

Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para el procesamiento de gas natural

Las guías sobre medio ambiente, salud y seguridad (MASS) son documentos de referencia técnica que contienen ejemplos generales y específicos de la práctica internacional recomendada para la industria en cuestión¹. Cuando uno o más miembros del Grupo del Banco Mundial participan en un proyecto, estas guías sobre MASS se aplican con arreglo a los requisitos de sus respectivas políticas y normas. Las presentes guías sobre MASS para este sector de la industria deben usarse junto con el documento que contiene las **guías generales sobre MASS**, en el que se ofrece orientación a los usuarios respecto de cuestiones generales sobre la materia que pueden aplicarse potencialmente a todos los sectores industriales. En el caso de proyectos complejos, es probable que deban usarse las guías aplicables a varios sectores industriales, cuya lista completa se publica en el siguiente sitio web:

<http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>.

Las guías sobre MASS contienen los niveles y los indicadores de desempeño que generalmente pueden lograrse en instalaciones nuevas, con la tecnología existente y a costos razonables. En lo que respecta a la posibilidad de aplicar estas guías a instalaciones ya existentes, podría ser necesario

establecer metas específicas del lugar así como un calendario adecuado para alcanzarlas.

La aplicación de las guías debe adaptarse a los peligros y riesgos establecidos para cada proyecto sobre la base de los resultados de una evaluación ambiental en la que se tengan en cuenta las variables específicas del emplazamiento, tales como las circunstancias del país receptor, la capacidad de asimilación del medio ambiente y otros factores relativos al proyecto. La decisión de aplicar recomendaciones técnicas específicas debe basarse en la opinión profesional de personas idóneas y con experiencia.

En los casos en que el país receptor tenga reglamentaciones diferentes a los niveles e indicadores presentados en las guías, los proyectos deben alcanzar los que sean más rigurosos. Si corresponde utilizar niveles o indicadores menos rigurosos en vista de las circunstancias específicas del proyecto, debe incluirse como parte de la evaluación ambiental del emplazamiento en cuestión una justificación completa y detallada de cualquier alternativa propuesta, en la que se ha de demostrar que el nivel de desempeño alternativo protege la salud humana y el medio ambiente.

Aplicabilidad

Las Guías sobre MASS para el procesamiento de gas natural cubren la producción en plantas de conversión de gas a líquidos (GTL, por sus siglas en inglés), incluida la producción de metanol, así como la producción intermedia ordinaria de gas sintético (conocido como "syngas"), una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno. El Anexo A contiene una descripción de

¹ Definida como el ejercicio de la aptitud profesional, la diligencia, la prudencia y la previsión que podrían esperarse razonablemente de profesionales idóneos y con experiencia que realizan el mismo tipo de actividades en circunstancias iguales o semejantes en el ámbito mundial. Las circunstancias que los profesionales idóneos y con experiencia pueden encontrar al evaluar el amplio espectro de técnicas de prevención y control de la contaminación a disposición de un proyecto pueden incluir, sin que la mención sea limitativa, diversos grados de degradación ambiental y de capacidad de asimilación del medio ambiente, así como diversos niveles de factibilidad financiera y técnica.

las actividades del sector. Las Guías sobre MASS para las Terminales de productos de crudo y petróleo proporcionan información sobre los tanques de almacenamiento.

Este documento está dividido en las siguientes secciones:

- Sección 1.0: Manejo e impactos específicos de la industria
- Sección 2.0: Indicadores y seguimiento del desempeño
- Sección 3.0: Referencias y fuentes adicionales
- Anexo A: Descripción general de las actividades de la industria

1.0 Manejo e impactos específicos de la industria

La siguiente sección contiene una síntesis de las cuestiones relativas al medio ambiente, la salud y la seguridad asociadas al procesamiento de gas natural durante la fase operacional, así como recomendaciones para su manejo. Las **guías generales sobre MASS** ofrecen recomendaciones adicionales para el manejo de las cuestiones de este tipo que son comunes a la mayoría de las grandes plantas industriales durante la etapa de construcción y desmantelamiento.

1.1 Medio ambiente

Entre las posibles cuestiones ambientales relativas al procesamiento de gas natural se incluyen principalmente las siguientes:

- Emisiones a la atmósfera
- Aguas residuales
- Materiales peligrosos
- Residuos
- Ruido

Emisiones a la atmósfera

Emisiones fugitivas

Las emisiones fugitivas en las instalaciones de procesamiento de gas natural están asociadas con fugas en tuberías; válvulas; conexiones; bridas; juntas; conducciones abiertas; pérdidas durante el almacenamiento y funcionamiento en los tanques de almacenamiento de techo fijo y flotante y en las bombas de sellado; sistemas de transporte de gas, cierres de los compresores, válvulas de seguridad, fosos / recintos abiertos; y carga y descarga de hidrocarburos.

Las fuentes y contaminantes más preocupantes son las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) de los tanques de almacenamiento durante su llenado y debido a la respiración de los tanques de carga; los cierres de los techos flotantes, en caso de utilizarse tanques de almacenamiento de techo flotante; las unidades de tratamiento de aguas residuales; las unidades de síntesis Fischer-Tropsch (F-T); las unidades de síntesis de metanol; y las unidades de mejoramiento del producto. Otras fuentes de emisiones fugitivas incluyen el gas de nitrógeno contaminado con vapor de metanol procedente de las instalaciones de almacenamiento de metanol; metano (CH₄), monóxido de carbono (CO) e hidrógeno de unidades de producción de gas sintético; y unidades de síntesis Fischer-Tropsch (F-T) o de síntesis de metanol.

Las recomendaciones para prevenir y controlar las emisiones fugitivas incluyen las siguientes:

- Reducir las emisiones fugitivas en tuberías, válvulas, juntas, tanques y otros componentes de la infraestructura, supervisando periódicamente los mismos con sistemas de detección de vapor y manteniendo o sustituyendo los componentes necesarios en orden de prioridad;
- Mantener una presión estable en los tanques y en el espacio de vapor:
 - Coordinando los calendarios de llenado y retirada e implementando la compensación de vapor entre los tanques (un proceso mediante el cual el vapor desplazado durante las actividades de llenado se transfiere al espacio de vapor del tanque vaciado o de otro contenedor antes de proceder a su recuperación);
 - Emplear pintura blanca o de otros colores con una baja absorción de calor para revestir el exterior de los tanques de almacenamiento de los destilados más ligeros (como la gasolina, el etanol o el metano) para reducir la absorción de calor. Debe estudiarse la

posibilidad de que se produzcan impactos visuales a causa del reflejo de la luz en los tanques;

- Seleccionar, en función de la capacidad de almacenamiento del tanque y de la presión de vapor de los materiales almacenados, un tipo específico de tanque que minimice las pérdidas durante el almacenamiento y funcionamiento, cumpliendo con las normas de diseño aceptadas internacionalmente²;
- Utilizar sistemas de insuflado y recuperación, mangueras de recuperación de vapor y camiones / automotores / depósitos estancos a los vapores durante la carga y descarga de los vehículos de transporte;
- Utilizar sistemas de llenado de camiones / vehículos ferroviarios de carga inferior para minimizar las emisiones de vapor; y
- Cuando las emisiones de vapor puedan contribuir o provocar niveles de calidad del aire ambiente que excedan la normativa sanitaria, estudiar la posibilidad de instalar controles secundarios de emisiones, tales como unidades de condensación y recuperación de vapor, catalizadores de oxidación, unidades de combustión de vapor o medios de absorción de gas.

² Algunos ejemplos son: la Norma 620 del API (Design and Construction of Large, Welded, Low-pressure Storage Tanks, 2002), la Norma 650 del API (Welded Steel Tanks for Oil Storage, 1998) y la Norma Europea (NE) 12285-2:2005 de la Unión Europea (UE) (Tanques de acero fabricados en taller para el almacenamiento por encima del suelo de líquidos inflamables y no inflamables contaminantes del agua, 2005). Por ejemplo, de acuerdo con la Norma 650 del API (Welded Steel Tanks for Oil Storage, 1998), los tanques nuevos, modificados o reestructurados con una capacidad mayor o equivalente a 40.000 galones y que almacenen líquidos con una presión de vapor superior o equivalente a 0,75 psi e inferior a 11,1 psi, o con una capacidad mayor o igual a 20.000 galones y que almacenen líquidos con una presión de vapor superior o igual a 4 psi e inferior a 11,1 psi deben equiparse con: un techo fijo y un techo flotante interno con una junta básica de zapata mecánica que impida la fuga de líquidos; o bien con un techo flotante externo con una junta básica de zapata mecánica que impida la fuga de líquidos y una junta secundaria continua instalada sobre el anillo del techo. Ambas juntas deben cumplir con ciertos requisitos mínimos de recorte y juntas de estanqueidad en los accesorios del techo; o con un sistema cerrado de ventilación y un control eficaz de dispositivos del 95%. Ver también la Norma 2610 del American Petroleum Institute (API): Design, Construction, Operation, and Maintenance of Terminal and Tank Facilities (2005).

Gases de efecto invernadero (GEI)

La producción de gas sintético puede generar un volumen significativo de dióxido de carbono (CO₂), especialmente durante el lavado de CO₂, además de todos los procesos relacionados con la combustión (p. ej., la producción de electricidad y la incineración de subproductos). Las recomendaciones para la conservación de energía y el manejo de las emisiones de gases de efecto invernadero se describen en las **guías generales sobre MASS**. En las instalaciones integradas, los operadores deben adoptar un enfoque global de toda la planta a la hora de seleccionar las tecnologías de proceso y de servicio.

Gases de escape

Una de las principales fuentes de emisiones a la atmósfera en las plantas de procesamiento de gas natural son las emisiones de gases de escape generadas durante la combustión de gas u otros hidrocarburos combustibles en turbinas, calderas, compresores, bombas y otros motores de generación de electricidad y calor. La incineración de subproductos oxigenados en las plantas de producción de gas a líquidos también genera emisiones de CO₂ y de óxidos de nitrógeno (NO_x).

Las **guías generales sobre MASS** contienen orientaciones para el manejo de pequeños procesos de combustión diseñados para suministrar potencia eléctrica o mecánica, vapor, calor, cualquier combinación de las anteriores, independientemente del tipo de combustible empleado, con una capacidad calorífica total de 50 megavatios térmicos (MWth). Las **guías sobre MASS para la electricidad térmica** contienen orientaciones aplicables a procesos con una capacidad superior a los 50 MWth.

Las emisiones vinculadas al funcionamiento de fuentes eléctricas deben minimizarse mediante la adopción de una estrategia combinada que contemple la reducción de la

demanda de energía, el uso de combustibles más limpios y la aplicación de los controles de emisiones necesarios. Las **guías generales sobre MASS** contienen recomendaciones sobre eficiencia energética.

Venteeo y combustión en antorcha

El venteeo y la combustión en antorcha son medidas operativas y de seguridad importantes en las instalaciones de procesamiento de gas natural destinadas a garantizar la segura eliminación del gas en caso de emergencia, un fallo eléctrico o del sistema o cualquier otra condición anómala en la planta. Las materias primas en estado puro y los gases combustibles derivados también se eliminan mediante el venteeo y la combustión. El exceso de gas no debe ventearse, sino enviarse a un sistema eficaz de combustión de gas para su eliminación.

Las recomendaciones para minimizar el venteeo y la combustión en antorcha incluyen:

- Optimizar los controles de planta para aumentar los índices de conversión de la reacción;
- Reciclar materias primas en estado puro y gases combustibles derivados para la generación de electricidad o la recuperación de calor, siempre que sea posible;
- Proporcionar sistemas complementarios para maximizar todo lo posible la fiabilidad de la planta; y
- Ubicar los sistemas de combustión en antorcha a una distancia segura de las zonas residenciales o de otros posibles receptores, y mantener los mismos para lograr una eficacia elevada.

En caso de que la combustión en antorcha de la corriente de gas no sea apropiada, puede recurrirse al venteeo de emergencia en ciertas condiciones. En las plantas de procesamiento de gas a líquidos, por ejemplo, puede haber corrientes con un alto contenido en dióxido de carbono que, de ser canalizadas hacia un sistema de quema, provocarían la

extinción de la llama; en este caso, el venteeo de estas corrientes en una atmósfera segura es una opción aceptable. Para analizar tales situaciones se utilizarán procedimientos ordinarios de evaluación de los riesgos. Se documentará exhaustivamente la justificación para no emplear un sistema de combustión de gas antes de instalar una planta para el venteeo de gas de emergencia.

Aguas residuales

Aguas residuales de procesos industriales

Las aguas residuales de procesos y otras corrientes de aguas residuales que puedan contener hidrocarburos disueltos, compuestos oxigenados u otros contaminantes, deberán ser tratadas en una unidad interna de tratamiento de aguas residuales. Las prácticas recomendadas de manejo de las aguas residuales de procesos incluyen:

- Prevenir y controlar los vertidos accidentales de líquidos mediante la inspección y mantenimiento de los sistemas de almacenamiento y transporte, incluyendo las cajas de relleno donde se guardan las bombas y válvulas y otros focos potenciales de fugas, así como la implementación de planes de respuesta ante vertidos
- Proporcionar una capacidad suficiente para diluir los fluidos de proceso para maximizar la recuperación en el proceso y evitar la descarga masiva de líquidos de proceso en el sistema de drenaje de las aguas oleosas
- Diseñar y construir cuencas de contención para el almacenamiento de aguas residuales y sustancias peligrosas con superficies impermeables para evitar la infiltración de aguas contaminadas en el suelo y en las aguas subterráneas

Las disposiciones específicamente diseñadas para manejar las corrientes individuales de aguas residuales incluyen, entre otras:

- La recogida de los vertidos de aminas procedentes del sistema de eliminación alcalina del dióxido de carbono aguas abajo de la Unidad de Gasificación en un sistema de drenaje específico y cerrado y, una vez completada la filtración, reciclarlos en el proceso siempre que las aminas no se hayan contaminado durante su vertido o recogida;
- Los efluentes de la columna de agotamiento de la Unidad de Síntesis F-T, que contiene hidrocarburos disueltos y compuestos oxigenados (incluidos alcoholes, ácidos orgánicos y pequeñas cantidades de cetonas), deben recircularse en la Unidad de Síntesis F-T para recuperar los hidrocarburos y los compuestos oxigenados;
- Los efluentes ácidos y cáusticos resultantes de la preparación del agua desmineralizada, cuya generación depende de la calidad del suministro de agua bruta en el proceso, deben neutralizarse antes de su vertido en el sistema de tratamiento de aguas residuales de la instalación;
- El agua de purga procedente de los sistemas de generación de vapor y de las torres de refrigeración debe enfriarse antes proceder a su descarga. El agua de refrigeración que contiene biocidas y otros aditivos también podría requerir un ajuste de la fluencia o el tratamiento en la planta de tratamiento de aguas residuales de las instalaciones antes de su descarga; y
- La planta de tratamiento de aguas residuales de las instalaciones debe tratar el agua contaminada por hidrocarburos procedente de las actividades de limpieza programadas durante la puesta en orden de las instalaciones (las labores de limpieza se llevan normalmente a cabo una vez al año y pueden durar varias semanas), los efluentes oleosos originados en las fugas del proceso y los efluentes con metales pesados procedentes de lechos fijos y fluidizados.

Tratamiento de aguas residuales de procesos

Las técnicas empleadas para tratar las aguas residuales de proceso en este sector incluyen la clasificación por origen y el pretratamiento de corrientes de aguas residuales concentradas. Las fases del tratamiento de aguas residuales suelen incluir: filtros de grasas, espumadores, flotación por presurización-despresurización o separadores de agua / aceite para separar los aceites de los sólidos flotantes; filtración por separación de sólidos filtrables; equalización de flujo y carga; sedimentación para la reducción de sólidos en suspensión utilizando clarificadores; tratamiento biológico, normalmente aerobio, para reducir las sustancias orgánicas solubles (DOB); eliminación de nutrientes químicos o biológicos para la reducción de nitrógeno y fósforo; cloración de los efluentes siempre que se requiera la desinfección; y drenaje y eliminación de residuos en vertederos designados para residuos peligrosos. Es posible que se precisen controles de ingeniería adicionales para i) el confinamiento y el tratamiento de compuestos orgánicos volátiles extraídos en las operaciones de diversas unidades en el sistema de tratamiento de agua residuales, ii) la eliminación avanzada de metales empleando filtros de membrana y otras técnicas de tratamiento físico/químico, iii) la eliminación de compuestos orgánicos recalcitrantes, cianuro y DQO no biodegradable empleando carbón activado u oxidación química avanzada, iv) la reducción de la toxicidad en los efluentes empleando la tecnología adecuada (por ejemplo, ósmosis inversa, intercambio iónico, carbón activado, etc.), y v) el confinamiento y la neutralización de olores molestos.

Las **guías generales sobre MASS** explican el manejo de aguas residuales industriales y ofrecen ejemplos de enfoques para su tratamiento. El empleo de estas tecnologías y técnicas recomendadas para el manejo de aguas residuales debería permitir que las instalaciones cumplieren los valores para la descarga de aguas residuales que se indican en el cuadro correspondiente de la Sección 2 del presente documento

sectorial. Las recomendaciones para reducir el consumo de agua, especialmente en aquellos sitios en que pueda ser un recurso natural escaso, se analizan en las **guías generales sobre MASS**.

Otras corrientes de aguas residuales y consumo de agua

En las **guías generales sobre MASS** se dan orientaciones sobre el manejo de aguas residuales no contaminadas procedentes de operaciones de servicios públicos, aguas pluviales no contaminadas y aguas de alcantarillado. Las corrientes contaminadas deberían desviarse hacia el sistema de tratamiento de aguas residuales de procesos industriales. A continuación se detallan guías específicas adicionales.

Aguas pluviales: Las aguas pluviales pueden contaminarse como resultado de los vertidos de líquidos de proceso. Las instalaciones de procesamiento de gas natural deben proporcionar sistemas de contención secundaria en las áreas donde se manipulen líquidos, segregar las aguas pluviales contaminadas de las no contaminadas, implementar planes de control de vertidos y canalizar las aguas pluviales desde las áreas de proceso hasta la unidad de tratamiento de aguas residuales.

Agua de refrigeración: El agua de refrigeración puede aumentar los índices de consumo del agua, así como el vertido de aguas a elevadas temperaturas, biocidas residuales y residuos procedentes de otros agentes antiincrustantes empleados en el sistema de refrigeración. Las estrategias recomendadas para el manejo del agua de refrigeración incluyen:

- La adopción de las medidas de conservación del agua para sistemas de refrigeración en plantas descritas en las **guías generales sobre MASS**;
- Utilizar métodos de recuperación del calor (así como mejoras en la eficacia energética) y otros métodos de

refrigeración diseñados para reducir la temperatura del agua caliente antes de su descarga, garantizando así que la temperatura del agua de descarga no resulte en un incremento de la temperatura ambiente superior a los 3°C en el límite de una zona determinada científicamente en base a la calidad del agua ambiente, uso de las aguas receptoras, capacidad de asimilación, etc.;

- Minimizar el uso de sustancias químicas antiincrustantes y anticorrosivas garantizando una correcta profundidad de la toma de agua y el uso de filtros; seleccionar las opciones menos peligrosas en términos de toxicidad, biodegradabilidad, biodisponibilidad y posible bioacumulación; y dosificar según los requisitos normativos locales y las recomendaciones del fabricante; y
- Analizar los biocidas residuales y otros contaminantes preocupantes para comprobar la necesidad de efectuar ajustes en la dosificación o tratar el agua de refrigeración antes de proceder a su descarga.

Agua de pruebas hidrostáticas: Las pruebas hidrostáticas a las que se someten equipos y tuberías miden la presión con agua (por lo general, agua bruta filtrada) para verificar su integridad y detectar posibles fugas. Pueden añadirse aditivos químicos (normalmente, anticorrosivos, un destructor de oxígeno y un colorante). Durante el manejo de las aguas de pruebas hidrostáticas deben implementarse las siguientes medidas de prevención y control de la contaminación:

- Reutilizar el agua en múltiples pruebas para conservarla y minimizar las descargas de efluentes potencialmente contaminados;
- Reducir el uso de sustancias anticorrosivas y otros agentes químicos minimizando el tiempo durante el cual el agua de prueba permanece dentro de los equipos o tuberías; y

- Elegir las opciones menos peligrosas en términos de toxicidad, biodegradabilidad, biodisponibilidad y bioacumulación potencial, dosificando según los requisitos de la normativa local y las recomendaciones del fabricante.

Cuando la descarga de aguas de pruebas hidrostáticas en el mar o en aguas superficiales sea la única opción viable, debe elaborarse un plan de eliminación de aguas de pruebas hidrostáticas que tenga en cuenta la ubicación y el ritmo de descarga, el uso químico (en caso de haberlo), la dispersión, el riesgo ambiental y el seguimiento necesario. Se evitará el vertido de aguas de pruebas hidrostáticas en aguas costeras superficiales.

Materiales peligrosos

Las instalaciones de procesamiento de gas natural emplean y fabrican una cantidad significativa de materiales peligrosos, incluidas materias primas, productos intermedios / finales y productos derivados. La manipulación, almacenamiento y transporte de estos materiales deben ser adecuadamente gestionados para evitar o minimizar los impactos ambientales de estos materiales. Las **Guías Generales sobre MASS** presentan las prácticas recomendadas para el manejo de los materiales peligrosos, incluida su manipulación, almacenamiento y transporte.

Residuos

Residuos no peligrosos

Los residuos industriales no peligrosos consisten principalmente en tamices moleculares usados procedentes de la unidad de separación de aire, así como residuos domésticos. Otros residuos no peligrosos pueden incluir residuos de oficina y de envases, escombros de las actividades de construcción y chatarra. Las **guías generales sobre MASS** contienen recomendaciones generales para el manejo de los residuos no peligrosos, incluido su almacenamiento y eliminación.

Residuos peligrosos

Los residuos peligrosos deben definirse en función de las características y el origen de los materiales residuales y de la normativa de clasificación aplicable. En las plantas de producción de gas a líquidos, los residuos peligrosos pueden incluir biolodos; catalizadores usados; aceites, disolventes y filtros usados (p. ej., filtros de carbón activado y lodos oleosos procedentes de los separadores aceite-agua); contenedores usados y trapos aceitosos; esencias minerales; edulcorantes usados; aminos empleadas en la eliminación del CO₂; y residuos de laboratorio. Las **guías generales sobre MASS** contienen recomendaciones generales para el manejo de los residuos peligrosos. Las prácticas de manejo de residuos específicas para el sector se describen a continuación.

Catalizadores usados: Los catalizadores usados de la producción GTL se obtienen al sustituir los lechos de catalizador durante las sustituciones programadas en los reactores de desulfuración de gas natural, los reactores y hornos de reformado, los reactores de síntesis Fischer-Tropsch y los reactores para el hidrocrqueo catalítico. Los catalizadores usados pueden contener cinc, níquel, hierro, cobalto, platino, paladio y cobre, dependiendo del proceso en cuestión. Las estrategias de manejo de residuos para los catalizadores usados incluyen las siguientes:

- Una adecuada gestión de catalizadores usados in situ, incluida la inmersión en agua de los catalizadores pirofóricos usados durante su almacenamiento temporal y hasta su transporte al lugar donde se realizará el tratamiento definitivo para evitar reacciones exotérmicas no controladas;
- Devolución al fabricante para su regeneración; y
- La gestión externa por parte de empresas especializadas que puedan recuperar los metales pesados o preciosos mediante procesos de recuperación y reciclaje (siempre

que sea posible) o que puedan gestionar de otro modo los catalizadores usados o sus materiales no recuperables de acuerdo con las recomendaciones de gestión de residuos peligrosos e inocuos descritas en las **guías generales sobre MASS**. Los catalizadores que contengan platino o paladio deben enviarse a un centro de recuperación de metales nobles

Fracciones pesadas: Las fracciones pesadas originadas en la sección de purificación de la Unidad de Síntesis del Metanol suelen quemarse en una caldera de vapor utilizando un quemador especialmente destinado al efecto.

Ruido

Las principales fuentes de ruido en las instalaciones de procesamiento de gas natural incluyen las grandes máquinas giratorias (p. ej. compresores, turbinas, bombas, motores eléctricos, equipos de refrigeración de aire y calentadores de aire). Durante una despresurización de emergencia, pueden generarse elevados niveles de ruido debido a la liberación de gases de combustión a alta presión y/o la liberación de vapor en la atmósfera. Las **guías generales sobre MASS** contienen recomendaciones generales para manejar el ruido.

1.2 Higiene y seguridad en el trabajo

Los peligros relacionados con la higiene y la seguridad en el trabajo específicos de las instalaciones deben ser identificados sobre la base de un análisis de la seguridad laboral o de una evaluación comprensiva de los peligros y riesgos como, por ejemplo, un estudio de identificación de riesgos [HAZID], un análisis de riesgos y operabilidad [HAZOP] o una evaluación cuantitativa de riesgos basada en escenarios [QRA].

En general, la planificación de la gestión de higiene y seguridad incluirá la adopción de una aproximación sistemática y estructurada para la prevención y el control de los peligros

físicos, químicos, biológicos y radiológicos para la higiene y la seguridad descrita en las **guías generales sobre MASS** (Higiene y seguridad en el trabajo).

Los riesgos más notables para la higiene y la seguridad en el trabajo se producen durante la fase operativa de las plantas de procesamiento de gas natural, e incluyen principalmente:

- La seguridad en los procesos
- La liberación de gases enriquecidos con oxígeno
- Atmósferas deficientes en oxígeno
- Peligros químicos

Seguridad en los procesos

Los programas de seguridad en los procesos deberán implementarse debido a las características específicas del sector, entre ellas las complejas reacciones químicas, el uso de sustancias peligrosas (por ejemplo, compuestos tóxicos, reactivos, inflamables o explosivos) y reacciones de escalones múltiples. El manejo de la seguridad en los procesos incluye las siguientes acciones:

- Pruebas de riesgos físicos para materiales y reacciones;
- Estudios de análisis de riesgos para revisar las prácticas químicas y de ingeniería del proceso, incluyendo termodinámica y cinética;
- Examen del mantenimiento preventivo y la integridad mecánica de los sistemas y servicios de proceso;
- Capacitación de los trabajadores; y
- Elaboración de instrucciones operativas y procedimientos de respuesta ante situaciones de emergencia.

La liberación de gases enriquecidos con oxígeno

El gas enriquecido en oxígeno puede filtrarse en las unidades de separación de aire y provocar un riesgo de incendio. Las atmósferas enriquecidas de oxígeno pueden conducir a la saturación de oxígeno de materiales, cabello e indumentaria,

pudiendo prenderse fuego con facilidad. Las medidas de prevención y control para reducir la exposición dentro y fuera del emplazamiento a las atmósferas enriquecidas con oxígeno incluyen:

- Instalar un Sistema automático de Parada de Emergencia que pueda detectar y alertar sobre la liberación no controlada de oxígeno (incluida la presencia de atmósferas enriquecidas con oxígeno en las zonas de trabajo³) y emprender acciones de parada para minimizar la duración de estos vertidos y eliminar las posibles fuentes de ignición;
- Diseñar las instalaciones y sus componentes de acuerdo con la normativa de seguridad del sector, evitando colocar tuberías de conducción de oxígeno en espacios cerrados, utilizando instalaciones eléctricas inherentemente seguras y empleando sistemas de venteo del oxígeno en toda la planta para prevenir el posible impacto del gas;
- Implementar procedimientos de trabajo a temperaturas elevadas y entrada autorizada a espacios cerrados que tengan específicamente en cuenta la posible liberación de oxígeno;
- Implementar buenas prácticas de mantenimiento para evitar la acumulación de materiales combustibles;
- Planificar e implementar planes de preparación y respuesta ante situaciones de emergencia que incorporen explícitamente procedimientos de manejo de los vertidos incontrolados de oxígeno; y
- Suministrar los equipos adecuados de prevención y control de incendios que se describen a continuación (Peligros de incendio y explosiones).

³ Las zonas de trabajo donde pueden darse atmósferas enriquecidas con oxígeno deben dotarse de sistemas de supervisión de zona capaces de detectar dichas condiciones. Los trabajadores también deberán estar equipados con sistemas de supervisión personal. Ambos sistemas dispondrán de una alarma configurada para activarse cuando la concentración de O₂ en el aire alcance el 23,5 por ciento.

Atmósferas deficientes en oxígeno

Los posibles vertidos y acumulación de gas nitrógeno en las zonas de trabajo pueden causar condiciones asfixiantes provocadas por el desplazamiento de oxígeno de estos gases. Las medidas de prevención y control para reducir los riesgos asociados con la liberación de gas asfixiante incluyen:

- Diseñar y colocar sistemas de venteo de nitrógeno de acuerdo con las normas sectoriales reconocidas;
- Instalar un Sistema automático de Parada de Emergencia que permita detectar y alertar sobre la liberación no controlada de nitrógeno (incluida la presencia de atmósferas deficientes en oxígeno en las zonas de trabajo⁴), iniciar la ventilación forzada y minimizar la duración de estos vertidos; e
- Implementar procedimientos de entrada en espacios cerrados tal y como marcan las **guías generales sobre MASS** en relación a los peligros específicos de las instalaciones.

Peligros químicos

Los peligros químicos de las plantas de procesamiento de gas natural están asociados principalmente a los escapes de monóxido de carbono y de metanol. La posible exposición a la inhalación de emisiones químicas durante las operaciones rutinarias en planta se manejará de acuerdo con los resultados obtenidos a partir de los análisis de seguridad en el trabajo y la encuesta sobre higiene industrial, de conformidad con las orientaciones sobre higiene y seguridad en el trabajo descritas en las **guías generales sobre MASS**. Las medidas de protección incluyen la capacitación de los trabajadores, sistemas de permisos de trabajo, la utilización de equipos de

⁴ Las zonas de trabajo donde puedan darse atmósferas deficientes en oxígeno deben dotarse de sistemas de supervisión de zona capaces de detectar dichas condiciones. Los trabajadores también deberán estar equipados con sistemas de supervisión personal. Ambos sistemas dispondrán de una alarma configurada para activarse cuando la concentración de O₂ en el aire alcance el 19,5 por ciento.

protección personal (EPP) y sistemas de detección de gases tóxicos con alarma.

Incendios y explosiones

El riesgo de incendios y explosiones generado por las operaciones de proceso incluye el vertido accidental de gas sintético (que contiene monóxido de carbono e hidrógeno), oxígeno, metanol y amoníaco. Los vertidos de gas sintético a altas presiones pueden provocar “dardos de fuego” o dar lugar a explosiones de nubes de vapor (VCE, por sus siglas en inglés), “bolas de fuego” o “fognazos”, dependiendo del volumen de sustancias inflamables presentes y del grado de confinamiento de la nube. Los gases de hidrógeno, metano y monóxido de carbono pueden inflamarse aun en ausencia de fuentes de ignición si alcanzan temperaturas de 500°C, 580°C y 609°C, respectivamente. Los vertidos de líquidos inflamables pueden provocar “incendios de charco”.

Las medidas recomendadas para prevenir y controlar el riesgo de incendios y explosiones asociados a las operaciones de proceso incluyen las siguientes:

- Instalar dispositivos de detección temprana de escapes (por ejemplo, supervisando la presión en los sistemas transportadores de gas y líquidos), además de detectores de humo y calor para prevenir los incendios;
- Limitar los posibles vertidos aislando las operaciones de proceso dentro de la planta de las grandes existencias almacenadas;
- Evitar las posibles fuentes de ignición (por ejemplo, diseñando la distribución de las tuberías para evitar los vertidos sobre conductos, equipos y/o máquinas giratorias a altas temperaturas);
- Controlar los posibles efectos de incendios y explosiones segregando las zonas de proceso, almacenamiento, servicios y seguridad mediante su diseño, construcción y

operación de acuerdo con las normas internacionales⁵ para la prevención y control de los peligros de incendios y explosiones, incluyendo la fijación de distancias entre los tanques situados en la planta y entre la planta y los edificios contiguos, la previsión de capacidad adicional para el enfriamiento de agua para los tanques contiguos y otros métodos de manejo basados en riesgos⁶; y

- Limitar las zonas que puedan verse afectadas en caso de producirse escapes accidentales mediante las siguientes medidas:
 - Definir las zonas de incendio y equiparlas con sistemas de drenaje capaces de recoger y transportar los vertidos accidentales de líquidos inflamables hasta una zona segura de contención que disponga de depósitos de almacenamiento para la contención secundaria;
 - Reforzar los edificios o instalar paredes cortafuegos / cortaexplosiones en las zonas en que no puedan aplicarse las distancias de separación adecuadas; y
 - Diseñar un sistema de aguas residuales oleosas que evite la propagación del fuego.

1.3 Higiene y seguridad en la comunidad

Los riesgos más significativos para la higiene y la salud de la comunidad en lo que atañe a las plantas de procesamiento de gas natural se producen durante la fase de operación y pueden incluir accidentes de gran magnitud ocasionados por los incendios y explosiones descritos en las instalaciones o por el vertido accidental de materias primas o productos acabados durante su transporte desde la planta de procesamiento. Las orientaciones para el manejo de estas cuestiones se presentan

⁵ La Práctica Recomendada 2003 del API (Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning, and Stray Currents, 1998) ofrece más orientaciones para minimizar la exposición a la electricidad estática y a los rayos .

⁶ Las distancias de seguridad también pueden deducirse de las normas utilizadas por la industria y las asociaciones comerciales, de las empresas de seguros y de análisis de seguridad específicos.

en la sección posterior sobre Principales Peligros y en las secciones correspondientes de las **guías generales sobre MASS**, incluidas las siguientes: Seguridad del tráfico, Transporte de materiales peligrosos y Preparación y respuesta ante emergencias.

Las Guías sobre MASS para el Transporte, los Ferrocarriles, Puertos y Zonas Portuarias, y Terminales de Crudo y Productos derivados del Petróleo proporcionan orientaciones adicionales aplicables al transporte por mar y por tren y a las instalaciones costeras.

2.0 Indicadores y seguimiento del desempeño

2.1 Medio ambiente

Guías sobre emisiones y efluentes

Los Cuadros 1 y 2 presentan las guías sobre emisiones y efluentes para este sector. Las cantidades correspondientes a las emisiones y efluentes de los procesos industriales en este sector son indicativas de las prácticas internacionales recomendadas para la industria, reflejadas en las normas correspondientes de los países que cuentan con marcos normativos reconocidos. Dichas cantidades pueden alcanzarse en condiciones normales de funcionamiento de instalaciones adecuadamente diseñadas y utilizadas mediante la aplicación de las técnicas de prevención y control de la contaminación que se han analizado en las secciones anteriores de este documento. Las **Guías Generales sobre MASS** contienen directrices sobre las emisiones relacionadas con las centrales de generación de vapor y energía a partir de fuentes con una capacidad igual o inferior a 50 MW, y las guías sobre emisiones procedentes de centrales de mayor capacidad se analizan en las **guías sobre MASS para centrales térmicas**. Las **Guías Generales sobre MASS** contienen recomendaciones ambientales basadas en la carga total de emisiones.

Las guías sobre efluentes se aplican a los vertidos directos de efluentes tratados a aguas superficiales de uso general. Los niveles de vertido específicos del emplazamiento pueden establecerse basándose en la disponibilidad y condiciones de los sistemas de tratamiento y recogida de aguas de alcantarillado público o, si se vierten directamente a las aguas superficiales, basándose en la clasificación del uso del agua receptora que se describe en las **guías generales sobre MASS**. Estos niveles se deben lograr, sin dilución, al menos el 95 por ciento del tiempo que opera la planta o unidad, calculado como proporción de las horas de operación anuales. El

incumplimiento de estos niveles debido a las condiciones de determinados proyectos locales se debe justificar en la evaluación ambiental correspondiente.

Seguimiento ambiental

Se llevarán a cabo programas de seguimiento ambiental para este sector en todas aquellas actividades identificadas por su potencial impacto significativo en el medio ambiente, durante las operaciones normales y en condiciones alteradas. Las actividades de seguimiento ambiental se basarán en indicadores directos e indirectos de emisiones, efluentes y uso de recursos aplicables al proyecto concreto.

La frecuencia del seguimiento debería permitir obtener datos representativos sobre los parámetros objeto del seguimiento. El seguimiento deberá recaer en individuos capacitados, quienes deberán aplicar los procedimientos de seguimiento y registro y utilizar un equipo adecuadamente calibrado y mantenido. Los datos de seguimiento se analizarán y revisarán con regularidad, y se compararán con las normas vigentes para así adoptar las medidas correctivas necesarias. Las **guías generales sobre MASS** contienen orientaciones adicionales sobre los métodos de muestreo y análisis de emisiones y efluentes.

Cuadro 1. Niveles de emisión a la atmósfera para las plantas de procesamiento de gas natural^a

Contaminantes	Unidades	Valor indicativo
NO _x	mg/Nm ³	150 ^b 50 ^c
SO ₂	mg/Nm ³	75
Materia particulada (MP10)	mg/Nm ³	10
COV	mg/Nm ³	150
CO	mg/Nm ³	100

- a. Gas seco a 15% O₂.
b. El valor de 150 mg/NM³ NO_x es aplicable a plantas con una capacidad de aportación de calor total de hasta 300 MWth.
c. El valor de 50 mg/NM³ NO_x es aplicable a plantas con una capacidad de aportación de calor total superior a 300 MWth.

Cuadro 2. Niveles de efluentes para las plantas de procesamiento de gas natural

Contaminantes	Unidades	Valor indicativo
pH	--	6-9
DBO ₅	mg/l	50
DQO	mg/l	150
SST	mg/l	50
Aceite y grasa	mg/l	10
Cadmio	mg/l	0,1
Cloro residual total	mg/l	0,2
Cromo (total)	mg/l	0,5
Cobre	mg/l	0,5
Hierro	mg/l	3
Cinc	mg/l	1
Cianuro libre total	mg/l	0,1 1
Plomo	mg/l	0,1
Niquel	mg/l	1,5
Metales pesados totales	mg/l	5
Fenol	mg/l	0,5
Nitrógeno	mg/l	40
Fósforo	mg/l	3

2.2 Higiene y seguridad en el trabajo

Guías sobre higiene y seguridad en el trabajo

Para evaluar el desempeño en materia de higiene y seguridad en el trabajo deben utilizarse las guías sobre la materia que se publican en el ámbito internacional, entre ellas: guías sobre la concentración máxima admisible de exposición profesional (TLV®) y los índices biológicos de exposición (BEIs®) publicados por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)⁷, la Guía de bolsillo sobre riesgos químicos publicada por el Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo de los Estados Unidos (NIOSH)⁸, los límites permisibles de exposición publicados por la

Administración de Seguridad e Higiene en el Trabajo de los Estados Unidos (OSHA)⁹, los valores límite indicativos de exposición profesional publicados por los Estados miembros de la Unión Europea¹⁰ u otras fuentes similares.

Tasas de accidentes y letalidad

Deben adoptarse medidas para reducir a cero el número de accidentes entre los trabajadores del proyecto (sean empleados directos o personal subcontratado), especialmente los accidentes que pueden causar una pérdida de horas de trabajo, diversos niveles de discapacidad o incluso la muerte. Como punto de referencia para evaluar las tasas del proyecto puede utilizarse el desempeño de instalaciones en este sector en países desarrollados, que se obtiene consultando las fuentes publicadas (por ejemplo, a través de la Oficina de Estadísticas Laborales de los Estados Unidos y el Comité Ejecutivo de Salud y Seguridad del Reino Unido)¹¹.

Seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo

Es preciso realizar un seguimiento de los riesgos que pueden correr los trabajadores en el entorno laboral del proyecto concreto. Las actividades de seguimiento deben ser diseñadas y realizadas por profesionales acreditados¹² como parte de un programa de seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo. En las instalaciones, además, debe llevarse un registro de los accidentes y enfermedades laborales así como de los sucesos y accidentes peligrosos. Las **guías generales sobre MASS** contienen orientaciones adicionales sobre los programas de seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo.

⁷ Disponibles en: <http://www.acgih.org/TLV/> y <http://www.acgih.org/store/>.

⁸ Disponible en: <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>.

⁹ Disponibles en: http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992.

¹⁰ Disponibles en: http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/.

¹¹ Disponible en <http://www.bls.gov/iif/> y <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>

¹² Los profesionales acreditados pueden incluir higienistas industriales certificados, higienistas ocupacionales diplomados o profesionales de la seguridad certificados o su equivalente.

3.0 Referencias y fuentes adicionales

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 40 CFR Part 60. Standards of Performance for New Stationary Sources. Subpart QQQ—Standards of Performance for VOC Emissions From Petroleum Refinery Wastewater Systems. Washington, DC: US EPA.

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 40 CFR Part 63. National Emissions Standards for Hazardous Air Pollutants. Subpart CC—National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants from Petroleum Refineries. Washington, DC: US EPA.

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 40 CFR Part 63. . National Emissions Standards for Hazardous Air Pollutants. Subpart HHH—National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants from Natural Gas Transmission and Storage Facilities. Washington, DC: US EPA.

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 40 CFR Part 63. . National Emissions Standards for Hazardous Air Pollutants. Subpart VV—National Emission Standards for Oil-Water Separators and Organic-Water Separators. Washington, DC: US EPA.

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 1987. 40 CFR Part 60. Standards of Performance for New Stationary Sources. Subpart Kb—Standards of Performance for Volatile Organic Liquid Storage Vessels (Including Petroleum Liquid Storage Vessels) for Which Construction, Reconstruction, or Modification Commenced after July 23, 1984. Washington, DC: US EPA.

Comisión Europea. 2003. Agencia Europea para el Control Integrado de la Prevención y la Contaminación (EIPPCB). Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles (MTD) relativo a las refinerías de petróleo mineral y gas. EIPPCB: España. Disponible en: <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>

Compressed Gas Association Inc. (CGA). 2001. CGA G-4.6, Oxygen Compressor Installation and Operation Guide. Primera edición. Arlington, VA: CGA. Disponible en: <http://www.cganet.com/>

European Industrial Gases Association (EIGA). 2002. Oxygen Pipeline Systems. IGC Document 13/02/E. Brussels: EIGA.

European Industrial Gases Association. 2001. Centrifugal Compressor for Oxygen Service. Code of Practice. IGC Document 27/01/E. Bruselas: EIGA.

European Industrial Gases Association (EIGA). 1999. Safe Operation of Reboilers/Condensers in Air Separation Units. IGC Document 65/99/EFD. Brussels: EIGA.

Grupo del Banco Mundial. 2004. A Voluntary Standard for Global Gas Flaring and Venting Reduction. Global Gas Flaring Reduction (GGFR) Public-Private Partnership, Report No. 4. Washington, DC: Banco Mundial. Disponible en: <http://siteresources.worldbank.org/INTGGFR/Resources/gfrmethodologyno6revised.pdf>

Ministerio Federal Alemán para el Medio Ambiente, la Conservación de la Naturaleza y la Seguridad Nuclear (BMU). 2004. Promulgation of the New Version of the Ordinance on Requirements for the Discharge of Waste Water into Waters (Waste Water Ordinance - AbwV), de 17 de junio de 2004. Berlín: BMU. Disponible en: <http://www.bmu.de/english/publication/current/publ/5258.php>

Ministerio Federal Alemán para el Medio Ambiente, la Conservación de la Naturaleza y la Seguridad Nuclear (BMU). 2002. First General Administrative Regulation Pertaining to the Federal Emission Control Act (Technical

Instructions on Air Quality Control – TA Luft). Berlín: BMU. Disponible en: http://www.bmu.de/english/air_pollution_control/ta_luft/doc/36958.php

Schmidt, W.P., K.S. Winegardner, M. Dennehy y H. Casle-Smith. 2001. Safe Design and Operation of a Cryogenic Air Separation Unit. Process Safety Progress (Vol. 20. n° 4) páginas 269-278, diciembre de 2001.

Anexo A: Descripción general de las actividades de la industria

A los efectos de estas Guías sobre MASS, el procesamiento de gas natural hace referencia a la generación de productos líquidos a partir de gas natural. En estas plantas se produce primero gas sintético a través del reformado de gas natural. A continuación, el gas sintético se convierte en productos líquidos del petróleo (productos de gas a líquido), que pueden incluir nafta, gasolina, queroseno, gasóleo, ceras y lubricantes, o, mediante la síntesis de metanol, en metanol.

Normalmente, la materia prima, el gas natural, es purificada (p. ej., desulfurizada) y fraccionada de los hidrocarburos pesados en plantas de tratamiento de gas natural, tal y como se describe en las Guías sobre MASS para el Desarrollo de petróleo y gas (en tierra y marino). Las plantas de procesamiento de gas natural son intensivas en capital y suelen estar situadas en regiones productoras de gas natural. La capacidad de producción de las plantas de producción de gas a líquido suele oscilar entre los 20.000 y los 30.000 barriles por día operativo (BPSD) de productos GTL, mientras que las capacidades de 50.000 a 100.000 BPSD están siendo objeto de evaluación. Las plantas de metanol con una capacidad de 5.000 toneladas métricas al día (TM/D) están funcionando en la actualidad, mientras que aquellas con un volumen de producción mayor (p. ej., hasta 7.500-10.000 TM/D) están siendo objeto de evaluación.

La producción de gas a líquidos

Las plantas de producción de gas a líquidos (GTL, por sus siglas en inglés) suelen estar compuestas por las siguientes unidades de proceso:

- Unidad de producción de gas sintético
- Unidad de síntesis Fischer-Tropsch
- Unidad de mejoramiento del producto
- Unidad de separación de agua

Unidad de producción de gas sintético

El gas natural se somete a un tratamiento para eliminar de él los restos de azufre (p. ej., haciendo pasar el gas por un lecho de óxido de cinc) antes de suministrarlo a la Unidad de Producción de Gas Sintético. Esta unidad suele consistir en una sección de reformado, seguida de una sección de recuperación de calor.

La sección de reformado comprende un reactor de prereformado seguido por un reactor de reformado autotérmico. El reactor de prereformado se sirve de una reacción de vapor para convertir los hidrocarburos más pesados (p. ej. etano, propano) en hidrógeno y monóxido de carbono, para evitar la formación de hollín en el reactor de reformado autotérmico. En el reactor de reformado autotérmico, el metano reacciona con vapor y oxígeno a aproximadamente 950°C y 30-40 bares en presencia de un catalizador de níquel para generar una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno en la fracción molar deseada.

En la sección de recuperación de calor, el calor de reacción, generado en el reactor de reformado autotérmico, se reutiliza para precalentar las corrientes de proceso y para producir vapor de alta presión que sirve para hacer funcionar las turbinas de vapor y para alimentar a los reactores de prereformado y a los reactores de reformado autotérmico. El gas frío que abandona la unidad de recuperación de calor pasa a continuación a una fase en que se elimina el dióxido de carbono (normalmente mediante un lavado alcalino regenerativo) antes de ser suministrado a la Unidad de Síntesis Fischer-Tropsch. El oxígeno es suministrado por una Unidad de Separación de Aire especial que también suministra el necesario servicio de nitrógeno.

Unidad de síntesis Fischer-Tropsch

El gas sintético de la Unidad de Producción de Gas Sintético entra a continuación la Unidad de Síntesis Fischer-Tropsch, que está integrada principalmente por una unidad de reacción, una sección de reacción, una sección de estabilización y una sección de reciclado de gas.

En la sección de reacción, el monóxido de carbono y el hidrógeno reaccionan como parte de la reacción de la síntesis Fischer-Tropsch, a aproximadamente 250°C y 20-25 bares en catalizadores de hierro o de cobalto, para generar hidrocarburos de cadena larga, agua, compuestos oxigenados (principalmente, alcoholes), ácidos orgánicos y pequeñas cantidades de cetonas. Los reactores Fischer-Tropsch comercialmente disponibles son los reactores multitubulares de lecho fijo y los reactores de lecho fluidizado. En la sección de estabilización, el gas no convertido y las fracciones ligeras se separan y posteriormente el primero es reciclado de nuevo en la Sección de Síntesis Fischer-Tropsch.

El producto estabilizado mediante la síntesis Fischer-Tropsch penetra en la unidad de mejoramiento (generalmente, una unidad de hidrocrqueo catalítico), donde se transforma en un catalizador de platino o de paladio los hidrocarburos de cadena larga en los productos finales deseados (p. ej., nafta, gasolina, queroseno, gasóleo, ceras y lubricantes). El hidrógeno necesario para la unidad de hidrocrqueo catalítico se produce a través de un proceso especial de producción de hidrógeno que suele contar con una unidad de reformado de gas natural con vapor.

Los servicios necesarios para el funcionamiento de la planta son principalmente energía eléctrica, vapor y agua de refrigeración. El nitrógeno lo proporciona la Unidad de Separación de Aire. Las plantas disponen de una purga y una antorcha. Estas plantas suelen disponer además de grandes tanques de almacenamiento para recoger los productos, así

como de instalaciones de carga para buques y / o conducciones para trasladar los productos, parecidos a los de las refinerías y otras instalaciones de petróleo aguas abajo. Las Guías sobre MASS para las Terminales de productos de crudo y petróleo contienen información más detallada.

Producción de metanol

Las plantas de producción de metanol comprenden unidades de producción de gas sintético (o syngas), unidades de síntesis de metanol y unidades de separación de aire.

Unidad de producción de gas de síntesis (syngas)

Esta unidad es similar a la unidad descrita más arriba para las plantas de GTL. Para capacidades superiores a 5.000 TM/D, la tendencia es adoptar únicamente reformadores autotérmicos. Las plantas de tamaño medio con capacidades de hasta 5.000 TM/D utilizan un reformado mixto. El reformado mixto supone el empleo de un reactor en la fase de prereformado, seguido de un horno de reformado con vapor y, por último, de un reactor de reformado autotérmico. Los reactores de prereformado y de reformado autotérmico cumplen las mismas funciones que las descritas para las plantas de GTL. En el horno de reformado con vapor, el gas reacciona con vapor a aproximadamente 800°C y 40-50 bares en presencia de un catalizador de níquel.

En la sección de recuperación de calor, el calor de reacción, generado en el reactor de reformado autotérmico, se utiliza para precalentar las corrientes de proceso y para producir vapor de alta presión que sirve para hacer funcionar las turbinas de vapor y para alimentar todos los reactores de reformado. El oxígeno es suministrado por una Unidad de Separación de Aire especial que también suministra nitrógeno.

Unidad de síntesis de metanol

La Unidad de Síntesis de Metanol está compuesta fundamentalmente por las secciones de reacción, reciclado de gas y purificación de metanol.

En la sección de reacción, el monóxido de carbono y el hidrógeno reaccionan a aproximadamente 250°C y 50-80 bares en presencia de un catalizador de cobre para generar metanol. Los reactores comercialmente disponibles son los reactores tubulares de lecho fijo y los reactores radiales adiabáticos de varios lechos. Aguas abajo del reactor, el metanol se condensa y el gas no convertido se recicla en la Unidad de Producción de Gas Sintético.

La sección de purificación está compuesta por dos torres de fraccionamiento en que se separan del metanol tanto las fracciones ligeras como las fracciones pesadas (alcoholes de elevado peso molecular). Las fracciones ligeras suelen recuperarse como gas combustible, mientras que las fracciones pesadas normalmente se queman en una caldera de vapor con un quemador específico. Los servicios necesarios para el funcionamiento de las plantas de metanol son los mismos que se precisan para las plantas de GTL. Las plantas constan de una purga y una antorcha, y normalmente disponen de grandes tanques de almacenamiento de metanol.