



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

**DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO DE LA TERMINAL
DE ALMACENAMIENTO Y REGASIFICACIÓN DE GAS
NATURAL LICUADO, Y MODERNIZACIÓN DE LA CENTRAL
TERMOELÉCTRICA DE MANZANILLO**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecánico Electricista

P R E S E N T A

Antonio Gutiérrez Sandoval

ASESOR

Ing. David Vázquez Ortiz

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019



Agradecimientos:

Presento este informe que es parte de mi vida profesional y que, pudo ser posible gracias a las enseñanzas recibidas en nuestra querida Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, impartidas en sus aulas, laboratorios y visitas a campo. Sobre todo por el invaluable conocimiento, cálida y vívida experiencia teórica y práctica transmitida con convicción y en ocasiones con pasión por ingenieros, maestros en toda la extensión de la palabra a quienes aquí expreso mi más sincero reconocimiento y agradecimiento, entendiendo que gracias a su trabajo México cuenta con miles de ingenieros que han contribuido al desarrollo de nuestro país. Muchas gracias queridos maestros.

Me permito dedicar esta pequeña muestra de trabajo profesional de 39 años a mis queridas hijas Ana Margarita e Irma Esther, de grandes valores y convicciones, universitarias, profesionistas las dos, que siempre han alegrado e iluminado mi vida, con la certeza que siempre lo seguirán haciendo.

Particularmente quiero agradecer el apoyo y orientación de mi asesor Ing. David Vázquez Ortiz, y de mis sinodales, M.ED. Alejandra Vargas Espinoza de los Monteros, Ing. César Maximiliano López Portillo Alcérreca, Ing. Rodolfo Martínez Quero, M.A. Rolando Lima Maciel.

A mis compañeros de trabajo, en especial al Ing. Ernesto Garduño Aguilar, cuyo apoyo fue esencial para transitar con el ánimo de concluir este ciclo profesional.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVO	5
IMPORTANCIA DEL PROYECTO DE LA TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL LICUADO DE MANZANILLO	6
Análisis del problema de ingeniería	6
PARTICIPACIÓN PROFESIONAL	11
DESARROLLO DE TODO EL PROYECTO INTEGRAL DE INGENIERÍA	12
Licitaciones internacionales	13
Poner en sintonía todos los programas y proyectos e integrarlos en el proyecto integral Terminal de Almacenamiento y Regasificación de GNL Manzanillo (TARGNLM)	14 15
ANTECEDENTES. SUSTENTOS TÉCNICOS	16
El Gas Natural (GN) y el Gas Natural Licuado (GNL)	16
Selección del sitio de la terminal de almacenamiento y regasificación de GNL de Manzanillo	19
Ubicación de la terminal de almacenamiento y regasificación de GNL de Manzanillo	20
Nuevo puerto y arreglo de la terminal de almacenamiento y regasificación de gas natural licuado de Manzanillo	20
Características del proyecto del canal Tepalcates en Manzanillo	25
La terminal de gas natural licuado	26
La Terminal Marítima	26
Reubicación de la infraestructura existente en el lugar de implantación de las terminales (marítima y de GNL)	27
Repotenciación de la central termoeléctrica de Manzanillo	47
Gasoducto Manzanillo-Guadalajara	51
CONCLUSIONES	55
Bibliografía	56

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se describe a grandes rasgos la metodología de ingeniería y, la aplicación de procedimientos técnicos y administrativos para modernizar una central termoeléctrica, así como para realizar la conversión del combustible necesario para el proceso de generación eléctrica de combustóleo a gas natural. Se da un panorama general de los proyectos que se realizaron para lograr el proyecto integral de la central termoeléctrica de Manzanillo y así fortalecer la infraestructura del sistema eléctrico de potencia del país, para poder brindar un servicio de mayor calidad, eficiencia y altamente confiable.

Describiendo en su forma más simple, un sistema eléctrico de potencia es un conjunto de elementos que genera energía eléctrica, la transforma, transporta y distribuye hasta el usuario final.

Para poder proporcionar la energía eléctrica que demanda el país, se tienen distintas formas de generación, teniendo todas en común, el transformar cualquier tipo de energía en energía eléctrica.

Las centrales termoeléctricas, transforman la energía calorífica, en energía eléctrica, y pueden utilizar distintos métodos y combustibles para su proceso, nuevas tecnologías hacen que algunos sean más económicos, menos contaminantes, más confiables y más eficientes que otros. Además dependiendo de las condiciones del sistema eléctrico de potencia, la viabilidad para proveer el combustible y las características ambientales del sitio donde se requiera será el tipo de central de generación eléctrica que se construya.

En el caso de la central termoeléctrica de Manzanillo, la opción más viable fue convertirla de una central que utilizaba combustóleo a gas natural como combustible para su proceso, y así convertirla en una central altamente eficiente.

OBJETIVO

Para poder cumplir con los requisitos y obtener el grado de Ingeniero Mecánico Electricista, de la Facultad de Ingeniería, de la UNAM, presento este reporte laboral, dado que tengo 34 años de experiencia en el sector energético.

Este reporte es una descripción general del proyecto integral para la modernización y conversión de la central termoeléctrica de Manzanillo, debido a que, como jefe de proyecto pude encabezar y coordinar con responsabilidad las diversas ramas de la ingeniería en un proceso interdisciplinario con resultados positivos coordinando todos los departamentos técnicos de la Coordinación de Proyectos Termoeléctricos de la empresa.

IMPORTANCIA DEL PROYECTO DE LA TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y REGASIFICACIÓN DE GAS NATURAL LICUADO DE MANZANILLO

Para un proyecto de tal envergadura se realizaron actividades previas en la etapa considerada como de anteproyecto donde se llevó a cabo todo el proceso licitatorio que incluyó emisión de convocatoria, emisión de bases de licitación, juntas de aclaraciones para resolver preguntas y aclaraciones de los licitantes, entrega de propuestas técnicas y económicas a la empresa, revisión y análisis para declarar ganador al concursante correspondiente. A partir de la formalización de los contratos con los licitantes ganadores, se inició la etapa de la supervisión a la ejecución específica de los proyectos que amparaban dichos contratos.

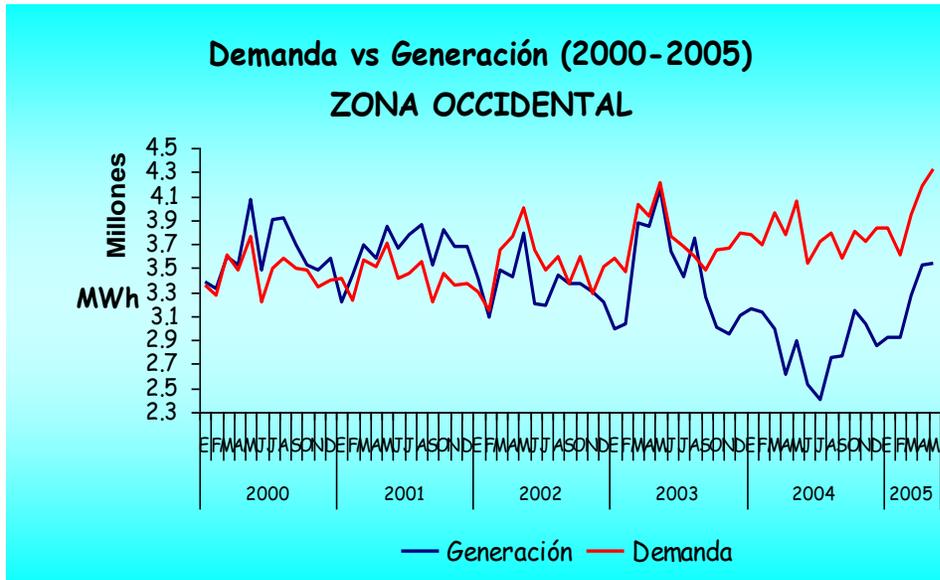
Análisis del problema de ingeniería

- Necesidad de energía eléctrica.

Los estudios de desarrollo del mercado eléctrico, estimaron que la demanda máxima del área occidental del país crecería anualmente 5.8% en promedio durante 2005-2014. Por ello en el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POISE) se propuso incrementar la capacidad instalada para satisfacer la demanda esperada y considerando además que todo el proceso de ingeniería y construcción requerían de entre 30 a 36 meses de acuerdo a las condiciones específicas requeridas de los equipos, que estaban disponibles en el mercado y justo a tiempo para ser incorporados en el proceso constructivo.

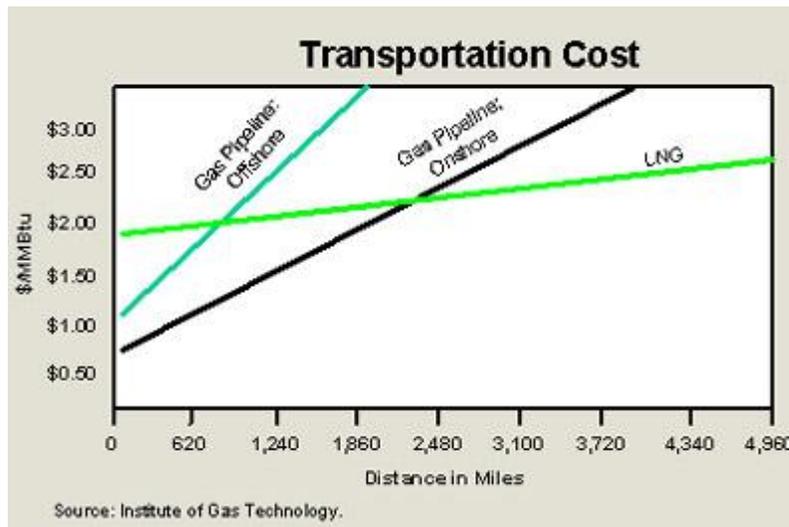
- Disponibilidad de las combustible.

Tomando en cuenta que el crecimiento de la demanda máxima del país aumentaría 5.8% anualmente, se contempló un incremento de capacidad de generación del país, proyectando que un gran porcentaje de este incremento sería empleando tecnología de ciclo combinado, lo que significaba un aumento en el consumo de gas natural.



Gráfica 1. Demanda vs Generación (2000-2005)

Y en la zona occidente el desarrollo de la generación al 2005 claramente es deficitaria pues la demanda de 4.2 Millones de MWh es mayor a la generación de 3.5 millones de MWh como se observa en la gráfica 1.



Gráfica 2. Costo del Transporte

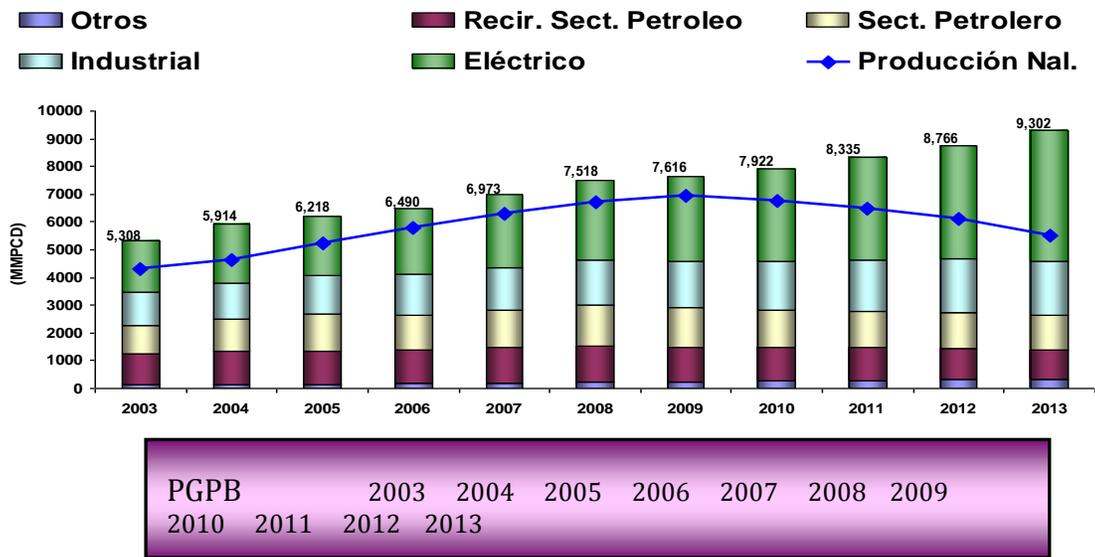
Como se puede apreciar en la gráfica 2 el costo de transportar de gas natural por gasoductos marinos o en la medida que se incrementa las distancia su costo se incrementa y pierden competitividad con el gas natural licuado que se transporta en buques metaneros.

- La solución de Ingeniería.

Se analizaron las alternativas y se dio la oportunidad de presentar una solución de ingeniería viable e integral de grandes proporciones, que tuvo que transitar por el convencimiento paulatino de las altas autoridades y de los tres niveles de gobierno del país por lo que se extendió más el tiempo del anteproyecto. Pero al final, se pudo materializar y considerar como un proyecto presidencial por las áreas de gobierno participantes.

Con el objetivo de cubrir el desarrollo de la demanda de energía eléctrica en el occidente y centro del país, con base en los estudios correspondientes, se determinó la tecnología más amigable y menos contaminante que debería de implementarse, concluyendo que el ciclo termodinámico adecuado para aplicarse era el ciclo combinado (CC), para lo cual se requería disponer de grandes volúmenes de gas natural como el combustible a utilizar. Consecuentemente se implementó la estrategia de abastecer la planta con gas natural licuado (GNL) y atender los lineamientos del Programa Nacional de Energía (PNE) y del Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POISE) 2004-2013, con el propósito de dar cumplimiento a las metas determinadas en ellos.

El Programa Sectorial de Energía 2001-2006, alineado al Plan Nacional de Desarrollo, mencionaba la necesidad de asegurar la oferta suficiente de gas natural con precios competitivos, para lo cual proponía la línea de acción de instalar Terminales de Gas Natural Licuado en México.



Fuente:

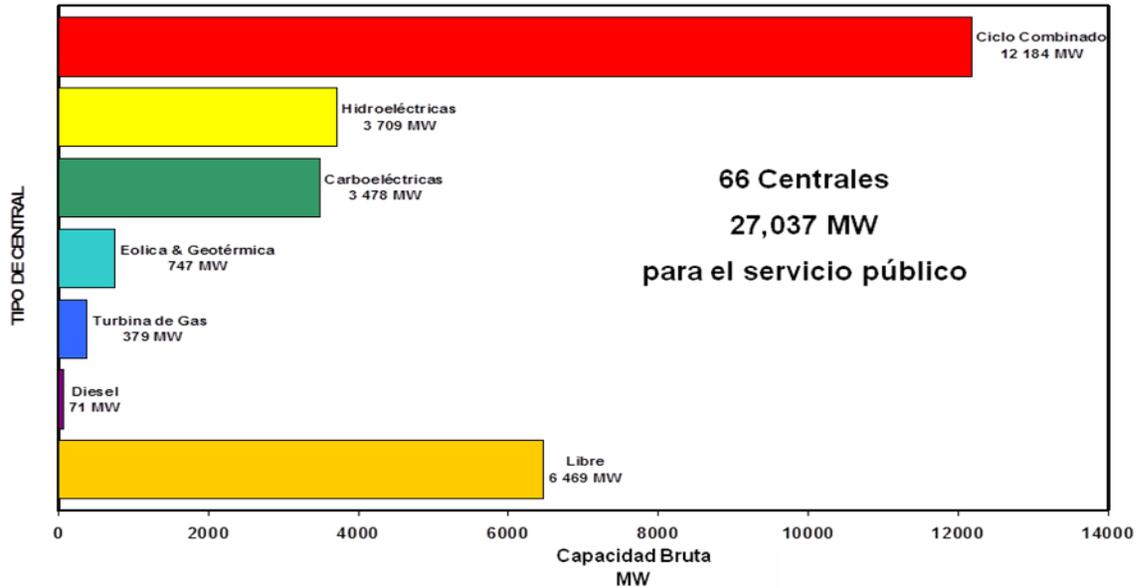
Gráfica 3. Balance de Gas Natural

En la gráfica 3 se observa cómo se preveía el incremento en la utilización del GN como combustible, pero la producción nacional del GN va cayendo, por lo que se hace necesario incrementar la importación del GN, preferentemente como GNL.

Programa de Requerimientos de Capacidad (2006-2016)

A partir de la información del Programa Sectorial de Energía 2001-2006, quedó establecido que el déficit de GN de importación aumentaría, y las empresas nacionales no podrían garantizar el abasto del GN requerido para las plantas de generación eléctrica en la región Centro y Occidental, por lo que la Secretaría de Energía autorizó a la empresa realizara lo necesario para conseguir GN para generación de energía eléctrica.

Este programa es el resultado del POISE
y toma en consideración las fuentes de energía disponibles.



Gráfica 4. Resultado del POISE

Para hacer frente a la generación eléctrica con ciclos termodinámicos más eficientes como el ciclo combinado, se requiere contar con mayor volumen de GN. Y una opción viable es con el GNL.

Centrales de generación nuevas (MW)

Central	2009	2010	2011	2012	2013
Repotenciación Manzanillo I, U 3 y 4	2,080				
Occidental (Guadalajara)		510			
Occidental II (Guadalajara)			510		
Occidental III				510	
Occidental IV					510
Total	2,080	510	510	510	510

Se propone ubicar Occidental III y IV en Manzanillo, mediante la repotenciación de la Unidad 1. La repotenciación de Manzanillo I, U 3 y 4, equivale a la generación total de la central de Manzanillo, lo que significa que las U 1 y 2 de Manzanillo II y las U 1 y 2 de Manzanillo I quedarían como reserva.

Centrales en operación (MW)

Central	2009	2010	2011	2012	2013
Bajío	495	495	495	495	495
El Sauz	410	410	410	410	410
Salamanca	916	916	916	916	366
Total	1,821	1,821	1,821	1,821	1,271

Tablas 1 y 2. Centrales de Generación Nuevas (MW) y Centrales en Operación

En ese entonces, la zona occidente de la República Mexicana era abastecida de gas natural por los gasoductos Salamanca-Guadalajara y Salamanca-Lázaro Cárdenas con gas que proviene de la cuenca del Golfo de México y que prácticamente ya estaban saturados en su capacidad de transporte. La cuenca del Pacífico a partir de Colima, no contaba con ningún sistema de suministro/distribución de gas natural, por lo que se consideró viable la construcción de una terminal de GNL en la zona de Manzanillo, complementada con un gasoducto bidireccional Manzanillo-Guadalajara, que aseguraría el suministro de este combustible a las centrales actuales y futuras en esa zona del país, así como para promover el desarrollo industrial de esa región.

PARTICIPACIÓN PROFESIONAL

Ingresé a la empresa el 07 de abril de 1981 en la Coordinación de Proyectos Termoeléctricos (CPT) y fui asignado al Proyecto Central Termoeléctrica (CT) Punta Prieta II, U3, donde realicé actividades de ingeniería en el Área de Instrumentación y Control. A partir de entonces, ocupé diversos puestos de responsabilidad como Jefe de Grupo del Generador de Vapor, Supervisor de instrumentación y control de toda una Central en los

proyectos de Punta Prieta II U 3, en la central termoeléctrica de Lerdo en Gómez Palacios Durango, y en la Central Turbo Gas (TG) de Río Bravo. Jefe de Proyecto de Central Ciclo Combinado (CCC) Tuxpan V, Sistemas de Suministro de Combustibles, así como en diversos proyectos más. Como Jefe de Proyecto se tiene que coordinar la ingeniería de los Departamentos Técnicos de Ingeniería Mecánica (DIM), Instrumentación y Control (DI y C), Ingeniería Civil (DIC), Ingeniería Eléctrica (DIE), Diseño de Planta (DDP), Protección Ambiental (DPA) y Puesta en Servicio (DPS) así como el Administrativo (DA) aplicados al proyecto

El 06 de agosto del 2004, fui designado como encargado de la jefatura del proyecto de la Terminal de Almacenamiento y Regasificación de Gas Natural Licuado de Manzanillo (TARGNLM). Lo que me permitió aplicar los conocimientos de ingeniería adquiridos en mi vida profesional. Y me dio la oportunidad de presentar este trabajo de mis actividades de ingeniería en este proyecto tan trascendental para el país.

Con la responsabilidad de la Jefatura del Proyecto de la TARGNLM coordiné desde sus inicios de definición y alcances de la ingeniería básica los proyectos de la repotenciación y modernización de Manzanillo I y el proyecto del gasoducto Manzanillo-Guadalajara para la elaboración de sus especificaciones técnicas, para después dedicarme de lleno sólo a la terminal de almacenamiento y regasificación de gas natural licuado.

DESARROLLO DE TODO EL PROYECTO INTEGRAL DE INGENIERÍA

El proyecto integral en Manzanillo fue la solución para la adquisición de un combustible más limpio y menos contaminante que el combustóleo que en el país se venía utilizando en las centrales termoeléctricas de ciclo Rankine para satisfacer la demanda creciente de energía eléctrica en el occidente y centro de México con el propósito de incrementar la generación eléctrica, sustituyendo el combustóleo por gas natural que es más económico y produce menos contaminación.

Para ello fue necesario realizar cuatro licitaciones principales básicas debidamente integradas entre sí, mediante un programa de ingeniería ejecutivo coherente con seis grandes procesos licitatorios.

Licitaciones internacionales

1. Compra del Gas Natural Licuado (GNL). Adquisición Internacional de 500 MMPCD requeridos. Elaboración de la ingeniería básica de la especificación técnica para la adquisición de GNL en el mercado mundial.
2. Terminal de Almacenamiento y Regasificación o Terminal de Gas Natural Licuado Manzanillo (TGNLM).
3. Repotenciación y Modernización de la Central de Generación Manzanillo
4. De acuerdo con los procedimientos y buenas prácticas de ingeniería, al incrementarse la generación eléctrica de un punto de interconexión eléctrica se hacen los estudios correspondientes, así que para la central de Manzanillo, fue necesario fortalecer la infraestructura y capacidad de transmisión para desalojar y transportar el excedente de energía con proyectos de desarrollo de la red eléctrica con al menos una licitación.
5. Gasoducto de Gas Natural (GN) de Manzanillo a Guadalajara. *Diseño y construcción del gasoducto Manzanillo-Guadalajara*. Elaborar la ingeniería básica de la especificación técnica del nuevo gasoducto.
6. Así mismo, el nuevo gasoducto que conduce gas natural a Guadalajara posibilita la creación de nuevas centrales termoeléctricas de ciclo combinado en la región occidental cercana a dicha ciudad como el proyecto central de ciclo combinado Guadalajara . Así como alimentar con GN las centrales existentes en el Bajío. Para fortalecer la infraestructura del Sistema Nacional de Gasoductos (SNG). Propuse en las reuniones técnicas que fuera bidireccional para darle mayor versatilidad para hacerle frente a cualquier contingencia debido a que era un punto único de acceso de gas natural al Sistema Nacional de Gasoductos.



Imagen 1. Programa Nacional Infraestructura

Poner en sintonía todos los programas y proyectos e integrarlos en el proyecto integral

El proyecto integral en Manzanillo fue un proyecto único por su alcance e interacción con todas las áreas de ingeniería pero también con otros sectores institucionales gubernamentales, encargados de diferentes áreas como: Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental, Zona Federal Marítimo Terrestre y Áreas Costeras. Así como con instancias a cargo de comunicaciones y transportes, agricultura, la administración de avaluos y bienes nacionales, el servicio de agua, entre otras.

Además, se requirió la participación de instituciones educativas y centros de estudios e investigación privados y públicos como el Instituto de Ingeniería de nuestra Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Instituto Politécnico Nacional (IPN), Instituto de Investigaciones Eléctricas y el Centro de Estudios de Simulación de Maniobrabilidad de Buques en Dinamarca para definir las características del nuevo puerto a construir en Manzanillo.

Desde luego se contó con el apoyo de otras áreas de la empresa, particularmente con el área de Programación y la Dirección de Operación. Se tuvo la participación del personal operativo del complejo termoeléctrico en Manzanillo, así como de las subdirecciones de distribución y transmisión para la definición de los cambios en la infraestructura de las subestaciones y líneas para dar salida a mayor energía y, de la Dirección y la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil (GEIC).

Asimismo, se contó con sectores sociales involucrados, como grupos de pescadores, pobladores, vecinos de las instalaciones, ejidatarios, comuneros, hoteleros y particulares; grupos ecológicos, centros de estudio e investigación como de la Universidad de Colima que realizó la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) y el Estudio de Riesgo Ambiental.

Terminal de Almacenamiento y Regasificación de GNL Manzanillo (TARGNLM)

El siguiente paso, fue determinar de dónde obtener el gas natural; licuado definiendo que sería de un puerto del Océano Pacífico, y determinar y ubicar, en forma precisa, el sitio donde se construiría la terminal de GNL, así como determinar los impactos para la región tanto los positivos como los negativos para atenuarlos y de ser posible eliminarlos y convertir al proyecto en uno que se propuso como de ganar - ganar. De esta manera, realizar la mejor propuesta de ingeniería definiendo las obras asociadas requeridas. Y finalmente, establecer el programa ejecutivo de ingeniería para hacer viable el proyecto integral, y proceder a realizar una amplia discusión y difusión del proyecto con las autoridades y sectores involucrados.

Se formuló el anteproyecto ejecutivo de la terminal de GNL, en el cual se contemplaron para las actividades de descarga de GNL, las obras portuarias para recibir buques tanque de una capacidad de hasta 230,000m³.

ANTECEDENTES. SUSTENTOS TÉCNICOS

El Gas Natural (GN) y el Gas Natural Licuado (GNL)

Una vez que se tuvo definida la demanda de energía, primero se procedió a establecer que se utilizaría el gas natural en su forma líquida como combustible para la generación de electricidad en plantas con ciclo termodinámico tipo ciclo combinado. A continuación, se realizó un gran número de estudios de todo tipo para determinar cómo resolver todos los problemas de ingeniería que se presentarían y en los que, por la experiencia en diseño, construcción y puesta en servicio de la Coordinación de Proyectos Termoeléctricos (CPT) perteneciente a la Dirección de Proyectos de Inversión Financiada (DPIF), se tendría que elaborar los estudios técnicos y de campo necesarios.

- El Gas Natural (GN).

Los hidrocarburos tienen átomos de hidrógeno y de carbono. Cuando tienen hasta 4 átomos de carbono son gaseosos, de 5 a 20 átomos de carbono son líquidos y más de 20 átomos de carbono son sólidos. El gas natural se encuentra y se extrae del subsuelo.

Gas Natural: Es una mezcla de hidrocarburos que, a la temperatura ambiente y presión atmosférica, permanece en estado gaseoso. Se encuentra en rocas porosas en el subsuelo, y puede estar asociado o no al petróleo.

Gas natural bruto: Es el gas directo del pozo, antes de ser tratado o limpio. Mezcla de hidrocarburos ligeros y otras sustancias asociadas, que ocurre naturalmente en una reserva subterránea, la cual, en condiciones atmosféricas, es esencialmente gas, pero puede contener líquidos.

Su composición puede variar, dependiendo si el gas está asociado o no al petróleo, o si ha sido o no procesado en unidades industriales. La composición básica incluye metano, etano, propano e hidrocarburos de mayor peso molecular (en menores proporciones). Generalmente presenta bajas proporciones de contaminantes como nitrógeno, dióxido de carbono, agua y compuestos de azufre.

metano	CH ₄
etano	C ₂ H ₆
propano	C ₃ H ₈
butano	C ₄ H ₁₀

Composición típica gas natural rico a boca de pozo.

metano(C1)	89.73 %
etano(C2)	5.97 %
propano(C3)	2.53 %
butano(C4)	1.19 %
pentano(C5)	0.29 %
hexanos plus	0.29 %

Antes de comercializar el gas natural, a éste se le extrae el propano, el butano y los hidrocarburos más pesados que el pentano. El propano y el butano se comercializan como gas licuado y los pentanos plus que constituyen lo que se denomina gasolina natural se mezclan con el petróleo crudo para enviarlos a refinería. Este proceso se hace en una planta de gasolina.

- El Gas Natural Licuado (GNL)

El GNL es el gas natural que ha sido enfriado hasta el punto que se condensa a líquido, lo cual ocurre a una temperatura de aproximadamente - 161°C y a presión atmosférica. La licuefacción es el proceso de convertir al gas natural en estado líquido reduciendo su volumen aproximadamente 600 veces, haciéndolo así más económico para ser transportado en buques especiales llamados metaneros para llevarlo a cualquier puerto en el mundo.

- Densidad : 0.61 (más ligero que el aire).
- Volumen : 1 litro de gas líquido se convierte en 600 litros de gas.
- Estabilidad química: Estable en condiciones normales de almacenamiento y manejo.
- Ni el gas natural ni sus productos de combustión contienen ingredientes que destruyen la capa de ozono.

- Su combustión es más eficiente y limpia por lo que se considera un combustible ecológico.

Comparación de las propiedades de los combustibles líquidos

Propiedades	GNL	Gas Licuado del Petróleo (GLP)	Gasolina	"fuel oil"
Tóxico	No	No	Si	Si
Carcinógeno	No	No	Si	Si
Vapor Inflamable	Si	Si	Si	Si
Forma Nubes de Vapor	Si	Si	Si	No
Asfixia	Si, pero dentro de una nube de vapor	Igual que el GNL	Si	Si
Temperatura Extremadamente Fría	Si	Si, cuando se refrigera	No	No
Otros Riesgos a la Salud	Ninguno	Ninguno	Irritación a los ojos, narcosis, náusea, otros	Igual que la gasolina
Punto de Destello ⁴ (°F)	-306	-156	-50	140
Punto de Ebullición (°F)	-256	-44	90	400
Rango de Inflamabilidad en el aire, %	5-15	2.1-9.5	1.3-6	N/A
Presión almacenada	Atmosférica	Bajo presión (atmosférica si se refrigera)	Atmosférica	Atmosférica
Comportamiento en casos de derrame	Se evapora formando "nubes" visibles. Partes de las nubes pueden ser inflamables o explosivas bajo ciertas condiciones.	Se evapora formando nubes de vapor que pueden ser inflamables o explosivas bajo ciertas condiciones.	Se evapora formando charcos inflamables; tendrá que limpiarse.	Igual que la gasolina.

Fuente: Se basa en: Lewis, William W., James P. Lewis y Patricia Outtrim, PTL, "LNG Facilities - The Real Risk," American Institute of Chemical Engineers, New Orleans, April 2003, modificado por fuentes de la industria.

Tabla 3. Comparación de las Propiedades de los Combustibles Líquidos

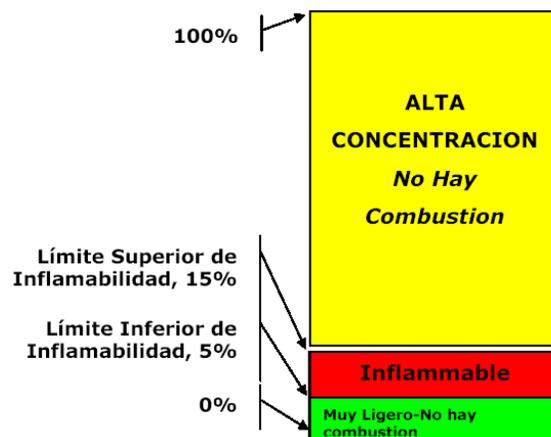


Imagen 2. Combustión e inflamabilidad

En los países productores de hidrocarburos se instalan plantas de licuefacción y, mediante los buques metaneros, son llevados a las terminales de almacenamiento y regasificación del gas natural licuado, para que mediante intercambiadores de calor.

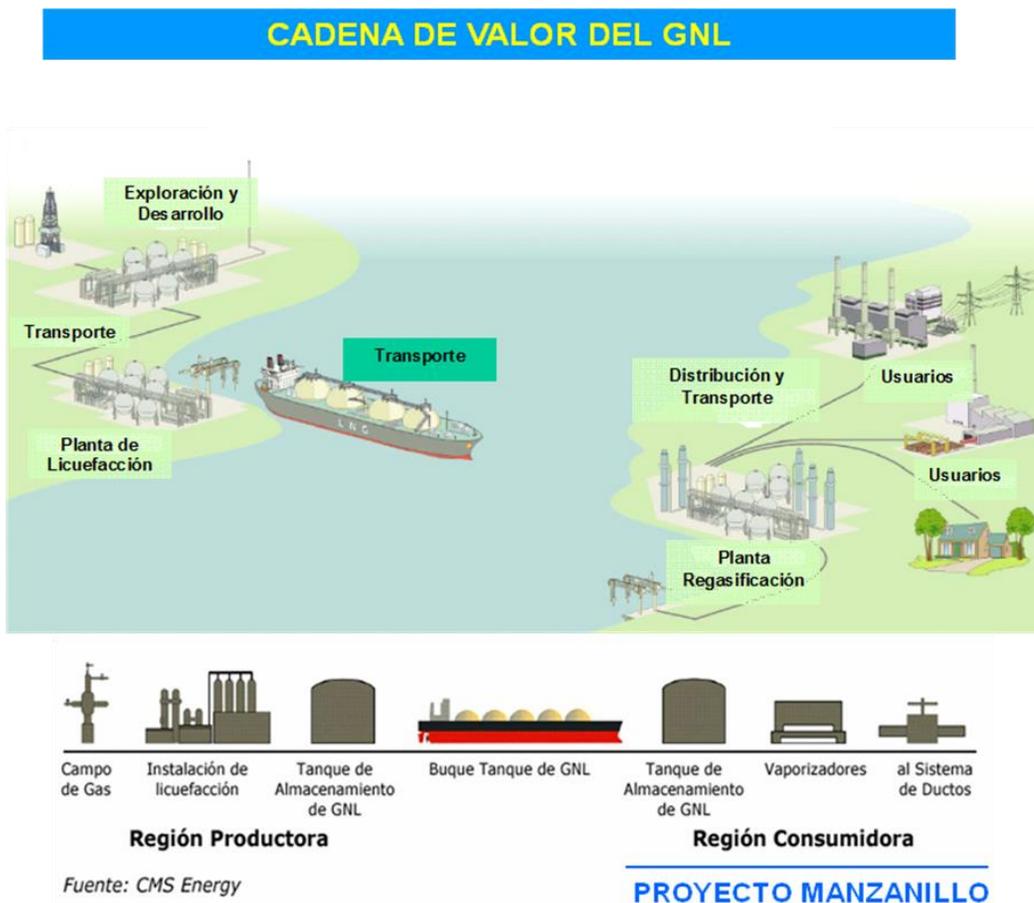


Imagen 3. Cadena de Valor de GNL

Selección del sitio de la terminal de almacenamiento y regasificación de GNL de Manzanillo

Previamente a las licitaciones internacionales asociadas al sitio y una vez definido que sería con GNL, se procedió a partir de los estudios correspondientes, a analizar diversas alternativas, considerando las ventajas y desventajas; técnicas, económicas, sociales, ambientales y turísticas en el contexto del desarrollo eléctrico e industrial y del futuro de las instalaciones de la empresa.

Ubicación de la terminal de almacenamiento y regasificación de GNL de Manzanillo

Finalmente, para la ubicación de la terminal de gas natural licuado se seleccionó el sitio en Manzanillo Colima en el canal de Tepalcates, en el cual se dispone de un predio de 72.80 Ha. localizado al este de la central termoeléctrica de Manzanillo, a una distancia de 6 km. aproximadamente. En este predio se tiene un frente de agua al vaso II de la laguna de Cuyutlán. Para la realización de este proyecto se utilizaron 76.25 Ha. dentro de la laguna para la construcción de la dársena de ciaboga y el muelle. Este fue el inicio de todo el desarrollo de la ingeniería y las licitaciones.

A partir de la determinación del sitio se iniciaron las obras necesarias para abastecer con gas natural al complejo termoeléctrico de Manzanillo (que hasta ese entonces consumía combustóleo para la operación de las dos centrales con el ciclo termodinámico tipo ciclo *Rankine*: Central Manzanillo I con 4 Unidades de 300 MW cada una, y Manzanillo II con 2 unidades de 350 MW cada una, para una capacidad total de generación de 1900 MW en todo el complejo), y hacer los cambios necesarios para sustituir el combustible y el ciclo termodinámico de Rankine a ciclo combinado, empezando por dos unidades de generación.

Así mismo, quedaron definidos los puntos geográficos del gasoducto que sería de Manzanillo a Guadalajara y las obras asociadas.

Nuevo puerto y arreglo de la terminal de almacenamiento y regasificación de gas natural licuado de Manzanillo

El siguiente paso fue definir el sitio exacto de la TARGNLM y del nuevo puerto marino para recibir los buques metaneros con el GNL, determinando el arreglo, distribución y logística del puerto con la terminal de gas natural licuado, y analizar y determinar los problemas de ingeniería a resolver.

Se realizaron estudios de topografía, batimetría, geotécnica, mecánica de rocas y suelos, oceanográficos, meteorológicos, de corrientes marinas, de simulación de maniobrabilidad

de buques para determinar la ubicación del puerto y recinto portuario, sismotectónica, simulación de tsunami del Instituto de Ingeniería para determinar la altura máxima de la ola y el nivel mínimo de la obra, de Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) y estudio de riesgo entre otros. Se hicieron estudios y documentos de ingeniería para la localización más adecuada de la TARGNLM. Se concluyó que el sitio idóneo fue el canal Tepalcates, para lo cual fue necesario hacer un estudio de simulación de maniobrabilidad en una compañía especializada en Dinamarca.



Imagen 4. Vista satelital de sitios analizados para la TGNLM

En esta imagen satelital se aprecian los diferentes sitios que se analizaron para instalar la TGNLM en Manzanillo. En cada uno de ellos si hicieron todos los estudios correspondientes para efectuar diversas comparaciones y definir el sitio óptimo.

A continuación se presenta los arreglos de planta de algunos de ellos.

Después de definir como sitio idóneo el de Canal Tepalcates, se efectuaron los análisis para determinar si el puerto sería dentro de la laguna Cuyutlán o en el frente marino.

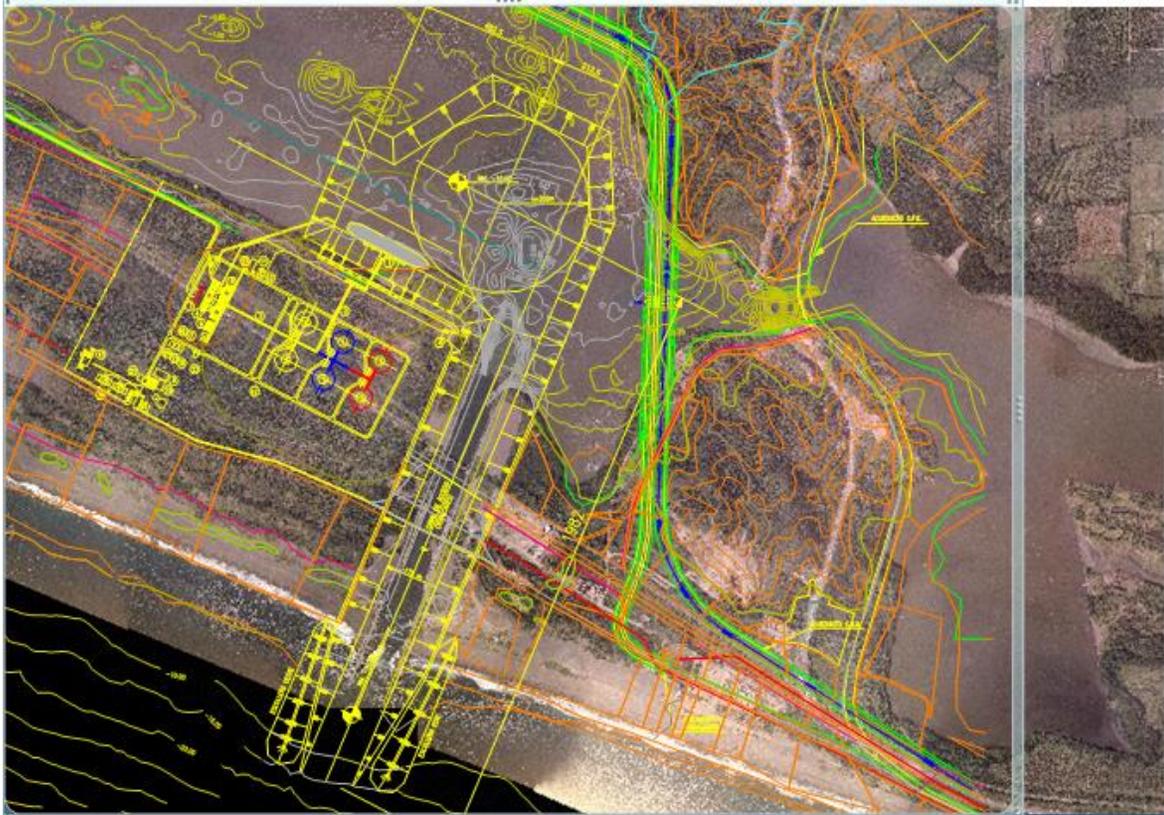


Imagen 7. Análisis en Canal de Tepalcates (1)

Características del proyecto del canal Tepalcates en Manzanillo

Comprende:

- La terminal marítima en el nuevo puerto de la laguna de Cuyutlán.
- La terminal de almacenamiento y regasificación de GNL.
- Las obras asociadas. La obra de reubicación de la infraestructura existente en el lugar de implantación de las terminales marítima y de GNL.
- Los proyectos asociados. Son los que están vinculados con la operación de la terminal de GNL, como la repotenciación de la central termoeléctrica de Manzanillo, el gasoducto de la terminal de gas natural licuado a la central termoeléctrica de Manzanillo y el gasoducto Manzanillo-Guadalajara.

Por la magnitud del proyecto se tuvo que llevar a cabo un acuerdo de coordinación, entre las entidades involucradas y el gobierno para realizar de manera coordinada las acciones de planeación, desarrollo, operación y ejecución del proyecto integral de Manzanillo.

En el proyecto integral se incluyeron 4 proyectos de repotenciación para Manzanillo, así como las centrales de ciclo combinado Guadalajara, en la región occidental del país. Estos proyectos utilizarán gas natural como combustible. En la siguiente tabla se muestran las fechas programadas para el inicio de la operación comercial de estos proyectos, así como la capacidad de generación de energía eléctrica que estos proyectos adicionaron al Sistema Interconectado Nacional en el periodo 2011-2015.

Proyecto	2011	2012	2013	2014	2015 -
Repotenciación Manzanillo I Unidad 1	758	758	758	758	758
Repotenciación Manzanillo I Unidad 2		758	758	758	758
Repotenciación Manzanillo II Unidad 1			758	758	758
Repotenciación Manzanillo II Unidad 2				758	758
Guadalajara I				446	446
Guadalajara II					446
Total MW instalados	758	1,516	2,274	3,478	3,924

Tabla 4. Proyectos de Repotenciación y Centrales de Ciclo Combinado.

Para el suministro de gas natural a estos proyectos, la empresa realizó los estudios técnico-financieros y determinó que la opción más rentable era mediante el establecimiento de una terminal de almacenamiento y regasificación de gas natural licuado en el sitio denominado Barra de Campos, localizado entre el vaso 2 de la laguna de Cuyutlán y el Océano Pacífico, involucrando el canal de Tepalcates, en el municipio de Manzanillo.

La terminal de gas natural licuado

Es el conjunto de instalaciones para la recepción, almacenamiento y regasificación de gas natural licuado que se construyó en la Laguna de Cuyutlán, Manzanillo, Estado de Colima, con una capacidad de recepción en el muelle de 12 000 m³/h de gas natural licuado.

La capacidad nominal de los 2 tanques de almacenamiento de GNL = 165 000 m³. y con área de maniobras de recepción de buques-tanque de GNL con capacidades de 70,000 m³ hasta 200,000 m³ de GNL.

La Terminal Marítima

Se construyó ampliando el canal de Tepalcates (comunicación actual del vaso II de la laguna de Cuyutlán con el océano pacífico). Se construyó, además dentro del vaso 2 de la misma laguna de Cuyutlán, la dársena de ciaboga y muelle de atraque y descarga de GNL.

Las principales obras para la terminal marítima que se realizaron fueron:

- Obras de dragado en el vaso II de la laguna de Cuyutlán y el canal de Tepalcates para la construcción del canal de acceso, dársena de ciaboga y muelle de atraque y descarga de GNL.
- Construcción de las estructuras de protección (escolleras y espigones) en el canal de acceso.
- Construcción de muelle de atraque y descarga de GNL.
- Obra de control hidráulico para regular el flujo hacia el vaso III.

Reubicación de la infraestructura existente en el lugar de implantación de las terminales (marítima y de GNL)

Para suministrar el combustible para la operación de los proyectos descritos en el POISE 2008-2017, la empresa requería comprar gas natural, y construir una terminal de GNL de uso particular. Para ello, fue necesario ejecutar las obras portuarias y modificar la siguiente infraestructura existente en la zona en donde se ubicó el proyecto:

- Reubicación del cruce del acueducto Colomo-CT Manzanillo.
- Reubicación del cruce del acueducto Armería- Manzanillo de la Comisión Nacional del Agua;
- Reubicación del cruce de los ductos de fibra óptica.
- Desvío de la vía de ferrocarril y de la carretera sobre la Barra de Campos.
- Demolición de puentes carretero y ferroviario sobre el canal de Tepalcates.

Se firmaron convenios de colaboración con los diferentes organismos y entidades administradoras y/o posesorias. En estos convenios se establecieron los requerimientos técnicos, jurídicos y legales para llevar a cabo la reubicación de la infraestructura existente en el lugar de implantación de las terminales, siendo estas: vías de ferrocarril, carretera estatal, ductos de agua potable y ductos de fibra óptica.



Imagen 10. Arreglo de Planta. Predios Aplicación Canal de Tepalcates

En éste arreglo de planta se observan los predios considerados para las obras principales de la TGNLM y la ampliación del canal Tepalcates para el acceso al interior de la laguna Cuyutlán de los buques metaneros.

Se realizó la construcción de escolleras y dragado ampliando el canal Tepalcates. La dificultad principal radicó en que el ferrocarril que transporta el 40% de los contenedores del puerto de Manzanillo y cruzaba el antiguo canal de Tepalcates, por lo que la vía tenía que relocalizarse, pero al mismo tiempo no se podía suspender el tránsito del ferrocarril. Así que, primero tuvo que construirse el desvío del ferrocarril y la carretera de la barra de Campos.

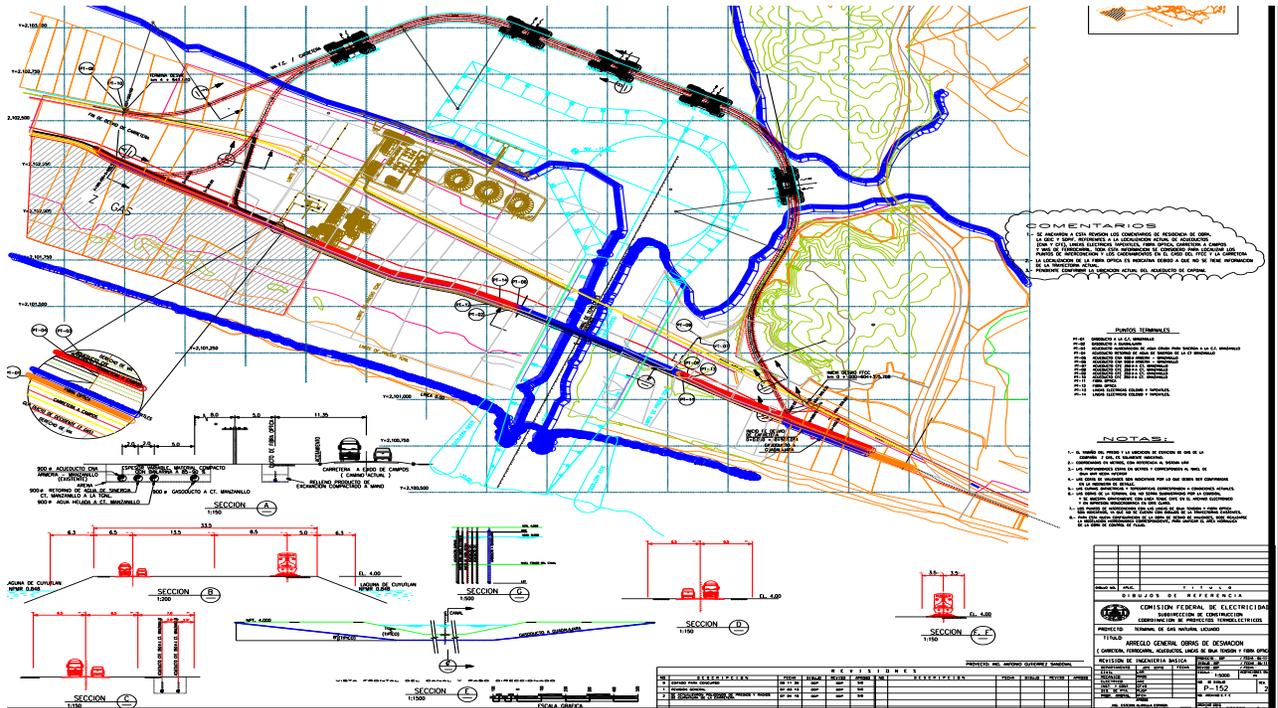


Imagen 11. Desvío Carretero y Ferrocarrilero en Propuesta Omega

En éste plano se observan las obras de desvío carretero y ferrocarrilero en una de las propuestas denominada "omega", así como el cruce direccionado para el gasoducto, acueductos y diversos cableados de potencia y de comunicación con el propósito que quedaran abajo del canal a menos de 18 metros del nivel del mar.



Imagen 12. Detalle de Trayectorias de los Cruces direccionados



Imagen 13. Diagrama de Flujo de una Planta de Regasificación

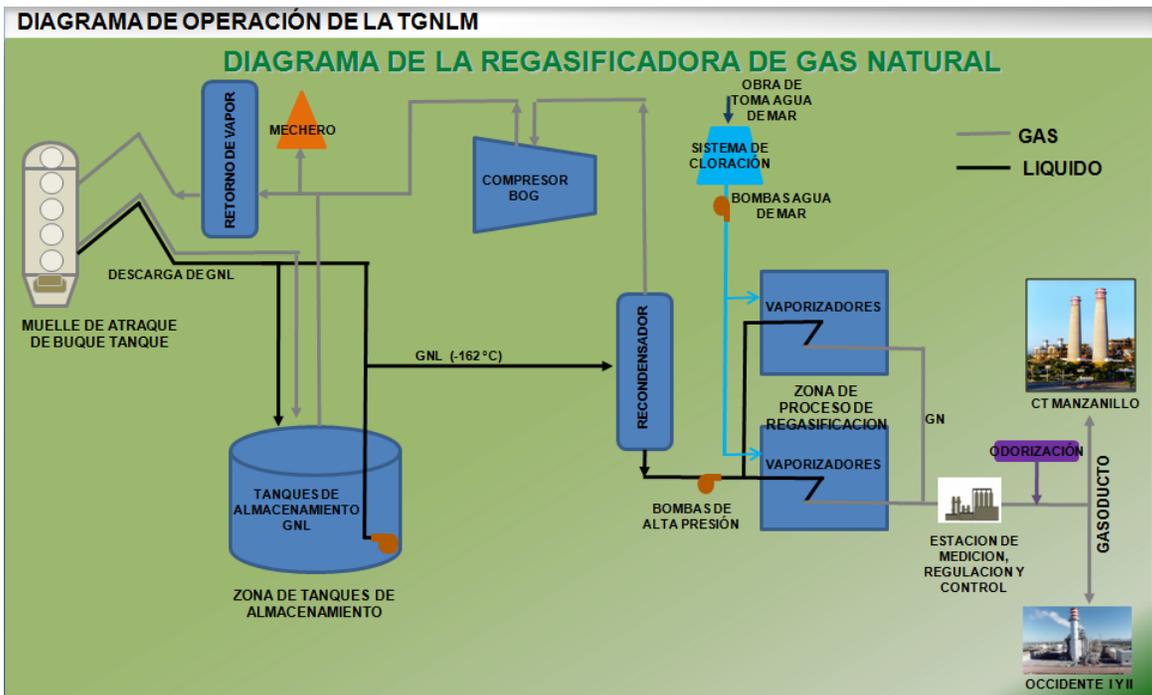


Imagen 14. Diagrama de Operación de la TGNLM

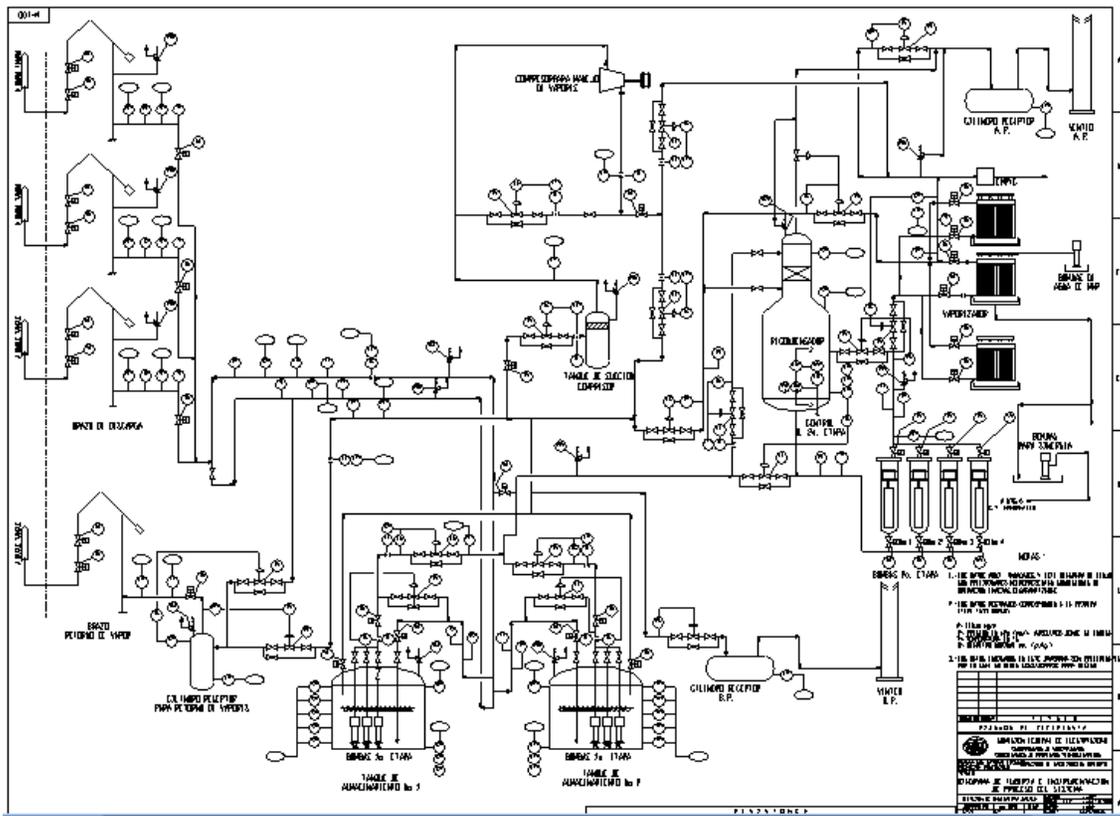


Imagen 15. Diagrama de Tubería e Instrumentación de las instalaciones de la TGNLM

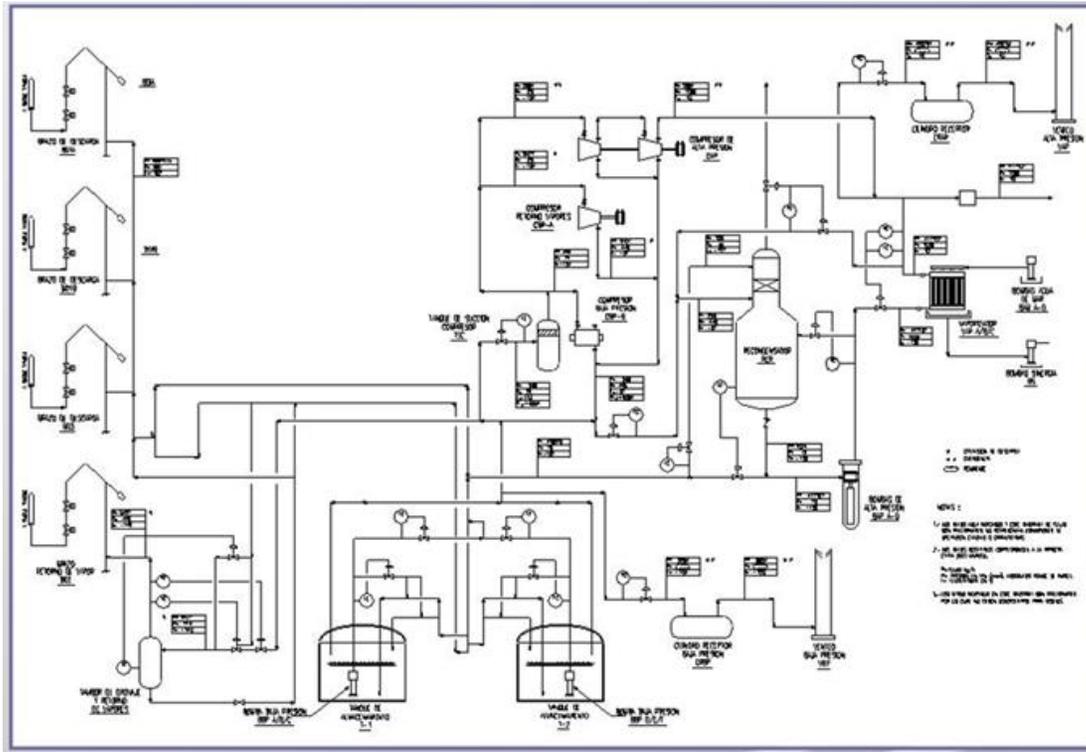


Imagen 16. Diagrama de Tubería e Instrumentación reducido

En el caso de la terminal de almacenamiento y regasificación de gas natural licuado de Manzanillo, la construcción consta de:

- Dos tanques de almacenamiento de 88.80 m de diámetro interior y 50 m altura con una capacidad de 150,000 m³ cada uno.
- Un muelle de atraque con 4 brazos de descarga, de los cuales dos son descarga, uno de retorno y uno en standby.
- Área de procesos
 - compresores
 - recondensador
 - vaporizadores
 - estación de medición, regulación y control de gas natural (EMR y C)
 - sistema contra incendio
 - rack de tuberías con diferentes diámetros
 - edificios varios
 - vialidades

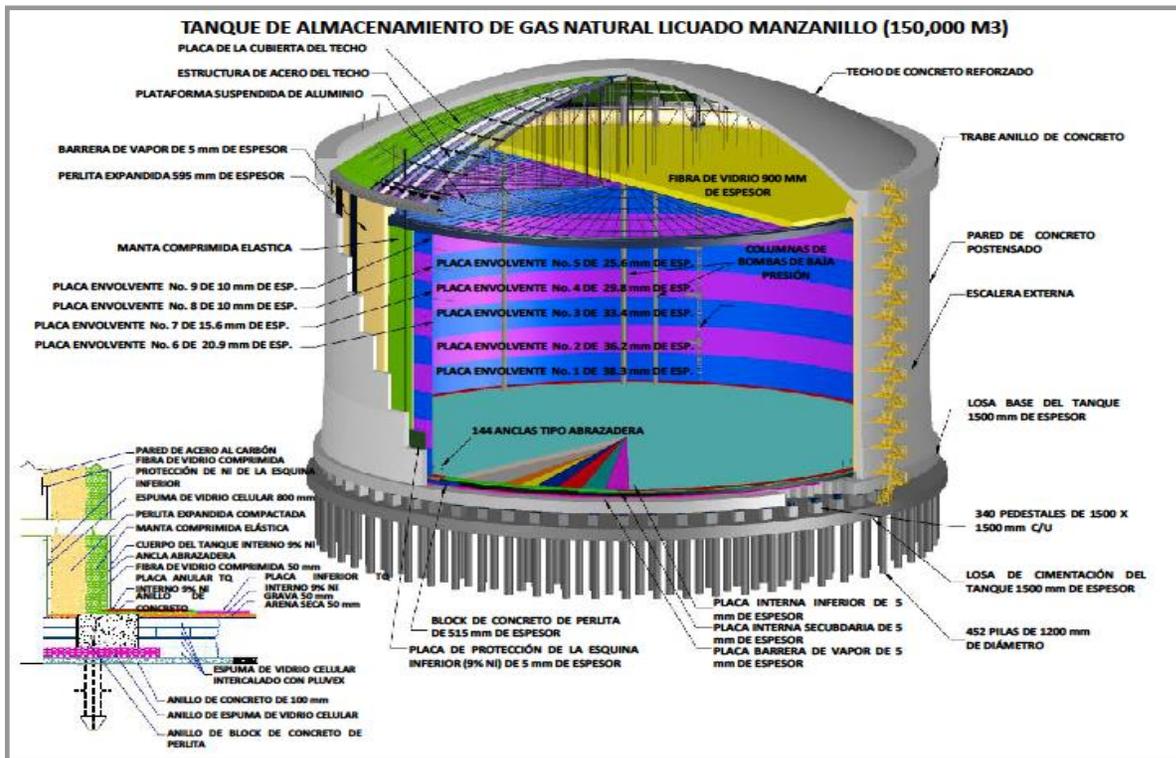


Imagen 17. Arreglo del Tanque de Almacenamiento del GNL



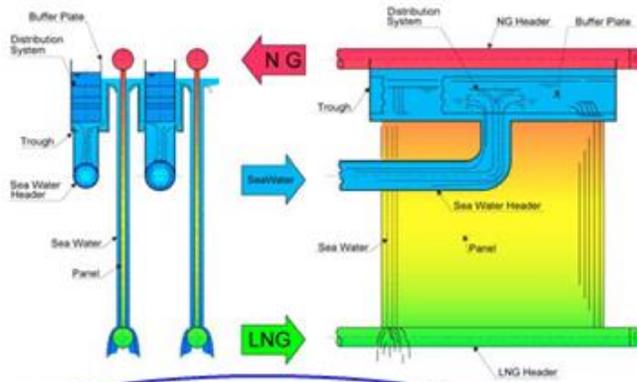
Fotografía 1. Tanques de Almacenamiento de GNL 1 y 2



Fotografía 2. Intercambiador de temperatura ORV

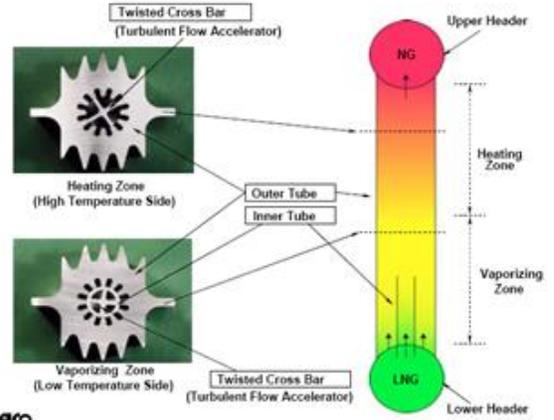
Intercambiador de temperatura conocido como Open Rack Vaporizer (ORV) para convertir GNL en GN utilizando agua cruda como elemento de transferencia de temperatura.

ORV Process



Maximum Water $\Delta T = 12\text{ K}$
 Minimum Outlet Water $T = 6\text{ }^\circ\text{C}$

Tube Structure



KOBELCO



KOBE STEEL, LTD.

Courtesy of Kobe Steel, Ltd.

Power Generation 5

Imagen 18. Diagrama funcional y de Estructura del Intercambiador de Temperatura ORV



Fotografía 3. Tanque de almacenamiento de GNL 1. Bajo supervisión.

El Tanque de Almacenamiento de GNL 1 y los Intercambiadores de temperatura ORV en la supervisión a la construcción y pruebas.

Brazos Descarga (Unloading Arm)



Fotografía 4. Brazos descarga

Compresor (BOG Compressor)



Fotografía 5. Compresor BOG

Recondensador (Recondenser)



Fotografía 6. Recondensador

Bomba Baja Presión (Secondary Pump)



Fotografía 7. Bomba Baja Presión

Vaporizador (Open Rack Vaporizer ORP)



Fotografía 8. Vaporizador ORP



Fotografía 9. Intercambiadores de Calor, Valvulas de Seguridad y Tanque de almacenamiento bajo Supervisión

Los intercambiadores de calor Open Rack Vaporizer (ORV), las válvulas de seguridad de GN y el Tanque de Almacenamiento de GNL, durante el trabajo de supervisión e inspección.



Fotografía 10. Características del Muelle

Todo el equipo de instrumentación de supervisión, control y operación de bombas sumergidas a prueba de explosión.



Fotografías 11 y 12. Interruptor eléctrico a prueba de explosión Clase I, División 1



Fotografía 13. Equipo a Prueba de Explosión Clase 1, División 1.

Equipo a prueba de explosión Clase I, División 1 de alimentación a las bombas sumergidas en el Tanque de Almacenamiento de GNL e instrumentos transmisores indicadores diversos.



Fotografía 14. Transmisor de Presión en Domo Superior del Tanque de Almacenamiento.



Fotografía 15. Alimentación Eléctrica Bomba Sumergida B.



Fotografía 16. TAGNLM 2 y TAGNLM 1 al fondo.

Fotografía en el TAGNLM 2 y en el fondo se aprecia el TAGNLM 1 con sus escaleras de acceso y pararrayos.

Sinergia

Como sabemos, la eficiencia y la potencia de una turbina de gas dependen de las condiciones atmosféricas. Lo más deseable es que la instalación de una turbina de gas sea en un sitio donde la temperatura ambiente sea menor o igual 15 °C, la presión atmosférica sea mayor o igual a la del nivel del mar.

El comportamiento de una turbina de gas se ve afectado por la variación de las condiciones atmosféricas, de la temperatura y humedad del aire que entra al compresor de la turbina de gas y a las condiciones de diseño que se aplican de las normas International Organization for Standardization (ISO), las cuales indican una temperatura ambiente de 15°C, humedad relativa del 60% y presión atmosférica a nivel del mar.

Como jefe de proyecto propuse que utilizáramos un sistema de enfriamiento aprovechando la baja temperatura del gas natural recién gasificado después del Open Rack Vaporizer (ORV) para enfriar el aire que entra a la turbina de gas, de tal forma que se tuviera una mayor eficiencia en la turbina. Esta propuesta se aprobó, por lo que se diseñó un sistema de enfriamiento que va de la terminal de almacenamiento y regasificación del gas natural al complejo termoeléctrico, con el fin de trabajar siempre bajo las condiciones ISO. Obteniendo 40 MW adicionales por cada turbina de gas gracias a la Sinergia.

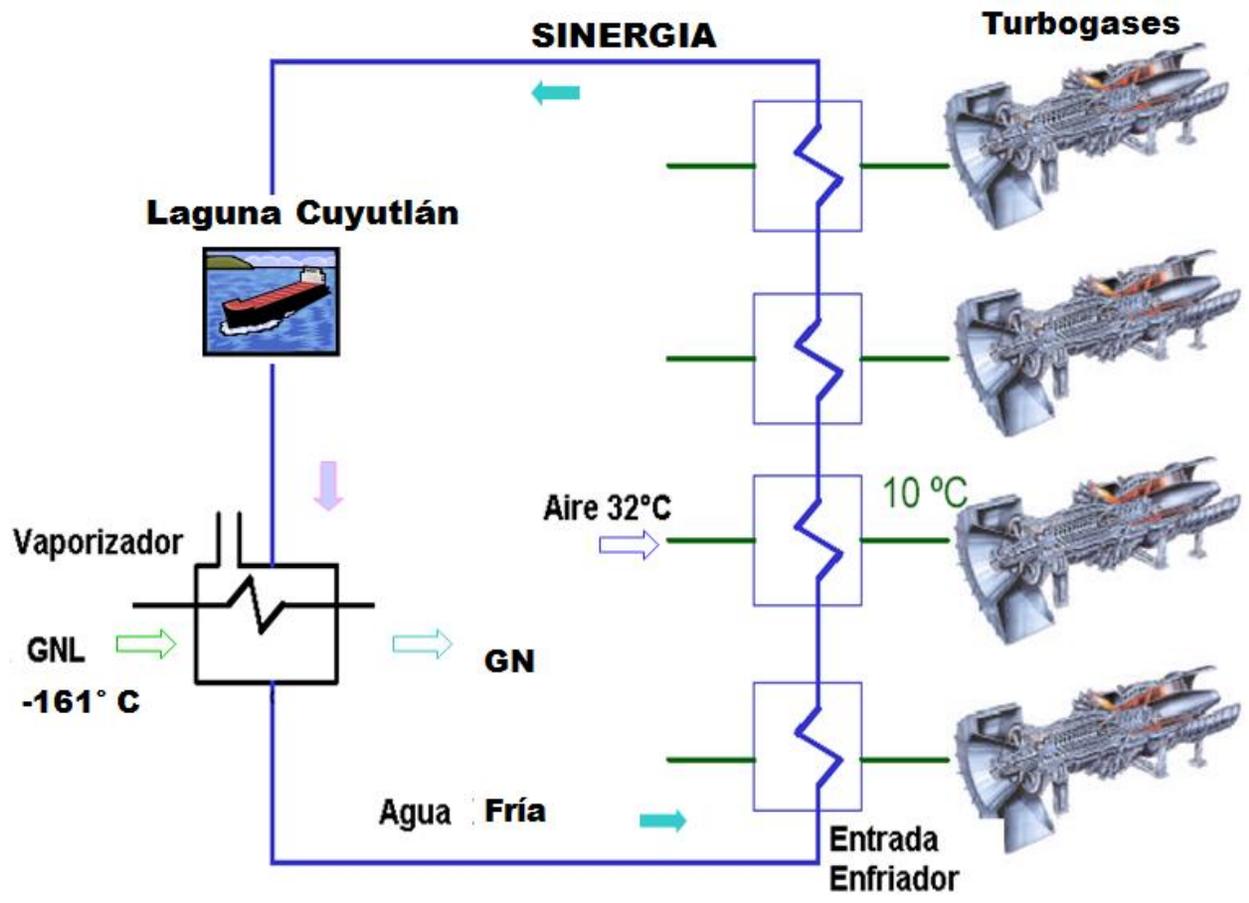


Imagen 19. Esquema de la Sinergia

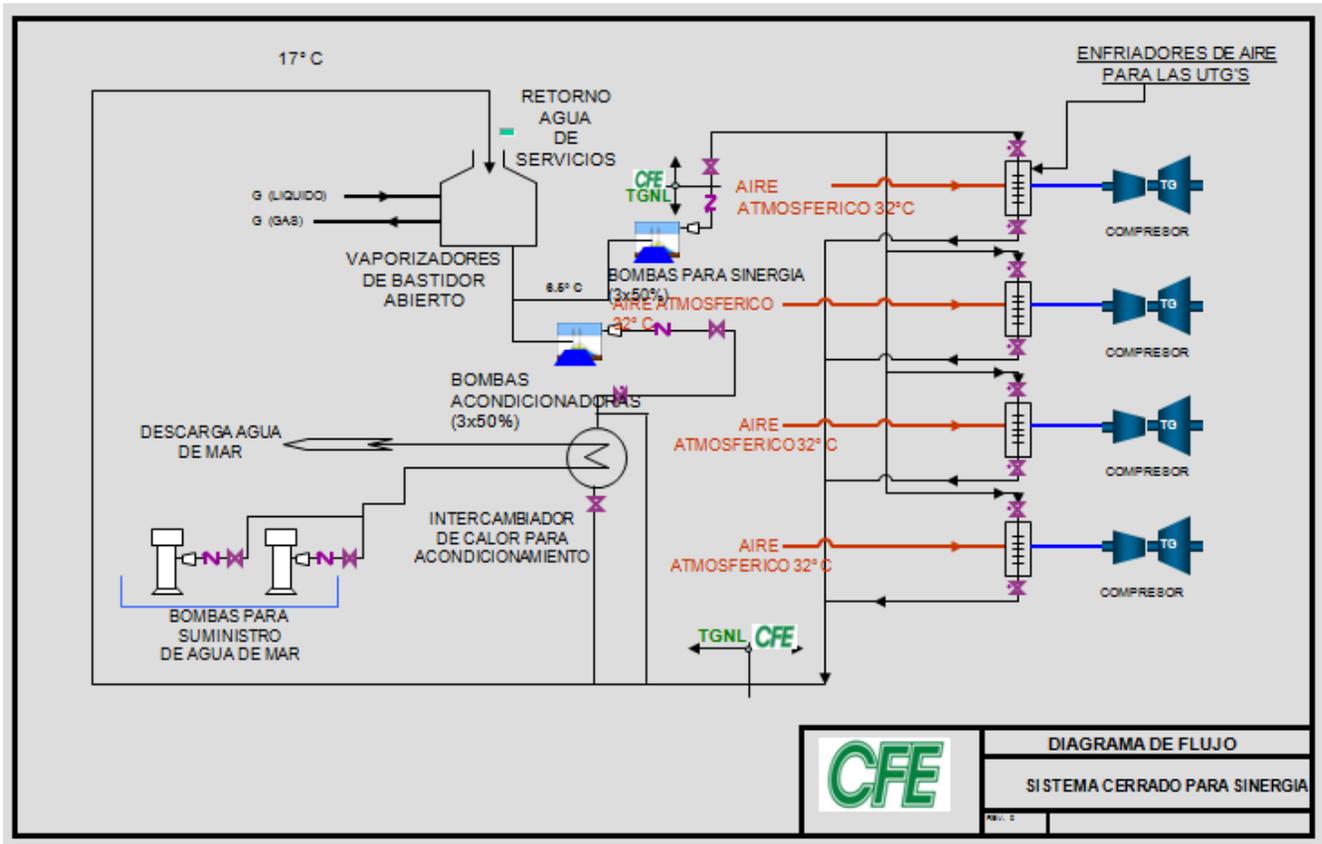


Imagen 20. Diagrama de Flujo. Sistema Cerrado Para Sinergia

Repotenciación de la central termoeléctrica de Manzanillo

Se realizó la Ingeniería Básica de la Especificación Técnica para determinar las características técnicas de la conversión a ciclo combinado con la conversión de combustóleo a gas natural.

El proyecto de repotenciación de la central termoeléctrica de Manzanillo, U1 y U2, considera la conversión a ciclo combinado de las unidades 1 y 2 de dicha central con una capacidad de cada unidad de 300 MW y consistirá en adicionar tres turbinas de gas por unidad, con sus respectivos generadores de vapor por recuperación de calor (GVRC) y que sustituyen al actual generador de vapor, con capacidad de 159 MW por turbina en condiciones ISO, para un total de $947.4 \pm 15\%$ MW de capacidad neta adicional en condiciones de verano. Cada par de turbogeneradores a gas producirán a través de los GVRC, una cantidad de vapor suficiente para producir 221.8 MW en cada turbogenerador a vapor existente en condiciones de verano y sin la utilización de fuego suplementario. La capacidad total del proyecto de repotenciación será de $1,391 \text{ mw} \pm 15\%$ que incluye las cuatro nuevos turbogeneradores a gas más los dos turbogeneradores a vapor existentes.



Fotografía 17. Laguna de Cuyutlán y Barra de Campos.

Vista panorámica de la Laguna de Cuyutlán y la Barra de Campos. En el primer plano se aprecia la central de generación ciclo Rankine.



Fotografía 18. CT Manzanillo I Unidades 1 y 2.

Antes de Repotenciar y Modernizar la CT Manzanillo I Unidades 1 y 2.



**Proyecto repotenciación Manzanillo, U1 y U2.
Potencia entregada 1432 MW.**

Fotografía 19. Potencia Entregada 1432 MW.

POTENCIA MW				
		ACTUAL	REPOTENCIADA	DIFERENCIA
MANZANILLO I	UNIDAD 1 *	300	706.7	1,413.4
	UNIDAD 2 * *	300	706.7	
	UNIDAD 3	300	300	
	UNIDAD 4	300	300	
SUBTOTAL		1,200	2,013.4	CT. MANZANILLO
MANZANILLO II	UNIDAD 1	350	350	
	UNIDAD 2	350	350	
	SUBTOTAL	700	700	
TOTAL DEL COMPLEJO		1,900	2,713.40	

TURBINAS DE GAS A CICLO ABIERTO TG-1, 2 Y 3 (156.23 MW) (468.7 MW)

TURBINAS DE VAPOR REPOTENCIADAS

* UNIDAD-1 (TV-1) TURBOGENERADORES (TG-1, 2, Y 3.) HRSG-1, 2, Y 3.

** UNIDAD-2 (TV-2) TURBOGENERADORES (TG-4, 5, Y 6.) HRSG-4, 5, Y 6.

Tabla 5. Potencia Central Termoeléctrica de Manzanillo en MW

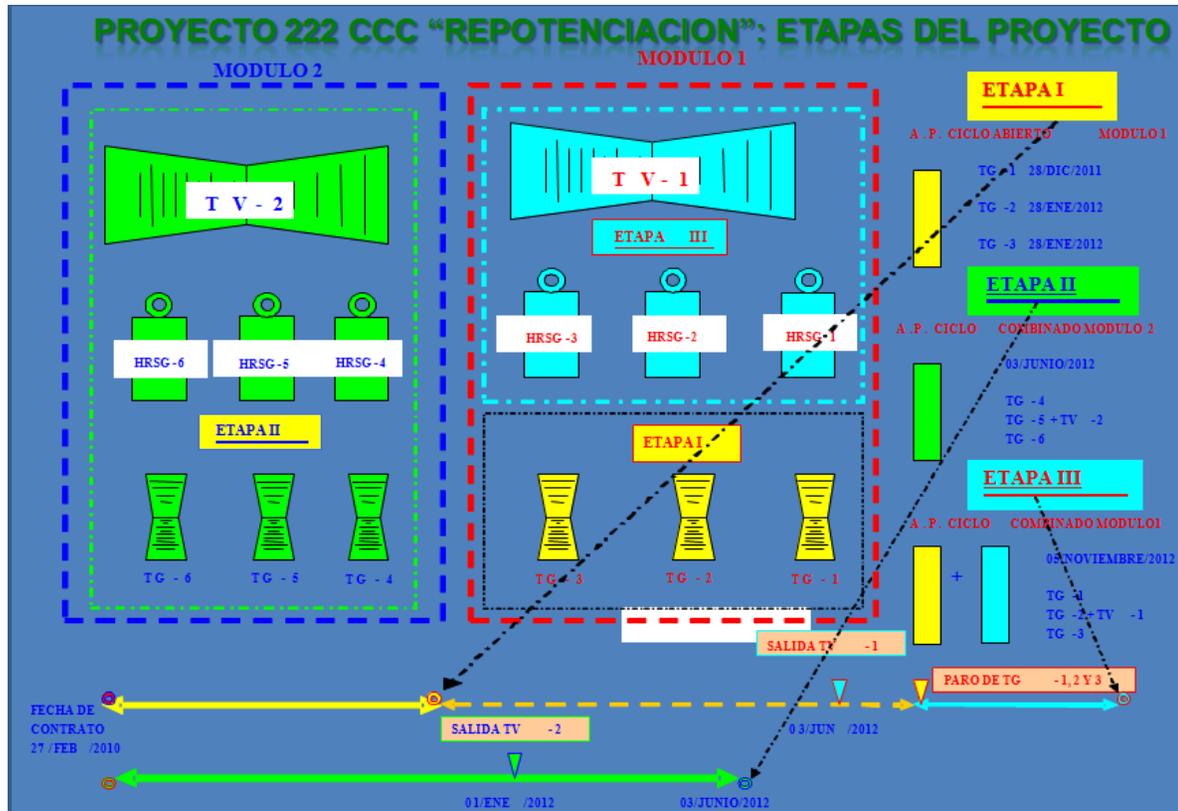


Imagen 21. Esquemático del Programa de Construcción de la Repotenciación y Modernización.

Gasoducto Manzanillo-Guadalajara

En complemento a los proyectos referentes al suministro de gas natural y servicio de recepción, almacenamiento y regasificación y con la finalidad de satisfacer la demanda de gas natural a las centrales generadoras de energía de la empresa, se requiere de gasoductos que transporten gas natural a las centrales termoeléctricas en Manzanillo, Colima y Guadalajara, Jalisco, así como al sistema nacional de gasoductos.

El gasoducto Manzanillo- Guadalajara se ubica en los estados de Colima y Jalisco y tiene una longitud total de 304 km. La trayectoria Manzanillo – Guadalajara inicia en el km 6+000 del cadenamamiento del proyecto para continuar por los municipios de Armería, Tecoman, Ixtlahuacán, Colima, cruza el límite estatal y entra al estado de Jalisco continuando por los municipios de Tonila, Tuxpan, Tamazula, Zapotiltic, Zapotlán, Gómez Farías, Sayula, Atoyac, Amacueca, Techolutla, Zacoalco de Torres, cruza la laguna de San Marcos y continua cruzando los municipios de Jocotepec, Ixtlahuacán, Juanacatlán, Tlajomulco, para llegar al punto de entrega en la interconexión al ducto de 36” de diámetro propiedad de PEMEX ubicado en el km 310+220. Este gasoducto interconecta a la central termoeléctrica Manzanillo, con las centrales Guadalajara I y II y a la estación del sistema nacional de gasoductos “El Castillo” en Guadalajara Jalisco.



Imagen 22. Diagrama del Gasoducto.



Imagen 23. Trazo del Gasoducto en Colima y Jalisco



Fotografía 20. Procesos del Gasoducto Manzanillo Guadalajara



Imagen 24. Ruta del Gasoducto Manzanillo Guadalajara.



Fotografía 21. Grupo de Trabajo para la Definición de la Ruta del Gasoducto Manzanillo Guadalajara.



Fotografía 22. Inspección contenedor de control de la Turbina de Gas Natural (GN) de la Repotenciación de Manzanillo I.

CONCLUSIONES

Durante mi intervención como coordinador en las actividades interdisciplinarias relacionadas con la ingeniería mecánica, eléctrica, civil, de protección ambiental y diseño de planta se logró modernizar una central termoeléctrica.

Cabe mencionar que también se requirió coordinara actividades de especialización de geotécnica, sismo tectónica, topográfica y batimetría, así como administrativas para obtener los permisos necesarios de autoridades locales, estatales y federales, en todas las etapas de diseño, construcción y puesta en servicio de los sistemas.

Para la parte administrativa se elaboró la ingeniería básica que deberían cumplir los licitantes internacionales con lo que fue posible asignar al licitante ganador. Se revisó la ingeniería de detalle de todo el proyecto y de todas las disciplinas correspondientes.

Este proyecto, también involucró el desarrollo de varios proyectos más, con sus licitaciones internacionales correspondientes para adquirir GNL en el mercado internacional, construir una terminal de almacenamiento y regasificación de este gas, repotenciar y modernizar una central de generación eléctrica, construir un gasoducto y reubicar instalaciones existentes.

Es preciso mencionar que para coadyuvar en la prestación de un servicio de energía eléctrica de mayor calidad, eficiencia y altamente confiable fue necesario contar con los conocimientos adquiridos en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Bibliografía

-Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento (LSPEE).

-Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) y Reglamentos en Materia de -Impacto Ambiental, Residuos Peligrosos, Prevención y Control de la contaminación, Atmósfera, Aguas y Ruido.

-Institute For Energy, Law & Enterprise. Descripción general del gas natural licuado (GNL), Sus propiedades, la industria del GNL y aspectos de seguridad. 2003

-Institute For Energy, Law & Enterprise. Sistemas de Seguridad y Protección de GNL. Octubre 2003.

Normas CRE:

-NOM-EM-013-SECRE 2004 Requisitos de Seguridad para el Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Terminales de Almacenamiento de GNL que incluyen sistemas, equipos e instalaciones de recepción conducción, vaporización y entrega de GN.

-NOM-001-SECRE 2003 Calidad del GN

-NOM-007-SECRE 1999 Transporte del GN

-NOM-006-SECRE 1999 Odorización del GN.

-NOM-009-SECRE 2002 Que establece el monitoreo, detección y clasificación de fugas de GN y Gas L.P. en ductos

-NOM-059-SEMARNAT -2001 – Protección Ambiental – Especies nativas de México de flora y fauna silvestres – categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – lista de especies en riesgo

-International Standards Organization (ISO)

ISO 13819-1 Petroleum and Natural Gas Industries-Offshore Structures, Part 1: General Requirements

-National Fire Protection Association (NFPA Publications)

NFPA 37 Standard for the Installation and Use for Stationary Combustion Engines and Gas Turbines

NFPA 54 National Fuel Gas

NFPA 57 Liquefied Natural Gas (LNG) Vehicular Fuel Systems Code

NFPA 59 A Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas (LNG)

-Instituto Nacional de Estándares Americanos. American National Standards Institute (ANSI)

-American National Standards for Piping, Pipe Flanges, Fittings and Valves.

-ANSI C2 serie C37: National Electrical Safety Code Circuit Breakers, Protection and Protective relays

Gráficas

Gráfica 1. Demanda vs Generación (2000-2005) Zona Occidental.....	7
Gráfica 2. Costo del Transporte.....	7
Gráfica 3. Balance de Gas Natural.....	9
Gráfica 4. Resultado del POISE.....	10

Tablas

Tablas 1 y 2. Centrales de Generación Nuevas (MW) y Centrales en Operación.....	11
Tabla 3. Comparación de las de las Propiedades de los Combustibles Líquidos	18
Tabla 4. Proyectos de Repotenciación y Centrales de Ciclo Combinado.....	26
Tabla 5. Potencia Central Termoeléctrica de Manzanillo en MW	50

Imágenes

Imagen 1. Programa Nacional Infraestructura.....	14
Imagen 2. Combustión e Inflamabilidad	18
Imagen 3. Cadena de Valor de GNL	19
Imagen 4. Vista Satelital de Sitios Analizados para la TGNLM	21
Imagen 5. Arreglo de Planta. Canal de Ventanas.....	22
Imagen 6. Arreglo de Planta. Canal de Tepalcates.....	22
Imagen 7. Análisis en Canal de Tepalcates (1)	23
Imagen 8. Análisis en Canal de Tepalcates (2)	24
Imagen 9. Análisis en Canal de Tepalcates (3)	24
Imagen 10. Arreglo de Planta. Predios Ampliación Canal de Tepalcates	28
Imagen 11. Desvío Carretero y Ferrocarrilero en Propuesta Omega	29
Imagen 12. Detalle de Trayectorias de los Cruces Direccionados	30
Imagen 13. Diagrama de Flujo de una Planta de Regasificación	30
Imagen 14. Diagrama de Operación de la TGNLM.....	31

Imagen 15. Diagrama de Tubería e Instrumentación de las instalaciones de la TGNLM.....	31
Imagen 16. Diagrama de Tubería e Instrumentación reducido	32
Imagen 17. Arreglo de Tanque de Almacenamiento del GNL.....	33
Imagen 18. Diagrama Funcional y de Estructura del Intercambiador de Temperatura.....	35
Imagen 19. Esquema de la Sinergia	46
Imagen 20. Diagrama de Flujo. Sistema Cerrado Para Sinergia	47
Imagen 21. Esquemático del Programa de construcción de la Repotenciación y Modernización.....	50
Imagen 22. Diagrama del Gasoducto.....	51
Imagen 23. Trazo del Gasoducto en Colima y Jalisco	52
Imagen 24. Ruta del Gasoducto Manzanillo Guadalajara.....	53

Fotografías

Fotografía 1. Tanques de Almacenamiento de GNL 1 y 2	33
Fotografía 2. Intercambiador de temperatura ORV	34
Fotografía 3. Tanque de almacenamiento de GNL 1 bajo supervisión.....	36
Fotografía 4. Brazos descarga	37
Fotografía 5. Compresor BOG	37
Fotografía 6. Recondensador	38
Fotografía 7. Bomba Baja Presión	38
Fotografía 8. Vaporizador ORG	39
Fotografía 9. Intercambiadores de Calor, Valvulas de Seguridad y Tanque de Almacenamiento bajo supervisión.....	39
Fotografía 10. Características del Muelle	40
Fotografías 11 y 12. Interruptor eléctrico a prueba de explosión Clase I, División 1	41
Fotografía 13. Equipo a Prueba de Explosión Clase 1, División 1	42
Fotografía 14. Transmisión en domo Superior del Tanque de Almacenamiento	43
Fotografía 15. Alimentación Eléctrica Bomba Sumergida B	44
Fotografía 16. TAGNLM 2 y TAGNLM 1 al fondo	44
Fotografía 17. Laguna de cuyutlán y Barra de Campos	48
Fotografía 18. CT Manzanillo I Unidades 1 y 2	49
Fotografía 19. Potencia Entregada 1432 MW.....	49
Fotografía 20. Procesos del Gasoducto Manzanillo_Guadalajara.....	52
Fotografía 21. Grupo de Trabajo para la Definición de la Ruta del Gasoducto Manzanillo Guadalajara	53
Fotografía 22. Inspección contenedor de control de la Turbina de Gas Natural (GN) de la Repotenciación de Manzanillo I.....	54