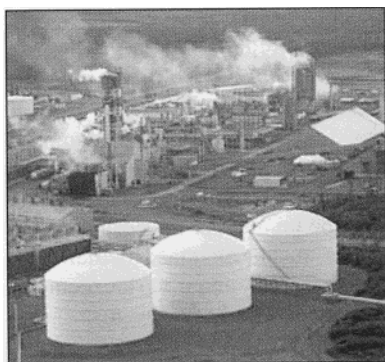


Figura 3. Almacenamiento de gas natural licuado

Adicionalmente, en la Norma UNE-EN 1473 "Instalaciones y equipos para gas natural licuado. Di-

determinada unidad de proceso.

El equipo sigue, dentro de un proceso de "brainstorming //, una estructura analítica por medio de un conjunto de palabras guía para examinar desviaciones de las condiciones normales de proceso en varios puntos clave a lo largo del proceso. Estas palabras clave son aplicadas a los parámetros más relevantes del proceso (por ejemplo, caudal, temperatura, presión, composición), con el objeto de identificar las causas y consecuencias de las desviaciones de estos parámetros con respecto a sus valores previstos.

4. Indices SIL (Safety Integrity Level)

De acuerdo a las Normas NFPA 59A "Standard for the Production, Storage and Handling of the Liquefied Natural Gas (LNG)" y UNE- EN 1473 "Instalaciones y equipos para gas natural licuado. Diseño de las instalaciones terrestres", las instalaciones de GNL deben disponer de un sistema de corte de emergencia que conduzca a la planta a posición segura en caso de una situación de emergencia.

En este sentido, los estándares ANSI/ISA-S84.01-1996 "Application of Safety Instrumented Systems for the process industries" e IEC 61508 "Functional Safety of electrical/electronic/programmable electronic safety related systems" establecen la necesidad de realizar la asignación de índices SIL (Safety Integrity Level) para todos los interlocks o sistemas de emergencia existentes en los distintos equipos de la instalación. La evaluación del SIL consiste en una extensión de los análisis de riesgos de los procesos (Process Hazard Analysis, PHA), para el desarrollo de los cuales la metodología HAZOP se presenta, tal y como se ha indicado, como una de las técnicas más sistemáticas y rigurosas.

Tabla I. Relación de índices SIL con probabilidad de fallo en demanda

SIL	Consecuencias	Disponibilidad requerida (%)	PFD avg ²
4 ¹	Daños catastróficos en el exterior	> 99,99	10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁴
3	Daños humanos en el interior y daños en el exterior	99,90 - 99,99	10 ⁻⁴ - 10 ⁻³
2	Daños materiales y posibles daños humanos en el interior	99,00 - 99,90	10 ⁻³ - 10 ⁻²
1	Pequeños daños materiales en el interior	90,00 - 99,00	10 ⁻² - 10 ⁻¹

(1) El índice SIL = 4 sólo se contempla en el estándar IEC 61508, pero no en el estándar ANSISA-S84 que sólo contempla hasta SIL = 3.

(2) Probabilidad de fallo en demanda media.

seño de las instalaciones terrestres", se establece que todos los proyectos de GNL deben someterse a una revisión previa de las situaciones de riesgo del proceso y, más concretamente, se indica que una vez que los diagramas de ingeniería e instrumentación (p&m) estén suficientemente desarrollados y aprobados, se debe proceder a la elaboración de un estudio HAZOP de las instalaciones.

3. Metodología HAZOP

El método HAZOP (HAZard and OPerability study), presentado por primera vez por ingenieros de la ICI Chemicals en el Reino Unido a mediados de los 70, comprende la investigación de posibles desviaciones frente a las condiciones de diseño para las líneas y elementos pertenecientes a una

Finalmente, la identificación de consecuencias no deseadas (o inaceptables) dan como resultado recomendaciones para mejoras del proceso. Éstas pueden incluir propuestas de modificaciones o mejoras técnicas que afecten a los sistemas de control, de señalización o de emergencia, a las condiciones de diseño de líneas y equipos, o a los procedimientos y documentación escrita, pudiendo derivar en recomendaciones de estudio específicos de detalle.

Los miembros del equipo HAZOP, entre los que deben encontrarse personal de ingeniería, operación, instrumentación y control, mantenimiento y seguridad, deben disponer de una dilatada experiencia en las materias anteriormente mencionadas. De esta forma, el rendimiento obtenido de las reuniones o sesiones HAZOP será óptimo.

Es por ello que, paralelamente a la elaboración del estudio HAZOP, debe asignarse un índice SIL a todos los sistemas de instrumentación de seguridad o de enclavamiento de emergencia (en adelante SIS) existentes en la instalación.

Tal y como se muestra en la Tabla I, el índice SIL presenta una correlación directa de las consecuencias asociadas al fallo del sistema y la probabilidad de fallo en demanda del mismo:

Una de las metodologías empleadas para la asignación del índice SIL se fundamenta en la elaboración de matrices de riesgo (Tabla n), en las cuales se representa la probabilidad de fallo y la severidad de las consecuencias asociadas a las distintas causas de fallo que se han identificado en el HAZOP, y para las cuales

les, o bien se disponía de un SIS o bien ha sido recomendado la instalación del mismo.

Según el estándar ANSI/ISA-S84.01-1996, una vez asignado un índice SIL al sistema de "interlock", éste debe tener una configuración determinada, en cuanto a sensores, lógica del sistema y actuadores, para dar cumplimiento al índice establecido. Adicionalmente a los requerimientos exigibles al diseño del sistema de enclavamiento o SIS, y de acuerdo al estándar IEC 61508, dicho sistema debe garantizar una probabilidad de fallo en demanda (PFD) acorde al índice SIL establecido (ver Tabla 1}. En este sentido, los distintos componentes del SIS (sensor, lógica y actuador) deben tener una PFD tal que la PFD del sistema global sea inferior a la recogida en la Tabla I.

5. Medidas de seguridad en plantas

El desarrollo de estudios HA- ZOP en plantas de recepción, almacenamiento y regasificación de GNL dan como resultado recomendaciones para la mejora de las medidas de seguridad a adoptar en las instalaciones. Derivadas de los estudios HAZOP realizados a dichas instalaciones, se obtendrán, entre otras, las medidas de seguridad que se indican a continuación:

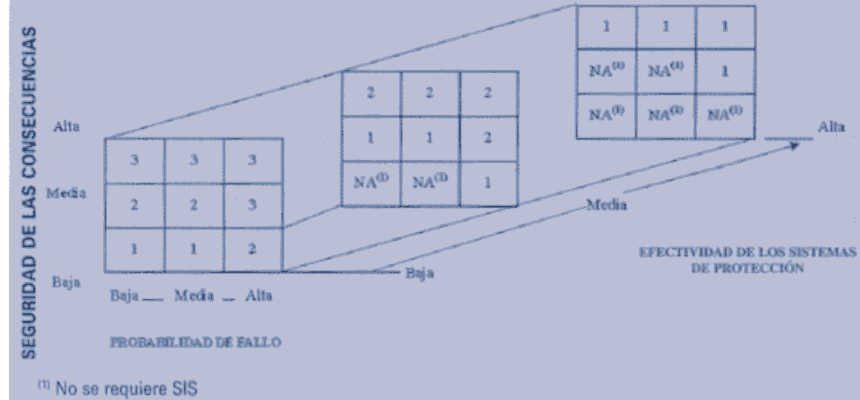
Pantalán de descarga

.Sistemas de alarma de Posicionado de los brazos de carga/descarga: cada brazo debe tener instalado un sistema de umbrales de alarma mecánicos, dotándolos con detectores de proximidad que activen, ante detección de un límite de alarma, señales ópticas y acústicas.

.Sistemas de control de posición del brazo: basado en detectores de posición instalados en el brazo y en el procesado de las mediciones del sensor para calcular las coordenadas del brazo y presentarlas en una pantalla.

.Alarmas de presión y nivel hidráulico: alarmas ópticas y acústi-

Tabla II. Índice SIL según el estándar ANSI/ISA-S84.01-1996



cas por baja presión en los acumuladores hidráulicos, por exceso de presión en las cámaras de los actuadores, por bajo nivel del depósito de aceite y por baja presión de nitrógeno en los acumuladores.

.Sistema de desconexión de emergencia: el extremo del brazo debe estar equipado con una doble válvula y un acoplamiento de desconexión de emergencia que permita soltar rápidamente el brazo del buque con el mínimo vertido de producto. El vertido procederá del volumen de producto encerrado entre las dos válvulas y deberá ser mínimo. Dicho sistema debe estar equipado con un dispositivo que impida el exceso de presión debido a la dilatación térmica del producto encerrado entre dos válvulas. Asimismo, en caso de incendio, el sistema debe conservar su estado de funcionamiento a una temperatura de 1.1000°C durante 1,5 minutos, y durante 10 minutos en el caso de un incendio de 350 °C.

.Desconexión de emergencia en caso de fallo eléctrico completo: una válvula manual instalada en cada brazo debe permitir la desconexión del brazo utilizando la presión hidráulica del grupo acumulador, para la retirada total de todos los brazos del conjunto a una zona segura.

.Línea de retorno de vapores en operaciones de carga/descarga a barco para evitar la generación de vacío, con el consiguiente riesgo de atmósfera explosiva, en tanques de GNL del barco y de la planta.

.Piscina de recogida de derrames en pantalán.

Tanques de GNL

.Protección contra la presión: el tanque de GNL debe estar equipado como mínimo con dos válvulas de seguridad de sobrepresión, con válvula de tres vías y válvulas de bloqueo LO y LC para el mantenimiento de las mismas, que descarguen directamente a la atmósfera. En aquellos casos en los que una emisión de vapor en una situación de emergencia dé lugar a situaciones indeseables, hecho que deberá confirmarse mediante un análisis de riesgo, la descarga de las válvulas debe realizarse a la red de antorcha o al sistema de venteo.

.Protección contra el vacío: debe impedirse que el tanque adquiera presión negativa, más allá del límite admisible, parando a tiempo de forma automática las bombas y compresores. Asimismo, deben disponer de dos sistemas de rotura de vacío, un sistema de inyección de gas o nitrógeno que debe actuar en primer lugar, y dos válvulas de descarga de vacío, con válvula de tres vías y válvulas de bloqueo LO y LC para el mantenimiento de las mismas, que permitan la entrada de aire en el tanque. Dado que la introducción de aire puede provocar una mezcla inflamable en el interior del tanque, este dispositivo de seguridad debe actuar únicamente como último recurso con el fin de evitar daños permanentes al tanque.

.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 calidad del GLN, bien desde el techo o por la parte inferior mediante una tubería que vaya hasta el fondo del tanque, así como de sistemas de recirculación, de sistemas de control de la velocidad de evaporación y de mediciones de temperatura y densidad en el tanque.

.Sensores de temperatura: los tanques de GNL deben disponer de sensores de temperatura, con señal y alarma en la sala de control. La cobertura de los sensores debe ser suficiente para asegurar que se detecta cualquier fuga y que se vigila el gradiente de temperatura.

.Sensores de nivel: los tanques de GNL deben disponer de dispositivos de medición de nivel independientes, que permitan la medición continua del nivel, por lo menos desde dos sistemas independientes, con alarmas de alto y muy alto nivel, y que permitan la configuración de enclavamiento de parada de las bombas de alimentación por señal de muy alto nivel independiente de las anteriores.

.Sensores de presión: los tanques de GNL deben disponer de sensores que permitan la medición continua de la presión, la detección de una presión muy elevada y de una presión muy baja o vacío, mediante instrumentación independiente a la medición continua.

.Conexiones del tanque por las que circule líquido: dichas conexiones deben disponer de válvulas de cierre automático ante exposición a fuego, de una válvula de cierre rápido de accionamiento remoto y de una válvula antirretorno en las conexiones de llenado.

.Detección de fugas del contenedor primario: en todos aquellos tanques en que el espacio del aislamiento no esté en comunicación con el contenedor primario, se debe disponer de un sistema para la circulación de nitrógeno dentro del espacio de aislamiento. En este caso, se puede controlar la estanquei-

dad del contenedor primario mediante la detección de hidrocarburos en la purga de nitrógeno.

.Zona de contención o cubeto: el tanque de GNL debe disponer de una zona de contención destinada a recoger posibles derrames de líquido. El cubeto puede ser de tierra u hormigón y los muros del mismo estarán situados a una distancia superior a 6 m del tanque.

Sistema de tuberías de GNL

.Válvulas de corte: los sistemas de tuberías deben disponer de válvulas de corte para limitar el volumen descargado de GNL en caso de roturas o fugas, así como de un dispositivo que impida 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 las máximas expansiones y contracciones esperables debido a cambios de temperatura. En este sentido, debe tenerse en cuenta el cambio de temperatura debido a fugas.

Vaporizadores de GNL

.Válvulas de corte: cada vaporizador debe estar dotado de válvulas de corte, en la parte caliente y en la línea de GNL, con control remoto y pulsador local situado a una distancia de 15 metros.

.Protección contra la presión: los vaporizadores de GNL deben estar equipados con una válvula de seguridad de sobrepresión que descargue directamente a la atmósfera. En aquellos casos en los que una emisión de vapor en una situación de emergencia dé lugar a situaciones indeseables, hecho que deberá confirmarse mediante un análisis de riesgo, la descarga de las válvulas debe realizarse a la red de antorcha o al sistema de venteo.

Instalación de odorización

.Diseño: durante el funcionamiento normal, no debe haber ninguna emisión de odorante a la atmósfera y el sistema debe dise-

ñarse de forma que se eliminen y minimicen todas las emisiones posibles.

Cargadero de cisternas

.Línea de retorno de vapores en operaciones de carga/descarga a camión cisterna: para evitar la generación de vacío, con el consiguiente riesgo de atmósfera explosiva, en el mismo y en los tanques de GNL de la planta. En caso que no se considere esta medida, debe garantizarse al menos que la concentración de oxígeno en el camión cisterna sea inferior al 2% en volumen.

.Conexión a tierra: junto a cada puesto de carga o descarga debe existir un dispositivo para la conexión del camión cisterna a tierra, con indicación de alarma y enclavamiento, que detenga la operación de carga/descarga en caso de desconexión de la puesta a tierra.

.Válvulas antirretorno: las líneas de carga/descarga de GNL en las cuales el flujo sea en un único sentido, deben estar dotadas de válvula antirretorno para evitar flujos inversos.

Equipos de protección fija

Adicionalmente a todas las medidas de seguridad que se acaban de describir, las plantas de recepción, almacenamiento y regasificación de GNL deben estar dotadas de:

.Sistema de detección de GNL en base a detectores de gases, detectores de frío, detectores de humos o detectores de llama, en aquellos puntos de la instalación donde exista mayor probabilidad de fugas, tales como zonas de recogida de derrames, bombas y compresores de GNL, etc.

.Sistema contraincendios: instalaciones fijas de agua contraincendios, sistemas de diluvios, cortinas de agua, etc.

6. Conclusiones

Las operaciones realizadas con el gas almacenamiento y

ción llevan aparejado 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 ries-

gos específico en las mismas. En este sentido, la metodología HA-ZOP se presenta como la técnica de identificación de riesgos más sistemática y rigurosa, lo que permitirá obtener recomendaciones de mejora que modificarán y mejorarán el diseño final de los equipos y de sus medidas de seguridad. No obstante, el éxito en la aplicación de dicha metodología se basa en gran medida en la experiencia, en materia de ingeniería, operación, instrumentación y control, mantenimiento y seguridad, del personal que integre el equipo HAZOP.

Entre otras medidas de seguridad, las plantas de GNL deben de disponer de un sistema de parada de emergencia que conduzca a la planta a posición segura. Dicho sistema debe cumplir los requisitos establecidos en los estándares ANSI/ISA-S84.01-1996 "*Application of Safety Instrumented Systems for the process industries*" e IEC 61508 "*Functional Safety of electric/electronic/programmable electronic safety related systems*", para el índice SIL establecido en las instalaciones.

IQ