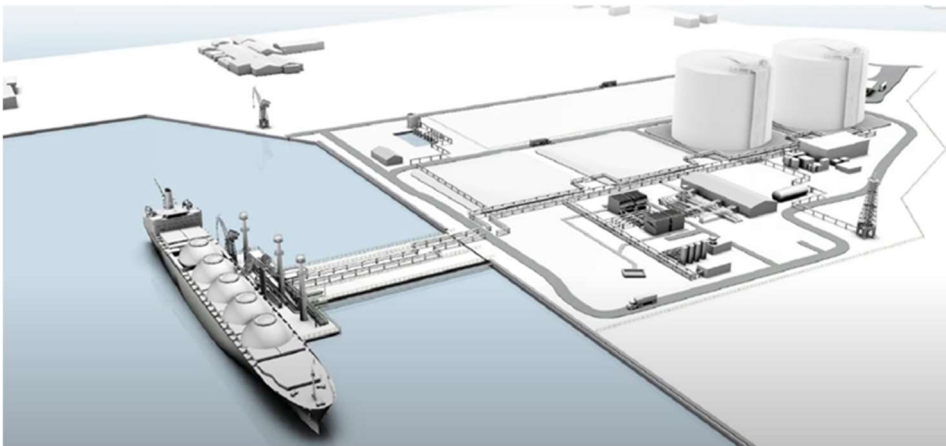


LA PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL LICUADO DE EL MUSEL INAUGURADA EN 2023

El 1º de julio de 2023 Enagás ha inaugurado la Planta de Regasificación de El Musel. Esto ha sucedido casi un siglo después del primer artículo de este blog, donde se explicaba la instalación de relojes eléctricos sincronizados a solo 800 metros de la actual Planta de Regasificación. En este **3º blog hemos desarrollado el funcionamiento de una planta de GNL como la recién inaugurada**, así como otros aspectos como la historia, características y usos del GNL. Terminamos abriendo el paso al **4º artículo de esta serie, donde desarrollaremos la aplicación de la criogenia a plantas navales de generación eléctrica.**



La Planta de Regasificación de El Musel (1)

Xavier Auroux Poblador

Ingeniero Industrial

PDG IESE

Colaborando de diferentes universidades

Ponente en jornadas de patrimonio portuario y arqueología industrial

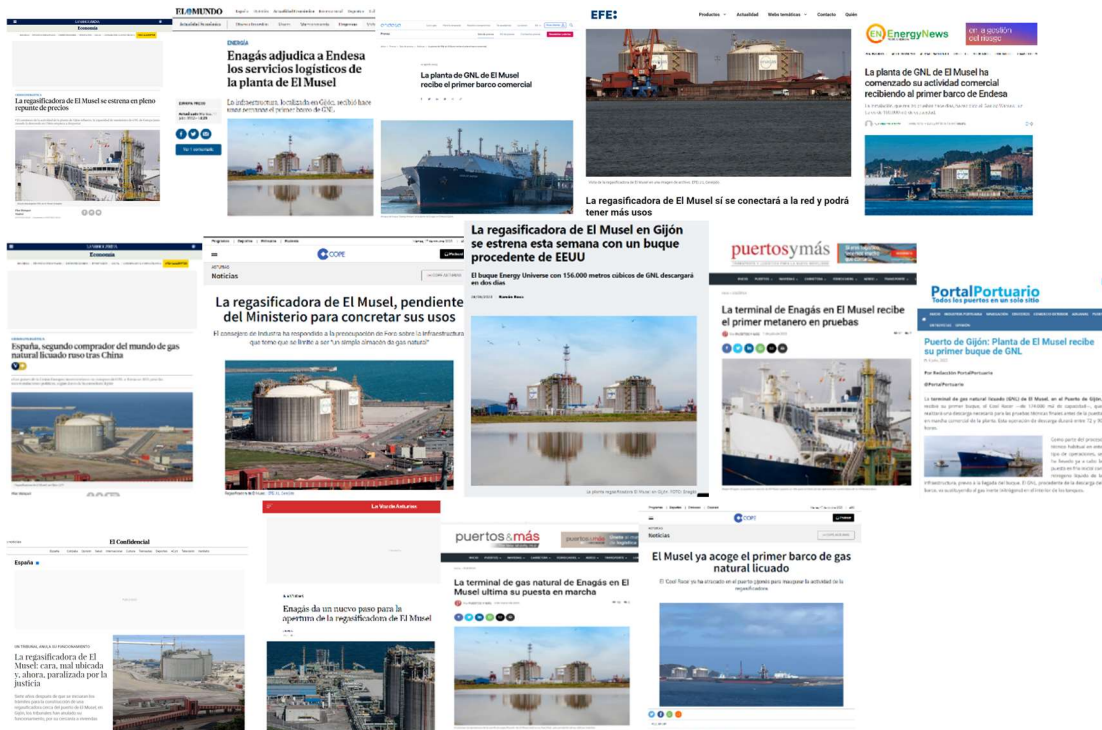
Comisión de Innovación y Transferencia Tecnológica del COEIC

ALGUNAS CIFRAS SOBRE EL GNL: METANEROS Y PLANTAS DE REGASIFICACIÓN

Descripción	Valor	Fecha
Metaneros: número total	668	Abril del 2023
Metaneros construidos	22	Total 2022
Metaneros construidos	28	Total 2023
Nuevos buques: Entregas anuales	80	A partir de 2024
Nuevos buques: Capacidad: m3	175000	A partir de 2024
Nuevos buques en construcción	312	Abril del 2023
Viajes de la flota mundial de metaneros	6888	2022
Viajes de metaneros con destino a Europa	1200	2021
Viajes de metaneros con destino a Europa	2300	2022
Plantas mundiales inauguradas: número	9	2022
Plantas actuales mundiales: capacidad	970,6 MTPA	2022
Plantas actuales españolas: capacidad	43,9 MTPA	Detrás de Japón Corea del Sur y China y por delante de USA
Plantas actuales españolas: Tasa de utilización	48%	2022
Plantas mundiales en construcción	238 MTPA	Abril del 2023
Plantas mundiales: capacidad de almacenamiento	77,11 millones m3	Abril del 2023
Regasificadoras of shore: capacidad	177,2 MTPA	18% de la capacidad total
Regasificadoras of shore: en construcción	35	Abril del 2023

International Gas Union 2023 World LNG Report (2) MTPA: Millones de toneladas por año

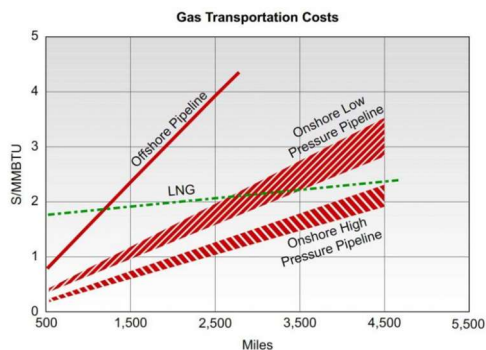
LA INAUGURACIÓN DE LA PLANTA REGASIFICADORA DE EL MUSEL EN LA PRENSA



HISTORIA DEL GNL

Esta tecnología se desarrolló inicialmente para extraer helio del aire. Hacia 1940 aquella tecnología se adaptó al GNL (Gas Natural Licuado) por su capacidad para ahorrar en volumen (600 veces). En 1959 se transportó la primera carga de gas natural licuado (GNL) desde Estados Unidos hasta Inglaterra en un barco especialmente preparado para ese producto. A continuación se construyó la primera planta de GNL en Argelia. Actualmente hay unos 600 (2021) buques metaneros en el mundo sin contar los que están en construcción. (3)

Se trata de una industria intensiva en capital. La planta de El Musel costó aproximadamente 360 millones de euros en 2012, y el de un buque metanero puede sobrepasar los 200 millones. Las pérdidas de gas durante el proceso se podrían cifrar entre un 10 y 15% del gas. Se podría estimar que el proceso de transporte mediante metaneros es rentable a partir de distancias de 4000 kilómetros. (3). El boil off (cambio de estado de líquido a gas espontáneo) diario en un metanero podría estimarse en un 0.15% diario del volumen total.



Pic. 3 Comparison of the cost of transporting gas via pipeline and LNG; for tcf/yr and including regasification costs

Costes en función del método de transporte (4)

La seguridad es un aspecto fundamental en este tipo de plantas. En 1942, se produjo un grave accidente en una planta en Cleveland debido a la rotura y derrame de dos tanques, seguido de un incendio que resultó en la trágica pérdida de 128 vidas. La causa de este incidente fue la falta de muros de contención y el uso de una aleación de acero con un contenido del 3% en lugar del actual 9%. (3) Desde entonces, el diseño y las técnicas operativas han experimentado mejoras significativas, y el historial de seguridad en estas instalaciones es ahora excepcionalmente alto. (5)

EL GN-GNL: CARACTERÍSTICAS, COMPORTAMIENTO EN LA ATMOSFERA, COMPOSICIÓN Y USOS



An Introduction to Liquefied Natural Gas <https://www.youtube.com/watch?v=yDO0711I1WU>

Características

El GNL en forma líquida: no es inflamable, no es explosivo, no es corrosivo, y su poca densidad, ocupa 600 veces menos que el gas.

Comportamiento medioambiental del metano en la atmosfera

El metano en la atmosfera solo está detrás del CO2 en la lista de gases generadores del cambio climático. Si consideramos sus efectos a 100 años, el metano es 28 veces más potente que el CO2. En cambio si consideramos su efecto para un plazo de 20 años es 63 más dañino (Otras fuentes ofrecen cifras más altas). También contribuye a destruir a la capa de ozono.

El metano en la atmosfera tiene un origen natural en un 40%, la extracción de combustibles genera otro 20% aproximadamente (otras fuentes indican cifras algo distintas), y el resto proviene de la ganadería, agricultura y otras fuentes.

Actualmente la concentración de metano en la atmósfera es 2,6 veces mayor que en 1750, y estos últimos años ha subido.

La industria del GNL se ha esforzado en reducir las emisiones a l atmosfera, bien con antorchas de quemado, pero especialmente con la recuperación de los gases de boil-off.

Metano, la otra gran amenaza del cambio climático 09 junio 2021

<https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/medioambiente/metano-gran-amenaza-cambio-climatico/>

Composición del GN

Component mole %	Nigeria LNG	Arun LNG	Brunei LNG	Oman LNG	Atlantic LNG	Kenai LNG
Methane	87,9	88,48	89,4	90	95	99,8
Ethane	5,5	8,36	6,3	6,35	4,6	0,1
Propane	4	1,56	2,8	0,15	0,38	0
Butane	2,5	1,56	1,3	2,5	0	0
Nitrogen	0,1	0,04	0,2	1	0,02	0,1

(ILEX Energy Consulting, 2003)

Composición del GN en función de su origen. (4)

Usos del GN – GNL

Los usos finales típicos del gas pueden ser:

Generación de energía

Combustible industrial/doméstico

Combustible para automóviles, camiones y buques

Materia prima para la fabricación de otros productos químicos (6)

LOS SISTEMAS DE PROPULSION DE LOS METANEROS MEDIANTE EL GAS BOIL-OFF

Un punto importante, es que todos los sistemas de propulsión utilizan el gas de vaporización espontánea boil-off, bien de forma alternativa al diesel o fuel, o bien mezclado en pequeña proporción con diesel.

Sistema de turbinas de vapor. Antes de principios de la década de 2000, la única solución disponible era éste, que funcionaba con gas de ebullición y fueloil pesado. Poseían dos calderas de vapor y una turbina. Su eficacia era solo del 35%. Existen 221 metaneros de esta tecnología, y ninguno en construcción.

DFDE (2006), TFDE (2008), Y SDR. Se desarrollaron a continuación debido a los mayores precios del fuel oil, y la necesidad de reducir las emisiones a la atmosfera.

El DFDE (Diesel eléctrico de doble combustible) funciona con gas boil-off (gas natural generado por vaporización espontánea) y con diesel. El TFDE (Diesel eléctrico de triple combustible) además puede usar el fuel, mejora su rendimiento un 30%, y obtiene una mejor respuesta dinámica.

El SDR (Diésel de baja velocidad con planta de relicuefacción) funciona con 2 diésel de baja velocidad, y 4 generadores de electricidad para operar una planta de relicuefacción del gas boil-off. Su ventaja es el mayor aprovechamiento del gas boil-off, a cambio tiene un gran consumo de electricidad. Existen 48 buques de este tipo, pero ninguno en construcción.

ME-GI, ME-GA, X-DF, STaGE. Últimamente los tanques de los metaneros están mejor aislados y generan menos gas boil-off. Por otro lado el comercio spot del GNL necesitan medios de propulsión más flexibles. Estos nuevos sistemas de propulsión usan gas del boil-off con un pequeño porcentaje de diesel.

El sistema ME-GI (MAN) (Tipo M, controlado electrónicamente) usa un motor diesel de 2 tiempos con inyección electrónica de gas a alta presión. Hay 72 buques en servicio y 22 en construcción.

El sistema ME-GA (Tipo M, controlado electrónicamente) es similar pero con ciclo Otto y con inyección de gas a baja presión. Respecto al ME-GI es más económico, mejor adaptado al gas y con menos emisiones de NOx. Existen 0 buques en servicio y 122 en construcción.

El sistema X-DF Wintertur, (Low-pressure slow-speed dual-fuel) nació en 2017, es similar al ME-GA, pero con menos NOx, mejor respuesta, menos emisiones de CH4 y menor consumo. Existen 114 metaneros en servicio y 146 en construcción.

Mitsubishi lanzó el sistema STaGE (Steam turbine and gas engine) en 2018, combinando un motor con doble combustible y una turbina de vapor que aprovecha el calor del motor para generar electricidad. Solo hay 8 metaneros en servicio y ninguno en construcción. Tienen menos emisiones y se ahorra la turbina de generación eléctrica. (2)

ENAGÁS: EL CAMINO HACIA UNA ENERGÍA MÁS SOSTENIBLE

Enagás es una empresa con más de 50 años de experiencia en el desarrollo, operación y mantenimiento de infraestructuras energéticas, y se ha consolidado como uno de los actores clave en la industria.

Una de las facetas más destacadas de Enagás es su presencia global en el sector de la regasificación de gas natural licuado (GNL). Actualmente, la compañía cuenta con cuatro terminales de GNL en España, ubicadas en Barcelona, Cartagena (Murcia), Huelva y El Musel-Gijón.

Un logro destacado de Enagás es que, desde 2017, todas sus terminales de GNL son neutras en carbono. Otro punto fuerte de las terminales de Enagás es su capacidad para recibir los buques metaneros más grandes y modernos del mundo, lo que contribuye a fortalecer la infraestructura de aprovisionamiento de gas en la Península Ibérica y Europa, y a impulsar la diversificación de las fuentes de suministro de energía.

En el ámbito internacional, Enagás es una de las compañías con mayor presencia en la industria del GNL. Además de sus operaciones en España, Enagás está presente en ocho países, incluyendo Estados Unidos, México, Perú, Alemania, Albania, Grecia e Italia.

LA PLANTA REGASIFICADORA DE EL MUSEL: GARANTIZANDO LA SEGURIDAD ENERGÉTICA EUROPEA

La Planta Regasificadora de El Musel, construida entre 2010 y 2013, desempeña un papel fundamental en el “Plan Más Seguridad Energética” del Gobierno, contribuyendo significativamente a la seguridad en el suministro energético europeo. Esta instalación, tiene la capacidad de aportar hasta 8 billones de metros cúbicos (bcm) ($1 \text{ bcm} = 1 \text{ km}^3 = 40 \times 10^{15} \text{ joules} = 1,06 \times 10^{10} \text{ Kwh}$) de gas natural licuado (GNL) al año, fortaleciendo así la capacidad de Europa para mantener un suministro energético confiable.

El Plan Más Seguridad Energética, fue redactado en octubre de 2022. Sus objetivos clave son, contribuir al ahorro energético y la sustitución de las fuentes de energía por otras renovables, reforzar la autonomía energética, y maximizar el aprovechamiento de la infraestructura existente con el conjunto de la UE. Estas acciones están relacionadas con una situación elevadamente volátil debido a la guerra de Ucrania.

Las características de la Planta Regasificadora de El Musel permiten el atraque de buques de GNL que varían en tamaño desde 50.000 hasta 266.000 metros cúbicos. La instalación cuenta con dos tanques de almacenamiento de GNL, cada uno con una capacidad de 150.000 metros cúbicos. Además, dispone de dos cargaderos de cisternas en camiones, que tienen la capacidad de cargar un máximo de 9 GWh/d.

En términos de capacidad de emisión, la Planta Regasificadora de El Musel tiene una capacidad máxima de 800.000 metros cúbicos de gas natural estándar por hora (Nm³/h), lo que permite una rápida inyección de gas en la red de distribución. Actualmente, la planta emplea a 53 personas y cuenta con un punto de atraque para buques.

Lo que distingue a la Planta de El Musel de otras regasificadoras es su capacidad para permitir que los buques carguen GNL para su transporte a otros puertos, lo que la convierte en un nodo esencial en la red de distribución de GNL en Europa.

El Musel se espera que reciba y despache aproximadamente un centenar de buques al año, incluidos los buques del tipo Q-Max, los más grandes de su clase. Esta infraestructura se materializó mediante una inversión aproximada de 360 millones de euros.

Aunque la regasificadora se paralizó en 2012 debido a una orden judicial, la situación geopolítica, en particular la guerra en Ucrania ha elevado su estatus a "estratégico" para garantizar el suministro energético en Europa.

Esta terminal ofrece flexibilidad para ajustar la producción de gas según la demanda en tiempo real. Además, estas instalaciones también facilitan la carga de camiones cisterna y buques con GNL para su posterior reexportación o utilización como combustible marítimo.

MOMENTO HISTÓRICO EN EL MUSEL: LLEGA EL PRIMER BARCO A LA PLANTA

El 1 de julio de 2023, después de casi una década de inactividad, la planta regasificadora de El Musel, vivió un acontecimiento histórico con la llegada de su primer barco metanero, el barco "Cool Racer", procedente de Estados Unidos, con una capacidad de 174.000 metros cúbicos. Su llegada fue el punto de partida para las pruebas técnicas finales antes del inicio comercial de la planta. Esta compleja operación de descarga estaba prevista que durara entre 72 y 90 horas y fue fundamental para garantizar que todo funcionara correctamente cuando la planta entrase en funcionamiento.

La Guardia Civil estableció un dispositivo especial de protección para asegurar una llegada segura del barco, que fue escoltado y protegido desde el momento en que entró en las aguas cercanas a El Musel hasta su atraque final.



Primer barco de GNL en la planta de El Musel

<https://www.youtube.com/watch?v=hfC4LqZNXOU>

Durante el mes de julio, la terminal recibió su segundo buque, el "Dorado LNG", de la misma capacidad que el "Cool Racer", y que también formaba parte de la etapa de validación de las instalaciones antes de pasar a la etapa comercial, en la que recibió su primer buque, el "Gaslow Warsaw".

A continuación mostraremos algunos detalles de la Planta de El Musel:



La Planta de Regasificación de El Musel (1)

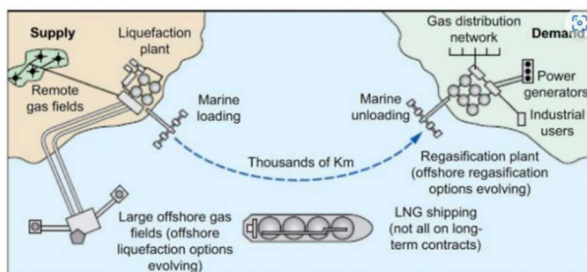


La fase de construcción de la Planta de Regasificación de El Musel (1)

Un esquema de operación de la Planta de Regasificación de El Musel (1)

EL PROCESO DE DESCARGA DE GAS NATURAL LICUADO

La descarga de GNL es un proceso crucial en la cadena de suministro de gas natural, y su ejecución precisa y eficiente es esencial. En este apartado, exploraremos en detalle el proceso de descarga desde los metaneros.



Pic. 4 Key elements of traditional LNG supply chain

Circuito del GN, desde su extracción hasta su consumo (4)

A continuación podemos ver dos diferentes diagramas de flujo del proceso, que en líneas generales podemos considerar similares:

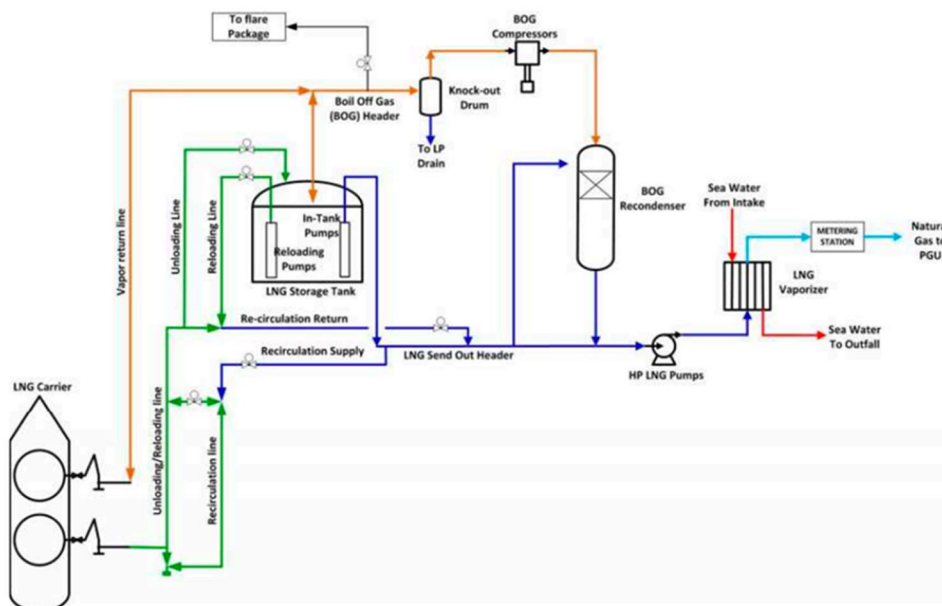
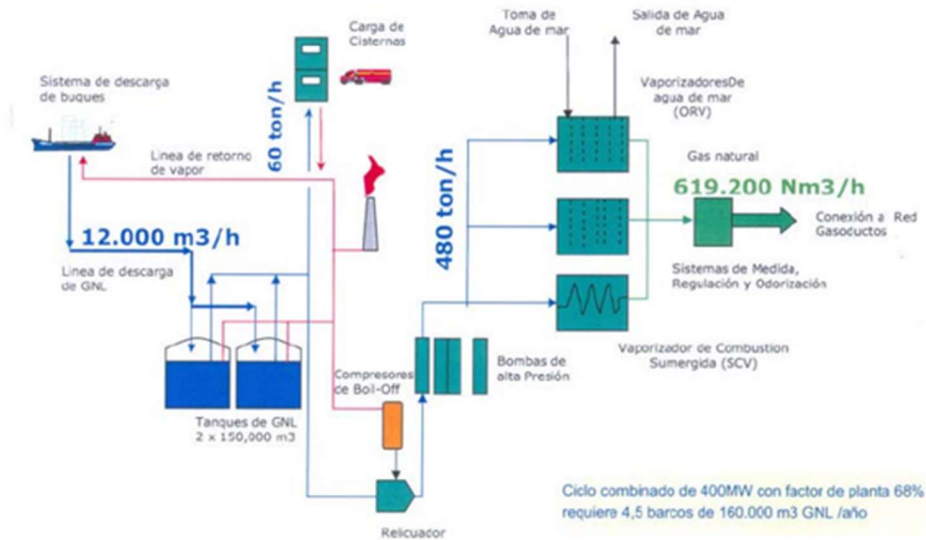


Diagrama de flujo de una planta de regasificación en Pengerang Johor (7)



Esquema de una terminal de regasificación típica (8)

1.- Sistema y proceso de descarga

1.1.- Sistemas de descarga en general

Los sistemas de descarga constan de:

- Amarres para asegurar los buques de GNL al muelle de descarga.
- Plataforma de descarga que soporta los brazos de descarga y el edificio de control.
- Sistemas de control y seguridad de emergencia.
- Brazos de descarga de líquidos para transferir GNL desde el barco.
- Brazo de retorno de vapor para devolver el vapor desde la costa al barco (para llenar el vacío creado en los tanques de carga del barco debido al bombeo de GNL).
- Tuberías, y válvulas necesarias para transferir el GNL, el vapor de retorno así como los servicios entre el muelle de descarga y las instalaciones de la terminal. (5)

1.2.- Proceso de descarga

1.2a.- El GNL llega en estado líquido a presión atmosférica. El proceso de descarga se inicia con el amarre del buque al pantalán. Acto seguido se llevan a cabo pruebas exhaustivas de conexión y de estanqueidad. (5)

1.2b.- En el caso de la llegada del primer buque a El Musel, el Cool Race, y antes de que comenzase la descarga propiamente dicha, se realizó un proceso de enfriamiento de los tanques, en el que se utilizó nitrógeno líquido. Este paso fue crucial para ahorrar energía y reducir emisiones en la antorcha. El nitrógeno se utilizó como un gas inerte en el interior de los tanques de almacenamiento de GNL que lo fue desplazando gradualmente a medida que el GNL fue entrando en los tanques.

1.2c.- La siguiente fase implica la conexión de los brazos de transferencia de GNL del buque a la infraestructura de la planta. Es esencial garantizar una conexión segura y hermética para evitar

cualquier fuga durante la transferencia. El proceso de descarga también implica el enfriamiento de los brazos de transferencia de GNL y de otros equipos necesarios para la operación.



Brazos de transferencia https://www.youtube.com/watch?v=ZgwedDkel_c

1.2.d.- Una vez completada la descarga, se procede a la desconexión segura de los brazos de transferencia de GNL.

2.- Sistema de almacenamiento en general

2.1.- Sistema

Los depósitos de almacenamiento cumplen la función de actuar como un amortiguador entre los propios depósitos de GNL y los vaporizadores de GNL. La capacidad mínima de almacenamiento de un tanque se determina por el volumen de GNL que puede ser descargado desde el buque más grande previsto para atracar en la terminal. El almacenamiento adicional se considera como una reserva de seguridad para afrontar posibles retrasos en la llegada de los buques. Un ejemplo ilustrativo de esto sería una terminal de GNL destinada a suministrar energía a una central eléctrica, en la que se requiere una fiabilidad extrema. (5)

Estos tanques pueden representar alrededor del 25% de la inversión total. Funcionan a muy baja presión, ligeramente por encima de la presión atmosférica.



Detalle de los tanques de El Musel y su construcción (1)



Detalle de los tanques de la Planta de Regasificación de El Musel (1)

2.2.- Proceso de almacenamiento

Conforme el GNL se introduce gradualmente en los tanques, se genera un enfriamiento progresivo que finalmente reduce su temperatura hasta aproximadamente -160°C (alguna bibliografía habla de -162°C), manteniendo así el GN en forma líquida. En este momento, el GNL es el único líquido presente en los tanques. Es importante recordar que en algunos casos puede haber una atmósfera de nitrógeno por encima de él.

3.- Sistemas de bombeo

a.- **GNL.** Puede haber dos sistemas de bombeo,

1.- El primer sistema de bombeo bombea gas hacia el recondensador. El bombeo de líquidos criogénicos, especialmente a las velocidades elevadas necesarias en las instalaciones de GNL, constituye una tecnología especializada. En las terminales más modernas, los compresores de la primera etapa suelen instalarse dentro de los tanques de almacenamiento. (5)

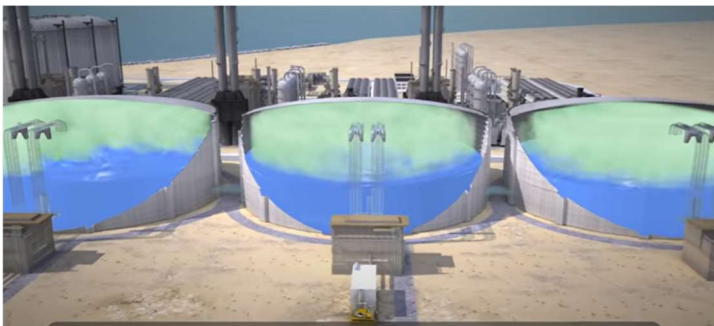
2.- El 2º es de alta presión entre el recondensador y el vaporizador.

b.- **GN.** La gestión del gas vaporizado espontáneamente también tiene su sistema de compresores.

c.- **Agua de mar.** Para llevar el caudal necesario hasta el vaporizador.

4.- Generación de gas de ebullición

Las fuentes de calor externas acaban calentando el GNL y vaporizándolo. Sin embargo, en los tanques de almacenamiento el GNL debe mantenerse a una temperatura suficientemente baja, de acuerdo con la baja presión de operación. Por lo tanto, el calor absorbido por el GNL acaba liberándose “hirviendo” una parte del líquido a gas. El manejo del gas de evaporación requiere equipos de compresión que son costosos de instalar y operar. Se intenta reducir al máximo la cantidad de gas de ebullición producido. (5)



Tanques con GNL en la parte inferior y GN de ebullición en la parte superior
https://www.youtube.com/watch?v=uztD_gAfNzA

Tres factores principales provocan la ebullición del GNL.

En primer lugar, el GNL descargado del barco puede estar ligeramente más caliente que la temperatura requerida en los tanques de almacenamiento.

En segundo lugar, la energía utilizada por las bombas del barco se acaba transfiriendo al GNL en forma de calor.

El tercer factor es el calor ambiental transferido al GNL a través del aislamiento criogénico en tuberías, equipos y tanques de almacenamiento.

El gas de evaporación es esencialmente GNL gasificado a presión atmosférica. Tiene un importante valor como combustible y, excepto en casos de emergencia, no debe lanzarse a la atmosfera ni quemarse en la antorcha. Una posibilidad es su recondensación antes de enviar a los vaporizadores, otra es su uso para rellenar los tanques del metanero a medida que se va vaciando de GNL. Finalmente también es posible su utilización como combustible.

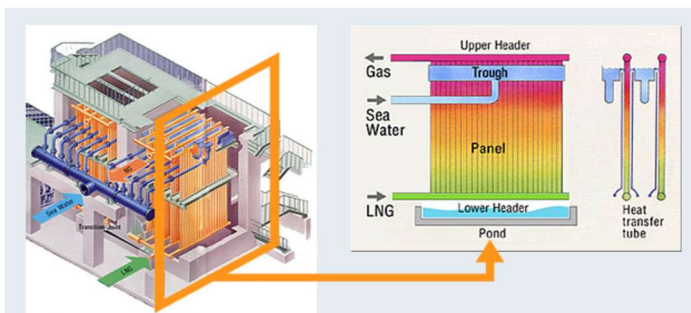
La cantidad de gas de ebullición que se genera durante la descarga es mucho mayor que la cantidad de gas generado durante el periodo de operación de la planta. (5)

5.- Vaporización de GNL

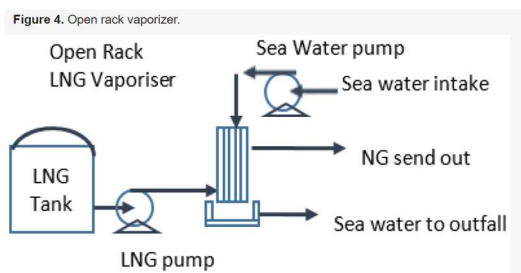
5.1.- Sistemas

En el sistema de vaporización el GNL se regasifica a GN, mediante la transferencia de calor al GNL. Los principales tipos de equipos de vaporización son dos: vaporizadores de agua de mar de rejilla abierta (ORV) y los vaporizadores de combustión sumergida (SCV).

En el caso del **sistema ORV**, se hace uso de la diferencia de temperatura entre el agua de mar y el GNL. Un gran volumen de agua de mar entra en contacto de manera indirecta con el GNL presurizado, el cual circula a través de tuberías especialmente diseñadas. En este proceso, se lleva a cabo la transferencia de calor desde el agua al GNL. Aunque el calor proporcionado por el agua de mar es gratuito, se requiere una inversión sustancial para llevar a cabo la operación de bombeo y canalización del gran volumen de agua de mar. (5)



Esquema de un regasificador ORV (9)



Circuito regasificador ORV (10)

En el sistema SCV se genera calor mediante la quema de Gas Natural (GN). En este sistema los gases calientes resultantes de la combustión del gas natural se hacen burbujear a través de un baño de agua. Dentro de este baño de agua, se sumergen los tubos o serpentines que transportan el GNL, permitiendo que el agua actúe como un medio intermedio entre los gases calientes y el GNL frío. El equipo SCV es más compacto y menos costoso en comparación con el sistema tipo ORV. Sin embargo, es importante tener en cuenta que aproximadamente el 1,5%

del gas natural se utiliza como combustible en el proceso SCV. En la mayoría de los casos, las consideraciones económicas favorecerán la elección del sistema tipo ORV.

No es raro que las terminales de GNL tengan ambos tipos de vaporizadores, y el SCV proporcione una capacidad de reserva. A menudo, la elección del tipo de vaporizador será dictada por cuestiones regulatorias y medioambientales, más que consideraciones técnicas o económicas. (5)

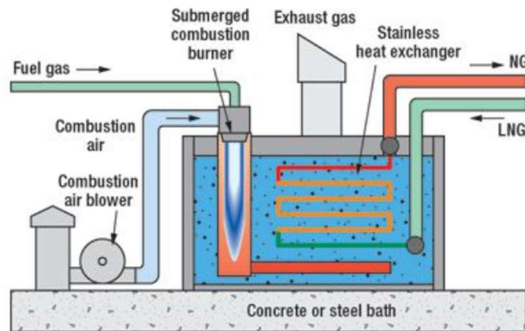


Fig. 7 – Submerged combustion vaporizers configuration [13].

Esquema de un vaporizador SCV (9)

5.2.- Proceso de vaporización en El Musel

El pase a la fase gas se realiza mediante dos vaporizadores ORV que utilizan agua de mar para aumentar la temperatura del GNL. Hay un tercer regasificador SCV de reserva de combustión sumergida.

6.- Medición y odorización

El GN es inodoro y a concentraciones entre 4% y 15% puede iniciar la combustión. Por esta razón al final del proceso se le añaden sustancias odorizantes. A continuación tendremos la estación de medida.

En esta fase una vez realizados los trámites legales, la planta de El Musel ya estaría en condiciones para cargar camiones cisterna de GLP en estado líquido, y de inyectar GN a la red de gasoductos para su distribución.

7.- Suministros

Los principales suministros son la energía, el nitrógeno y el aire. Si se utilizan vaporizadores SCV, la demanda de gas combustible será significativa. Otros suministros podrían incluir agua, agua potable y el gas oil para generación de energía de emergencia. Es una práctica común instalar un generador eléctrico de turbina de gas para satisfacer todas las necesidades de la planta.

El nitrógeno se utiliza para purgar e inertizar los brazos de descarga y los brazos de retorno de vapor, tanto antes como después de la descarga del barco. La purga y la inertización también son medidas de seguridad necesarias durante el mantenimiento de equipos llenos de gas. (5)

8.- Instalaciones externas y de apoyo

Esta categoría incluye los sistemas de antorcha, y el sistema de eliminación de aguas pluviales y residuales. Los sistemas de apoyo contra incendios incluyen agua, espuma y detectores de gas y de incendios. Otros sistemas serán el de gestión de residuos y el de seguridad.

Los sistemas de antorcha tienen la función de recoger y quemar de manera segura las emisiones gaseosas de la planta. Su diseño efectivo garantizará que la quema de gas valioso se evite, a menos que se produzcan condiciones inesperadas. Las fuentes principales de gas que se quema incluyen las emisiones de las válvulas de alivio, la ventilación controlada de los tanques y los equipos de la planta, así como las purgas/despresurizaciones realizadas durante el mantenimiento y las descargas que puedan ocurrir en situaciones de emergencia.

LA TERMINAL DE GNL DE EL MUSEL: EL PROCESO LEGAL

En este apartado se sintetiza el proceso de aprobación y puesta en marcha de esta importante instalación, que desempeñará un papel fundamental en el “Plan Más Seguridad Energética” del Gobierno.

El resumen del largo proceso legal de puesta en marcha ha incluido:

- La suspensión de los trámites en 2012, justo después de la construcción de la planta. Según el diario El Confidencial, esto fue debido a vulnerar la normativa entonces vigente. Según se explica, el partido Los Verdes alegó ante los tribunales que la planta se ubicaba a menos de dos kilómetros de las viviendas de la zona.
- La resolución en junio de 2022, por la Director General de Política Energética y Minas.
- El Plan Más Seguridad Energética, redactado en octubre de 2022.
- La aprobación del régimen económico singular para uso logístico por parte de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC). La Resolución establece la prestación (1) de los servicios logísticos de descarga, almacenamiento y carga de GNL en **buques** (2) y para los cargaderos de **cisternas**.
- La resolución y autorización del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- El proceso de asignación de servicios logísticos en la terminal.
- La obtención del Acta de Puesta en Marcha para Pruebas por parte del Área de Industria y Energía de la Delegación del Gobierno en el Principado de Asturias.
- A principios de julio, superó las pruebas realizadas con la operación de los dos primeros metaneros. El 28 de julio, se firmó el Acta de Puesta en Servicio de la Planta, marcando el inicio de sus operaciones comerciales.

La puesta en marcha de esta terminal ha representado un hito importante dentro del Plan Más Seguridad Energética del Gobierno, diseñado para fortalecer la seguridad en el suministro energético europeo. El objeto principal de la planta no deberá ser prioritariamente el acceso al sistema gasista español para suministro de la demanda nacional.

OPEN SEASON Y LA LOGÍSTICA EN LA TERMINAL DE GNL DE EL MUSEL

El 3 de marzo de 2023, Enagás inició la fase previa comercial, también llamada de “asignación de capacidad” u “Open Season”.

Este proceso constó de varias fases clave. Comenzó con una primera fase no vinculante, en la que las comercializadoras de GLP expresaron su interés en los servicios ofrecidos por la infraestructura, que incluyen la descarga, almacenamiento y carga de GNL en régimen de acceso no regulado. Esta etapa permitió evaluar la demanda y el interés del mercado. 16

empresas comercializadoras expresaron su interés durante la fase no vinculante celebrada entre marzo y abril de 2023.

El 9 de junio, se anunció que la fase vinculante del proceso de asignación de capacidad había comenzado. Esta fase se llevó a cabo con el objetivo de adjudicar los servicios logísticos de la terminal de El Musel a largo plazo. El proceso finalizó en julio, con la asignación a Endesa.

EL FUTURO: LA APLICACIÓN DE LA CRIOGENIA DE LA REGASIFICACIÓN A PLANTAS NAVALES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Las pérdidas por la no utilización de la criogenia de la vaporización del GNL son un despilfarro que no se puede defender de ninguna manera. Disponemos a modo de ejemplo, de las cifras de 2 plantas de regasificación y la disponibilidad de energía es la friolera de 47.214 kWh cada hora en una planta y 88.383 kWh cada hora en la otra.

Table 3. Energy availability at RGTPJ and RGTSU.

	Seawater Inlet	Seawater Outlet	Energy Availability (kW per hour)	C
RGTPJ	$m_{fsw} = 5800 \text{ m}^3/\text{h}$ $T_{swin} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$	$m_{fsw} = 5800 \text{ m}^3/\text{h}$ $T_{swo} = 23 \text{ }^\circ\text{C}$	47,214	
RGTSU	$m_{fsw} = 7600 \text{ m}^3/\text{h}$ $T_{swin} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$	$m_{fsw} = 7600 \text{ m}^3/\text{h}$ $T_{swo} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$	88,383	

Disponibilidad de “energía fría” en dos plantas de regasificación (7)

Diversos estudios están planteando el aprovechamiento de esta criogenia en la refrigeración de:

- centros de datos
- almacenes de alimentos
- entrada de aire en las turbinas de gas en una planta de cogeneración
- y **en plantas navales de generación eléctrica** etc....

Esto último será desarrollado en el próximo capítulo y nos basaremos en el artículo

“La superconductividad podría madurar tecnológicamente en las plantas navales de generación eléctrica”,

publicado en mayo de 2023 en la revista Ingeniería Naval, y cuyos autores son Antonio González Parada Dr. I.I., Ricard Bosch Dr. I.I., Antonio Herrero Dr. I.N., y Joan Medes (Seat) (11)

REFERENCES

1. **DFSA.** LNG Storage tanks. El Musel Regasification Plant. [En línea] <https://www.youtube.com/watch?v=5hWF90xt3Lo>.
2. **IGU.** LNG Receiving Terminals. *International Gas Union*. [En línea] <https://www.igu.org/>.

3. **Kuramoto, André Seichi Ribeiro.** *Automation of port facilities for import of GNL.* 2009. isbn 978-960-474-097-0.
4. **Sea man.org.** Fundamentals of Liquefied Natural Gas. *Sea man.org.* [En línea] <https://seaman.org/lng-fundamentals.html#lng-characteristics>.
5. **Tarakad, Ram. R.** *LNG Receiving and Regasification Terminals.*
6. **Portal Portuario.** Puerto de Gijón: Planta de El Musel recibe su primer buque de GNL. *Portal Portuario.* 2003.
7. **Majid, M. A. A.** Techno Economic Evaluation of Cold Energy. *Energies.* 2019.
8. **Consorcio ITANSUCA - FREYRE & ASOCIADOS.** FASE I-B DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS Y METODOLOGÍAS. [En línea] mayo de 2010. https://cnogas.org.co/documentos/CIRCULAR042_2010_Fase_IB.pdf.
9. **Agarwal, Randeep.** LNG REGASIFICATION TECHNOLOGY EVALUATION AND COLD ENERGY UTILISATION. . s.l. : Queensland University of Technology, Australia.
10. —. LNG REGASIFICATION TERMINALS: THE ROLE OF GEOGRAPHY AND METEOROLOGY ON TECHNOLOGY CHOICES. *Energies.* [En línea] 2017. <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/12/2152/htm>.
11. **A. Gonzalez Parada, R. Bosch, A. Herrero, J. Medes.** La Superconductividad podría madurar Tecnológicamente en las Plantas Navales de Generación Eléctrica. *Ingeniería Naval.* 2023.
12. *Review of energy storage and transportation of energy.* **Khan, Dr. Nasrullah.** 2019.
13. **Sermsuk, Maytungkorn.** Utilising Cold Energy from Liquefied Natural Gas (LNG) to Reduce the Electricity Cost of Data Centres. *Energies.* 2021.
14. **Cope.** EL MUSEL YA ACOGE EL PRIMER BARCO DE GAS NATURAL LICUADO. *COPE.* [En línea] 27 de setiembre de 2023. https://www.cope.es/emisoras/asturias/noticias/musel-acoge-primer-barco-gas-natural-licuado-20230701_2792466.
15. **El Periodico de la Energia.** La regasificación de El Musel, a la espera del primer buque metanero para su puesta en marcha. *El Periodico de la Energia.* [En línea] 30 de junio de 2023. <https://elperiodicodelaenergia.com/regasificadora-el-musel-espera-primer-buque-metanero-puesta-marcha/>.
16. **Enagas.** La planta de GNL de El Musel recibe la autorización administrativa para su puesta en marcha . *Enagas.* [En línea] 9 de junio de 2023. https://www.enagas.es/es/sala-comunicacion/actualidad/notas-prensa/2023_06_09_np_autorizacion_administrativa_el_musel/ inicio.
17. **Europapress.** La planta regasificadora de El Musel recibe el primer barco de gas natural licuado. *Europapress.* [Online] julio 1, 2023. <https://www.europapress.es/asturias/noticia-planta-regasificadora-musel-recibe-primer-barco-gas-natural-licuado-20230701133411.html>.
18. **Puertos y Mas:.** Puertos y Mas: la terminal de Enagás en El Musel recibe el primer metanero en pruebas . *Puertos y Mas.* [En línea] 1 de julio de 2023. <https://puertosymas.com/la-terminal-de-el-musel-recibe-el-primer-metanero-para-la-descarga-de-gas-natural/>.

19. **Puertos y Más.** La terminal de gas natural de Enagás en El Musel ultima su puesta en marcha . *Puertos y Más*. [En línea] 3 de marzo de 2023. <https://puertosymas.com/enagas-ultima-la-puesta-en-marcha-de-la-terminal-de-gas-natural-de-el-musel/>.
20. **La Voz de Asturias.** Enagás da un nuevo paso para la apertura de la regasificadora de El Musel. *La Voz de Asturias*. [En línea] 5 de junio de 2023. <https://www.lavozdeasturias.es/noticia/inasturias/2023/06/05/enagas-da-nuevo-paso-apertura-regasificadora-musel/00031685976782452723848.htm>.
21. **Endesa.** La planta de GNL de El Musel recibe el primer barco comercial. *Endesa*. [En línea] 23 de agosto de 2023. <https://www.endesa.com/es/prensa/sala-de-prensa/noticias/clientes/planta-gnl-musel-recibe-primer-barco-comercial>.
22. **La Vanguardia.** Gijón. La planta regasificadora de Enagás de El Musel recibe el primer barco. *La Vanguardia*. [En línea] 11 de agosto de 2023. <https://www.lavanguardia.com/local/asturias/20230811/9163625/gijon-planta-regasificadora-enagas-musel-recibe-primer-barco-comercial.html>.
23. **El Periodico de la Energía.** La regasificadora de El Musel entra en servicio tras superar la fase de pruebas llevadas a cabo desde el 1 de julio. *El Periodico de la Energía*. [En línea] 28 de julio de 2023. <https://elperiodicodelaenergia.com/regasificadora-el-musel-entra-servicio-tras-superar-fase-pruebas/>.
24. **Enagas.** Enagas: la planta de GNL de El Musel recibe el primer barco comercial. [En línea] 11 de agosto de 2023. https://www.enagas.es/es/sala-comunicacion/actualidad/notas-prensa/2023_08_11_np-primer-barco-comercial-planta-el-musel/.
25. —. La planta de El Musel recibe el primer barco de GNL. *Enagas*. [En línea] 1 de Julio de 2023. <https://www.enagas.es/es/sala-comunicacion/actualidad/notas-prensa/2023-07-01-np-primer-barco-musel/>.
26. **Solutions, Tokio Gas Engineering.** Open Rack Tyoe LNG Vaporizer (ORV). *Net de check*. [Online] <http://www.netdecheck.com/en/Ingtech/orv/index.html>.
27. **IEA.** *Energy Information Administration*. [En línea] <https://www.iea.org/>.
28. **EIS.** *U.S. Energy Information Administration*. [En línea] <https://www.eia.gov/>.
29. **El Periodico de la Energía.** La regasificadora de El Musel en Gijón se estrena esta semana con un buque procedente de EEUU. *El Periodico de la Energía*. [En línea] <https://elperiodicodelaenergia.com/la-regasificadora-de-el-musel-en-gijon-se-estrena-esta-semana-con-un-buque-procedente-de-eeuu/>.