



ESTE DOCUMENTO CONTIENE INFORMACIÓN CONFIDENCIAL. SE ENTREGA ÚNICAMENTE AL DESTINATARIO CON EL OBJETIVO QUE SE ESPECIFICA EN LA CARTA DE ACOMPAÑAMIENTO. QUEDA PROHIBIDA LA TRANSMISIÓN Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL, SIN PERMISO ESCRITO DE TECNATOM, S.A.

E8. INFORME FINAL DETALLADO CON CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

EVALUACIÓN TÉCNICA DE PROYECTOS GESTIONADOS POR LA EMPRESA PÚBLICA DE HIDROCARBUROS DE ECUADOR

(LOTE 5) PROYECTO PLANTA DE LICUEFACCIÓN DE GAS NATURAL EN BAJO ALTO

CÓDIGO: ICC-TEC-L5-G-IN-002

REV.: 01

N.º Páginas: 20

Realizado	Revisado	Aprobado
		
E. Blanco Ingeniero On-site ICC-Tecnatom	Ingeniero de Calidad ICC-Tecnatom	Gerente del Consorcio ICC-Tecnatom
Iniciales, Firma y Fecha	Iniciales, Firma y Fecha	Iniciales, Firma y Fecha

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	3
2	OBJETIVOS DE LA CONSULTORÍA	8
2.1	OBJETIVO GENERAL	8
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
3	GLOSARIO.....	9
4	DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA	11
5	PRINCIPALES NORMAS Y ESTÁNDARES INTERNACIONALES EMPLEADOS	11
6	CONCLUSIONES DE LA CONSULTORÍA.....	13
6.1	RAZONABILIDAD DE COSTOS INVERTIDOS VERSUS LO PROGRAMADO Y LOS BENEFICIOS OBTENIDOS	13
6.2	ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES EN LAS PLATAFORMAS.....	14
6.3	ANÁLISIS DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO INICIAL Y ACTUAL PARA LA OPERACIÓN DE LA PLANTA	15
6.4	APROVECHAMIENTO DEL GAS DE REGENERACIÓN O RECHAZO.....	15
6.5	SISTEMA DE CAPTACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA DE ENFRIAMIENTO Y PARA EL SISTEMA CONTRA INCENDIO	16
6.6	SISTEMA DE <i>BOIL – OFF GAS</i>	16
6.7	AUMENTO HASTA LA PRODUCCIÓN DE DISEÑO DE LA PLANTA.....	16
6.8	PLAN DE RIESGOS Y PLAN DE EMERGENCIAS.....	17
6.9	IMPACTO AMBIENTAL.....	18
6.10	ENTORNO ORGANIZATIVO	19
7	TIEMPOS Y COSTOS ESTIMADOS PARA LA REMEDIACIÓN	19

1 INTRODUCCIÓN

La Planta de Licuefacción de Gas Natural de Bajo Alto, ubicada en la Provincia del Oro, República del Ecuador, tiene como función procesar y transformar a estado líquido el gas natural proveniente del Campo Amistad ubicado en el Golfo de Guayaquil, para optimizar su transporte. El Gas Natural Licuado (GNL) producido es despachado en camiones cisterna a los clientes industriales de diferentes puntos del país. Dicha planta se enmarca en las de pequeña escala a nivel de producción según el estándar internacional de IGU.

El Gobierno del Ecuador, a través del actual Ministerio de Energía y EP Petroecuador, ha identificado la necesidad de fortalecer la gestión técnica y financiera de varios proyectos hidrocarbúricos estratégicos para el país. Para ello, el Gobierno ha solicitado la cooperación del PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo), a fin de llevar adelante la contratación de una evaluación técnico-económica conducida por el consorcio ICC-TECNATOM para responder, los siguientes interrogantes clave:

PREGUNTA	INFORME ASOCIADO
1 ¿Se planificó, diseñó y construyó de acuerdo con los estándares internacionales?	E1 - Informe detallado de la evaluación técnica – operacional.
2 ¿Los costos de implementación del proyecto fueron acordes a los precios de mercado?	E6 - Informe de la razonabilidad de los costos efectuados en la Planta de GNL.
3 En caso de encontrar desviaciones respecto a los estándares internacionales, ¿Cuáles son las soluciones por implementar?	E3 - Informe de Análisis de Alternativas de mejoramiento y recomendaciones. E7 - Informe de los costos y tiempos estimados para la implementación de las soluciones técnicas recomendadas para lograr operación eficiente y confiabilidad.

Además, se han realizado las siguientes evaluaciones:

- Problemática ambiental en operación de la instalación y cumplimiento actual de la Normativa Ecuatoriana. (E4. Informe de Evaluación del Impacto Ambiental).
- Impacto Ambiental de las Soluciones Propuestas. (E4. Informe de Evaluación del Impacto Ambiental).
- Entorno organizativo de la planta. (E5. Informe de Evaluación del Entorno Organizativo).
- RBI, Planes de Prevención de Riesgos y de Emergencias de la planta. (E2. Informes de la Inspección Basada en Riesgos).

El presente INFORME FINAL DETALLADO CON CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES, hace un resumen sobre la problemática técnica y operativa que actualmente presenta la planta, emite las conclusiones a las cuales se ha llegado después de una evaluación técnica y operacional, presenta las soluciones a implementar para que la planta pueda alcanzar el 100% de su capacidad de diseño y operación cumpliendo con todos los estándares y normas internacionales y estima los costos y tiempos de ejecución para cada una de las remediaciones.

Adicionalmente presenta los resultados de un análisis de los costos de inversión realizados en la línea del tiempo para la ingeniería, construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento, al igual que las remediaciones ya ejecutadas.

Los detalles, análisis y fundamentos para lo expuesto en este informe se encuentran en las referencias citadas en la sección 4 de este documento. A continuación, se muestra una tabla resumen (Tabla 1) con las principales conclusiones y soluciones propuestas a cada uno de los tópicos incluidos dentro del alcance de la consultoría:

Tabla 1: Principales Conclusiones y Soluciones Propuestas

TÓPICOS ¹	CONCLUSIÓN	SOLUCIÓN ²	ESTÁNDAR	COSTO APROX. USD ³	TIEMPO IMPLEMENTACIÓN / PARADA ⁴
Baja producción de la Planta	Mal funcionamiento del sistema de protección automática ante paradas no programadas.	Cambiar el Sistema <i>Anti- Surge</i> .	Experiencia Operativa	\$ 100.000	60 días / 2 días

¹ Ver Secciones a partir de la 6 de este informe.

² Ver Informe E-3

³ Ver Informe E-7

⁴ Ver Informe E-7

TÓPICOS ¹	CONCLUSIÓN	SOLUCIÓN ²	ESTÁNDAR	COSTO APROX. USD ³	TIEMPO IMPLEMENTACIÓN / PARADA ⁴
Análisis del suministro eléctrico inicial y actual para la Operación de la Planta.	Alimentación principal y respaldo no fiables. Generadores de gas instalados no rinden adecuadamente por ser diésel convertidos.	Instalar Motores de Gas nuevos y relé de transferencia rápida.	ISO 3.046 8.528 IEC 34 IEC 439 y 60.034-1 IEEE 115 VDE 0530	\$ 8.906.000	306 días / 25 días
Gas de Regeneración o Rechazo. Alternativas para su aprovechamiento	El gas de rechazo generado es adecuado para utilizarlo como combustible en nuevos motores de gas. Actualmente, este gas se está desperdiciando, quemándolo a través de la antorcha.		NEMA IEC-439 IEEE-115. NFPA 59A		
Hidrocarburos pesados del gas natural recibido procedente de la planta de Petroamazonas.	Los hidrocarburos pesados se congelan en la caja fría, causando una pérdida de eficiencia de ésta y disminuyendo la disponibilidad anual de planta. La cantidad de hidrocarburos que se congelan es función de la producción de GNL	Instalar Torre de Separación de Pesados.	NFPA 59 A UNE-EN-1473 Sumado a la Experiencia Operativa	\$ 1.000.000	120 días / 2 días

TÓPICOS ¹	CONCLUSIÓN	SOLUCIÓN ²	ESTÁNDAR	COSTO APROX. USD ³	TIEMPO IMPLEMENTACIÓN / PARADA ⁴
Asentamientos diferenciales en las plataformas	<p>Incumplimiento del Código Ecuatoriano de la Construcción en lo referente a la sismicidad del terreno.</p> <p>Ausencia de las actuaciones de preparación del terreno necesarias, incluida la realización de un Informe Geotécnico de detalle.</p> <p>Mal diseño y/o ejecución de rellenos y cimentaciones.</p>	<p>Continuar con los monitoreos de asentamientos y analizar sus resultados para dimensionar adecuadamente las obras de reparación y recimentación.</p> <p>Reconstruir el perímetro de las losas con pilotes unidos por viga de cabeza de amarre e intercalar columnas de grava, así como demoler y reconstruir la losa dañada.</p> <p>Realizar la Remediación Mecánica de los elementos de interconexión.</p>	<p>NEC-SE-GC, Geotecnia y Cimentaciones</p> <p>EUROCÓDIGO 7. Proyecto geotécnico</p>	\$ 6.950.000	222 días / 150 días
Análisis del Sistema de <i>Boil-off</i> gas	<p>La gestión del BOG en la carga de las cisternas es correcto, pero posteriormente no se recupera ni se reinyecta a la entrada de la caja fría.</p>	<p>Recuperar el BOG originado durante la carga de Cisternas. Instalar una derivación de tubería hasta colector de <i>Boil--off</i>.</p>	Experiencia Operativa	\$ 100.000	14 días / 1 día

TÓPICOS ¹	CONCLUSIÓN	SOLUCIÓN ²	ESTÁNDAR	COSTO APROX. USD ³	TIEMPO IMPLEMENTACIÓN / PARADA ⁴
Análisis del Sistema de captación y tratamiento de agua	Mantenimiento inadecuado de la PTA. El sistema de agua ha permanecido sin tratamiento químico prácticamente desde el inicio de operación de la planta	Puesta en Marcha de la PTA, acopio y utilización de los productos químicos de tratamiento correspondientes y realizar las operaciones de mantenimiento según diseño.	<i>Reference Document on the application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems - December 2001. European Commission.</i>	\$ 10.000	30 días / 0 días

2 OBJETIVOS DE LA CONSULTORÍA

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la situación actual de la infraestructura e instalaciones y las condiciones actuales de operación de la Plata de Licuefacción de Gas Natural de Bajo Alto, debido a que la producción no alcanza el 100% de su capacidad. Dicha evaluación se ha realizado mediante la revisión de la documentación suministrada por el PNUD, así como el análisis y estudio de datos obtenidos en la visita a la propia instalación, realizada el 25 de septiembre de 2018, y por medio de otras herramientas como estudios comparados y *benchmarking* a fin de determinar si la planta en la actualidad cumple con estándares internacionales⁵.

Así mismo, plantear soluciones a los problemas encontrados con el fin de lograr que alcance el nivel de producción de diseño, indicando el costo aproximado de las mismas y el tiempo de implementación necesario, detallando el tiempo de parada de planta. Todas las soluciones propuestas se enmarcan en los estándares internacionales correspondientes y minimizando, en la medida de lo posible, el impacto ambiental global de la instalación.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la razonabilidad de los costos invertidos frente a los programados, así como los beneficios obtenidos.
- Analizar los asentamientos diferenciales en las plataformas.
- Analizar el suministro eléctrico inicial y actual para la operación de la planta.
- Analizar alternativas para el aprovechamiento del gas de regeneración o de rechazo.
- Analizar el sistema de captación y tratamiento de agua para enfriamiento y para el sistema contra incendios.
- Analizar el sistema de *Boil-off gas*.
- Revisar la filosofía de operación, los procesos y el dimensionamiento de equipos rotativos y estáticos para alcanzar la producción de diseño de la planta.
- Evaluar el plan de riesgos y el plan de emergencias existentes.
- Evaluar el entorno organizativo a través los procedimientos de operación y mantenimiento, gestión del cambio, planes de mantenimiento e inspecciones y su cumplimiento, análisis de integridad mecánica, competencias del personal relacionado con la operación, mantenimiento y confiabilidad de la Planta.

⁵ La identificación de los estándares utilizados se presenta en la sección 5 de este informe

3 GLOSARIO

- **Análisis FMEA (*Failure Mode Affects Analysis*):** Técnica para identificar los peligros asociados a los equipos de un planta de procesos.
- **Análisis RAMS (*Reliability, Availability, Maintainability and Safety*):** Ayuda a la toma de decisiones para disminuir los costes derivados de las necesidades de parada y labores de mantenimiento.
- **ARCH:** Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero
- **Benchmarking:** Proceso de toma de "comparadores" a aquellos productos, servicios y procesos de trabajo que pertenezcan a organizaciones que evidencien las mejores prácticas sobre el área de interés, con el propósito de transferir el conocimiento de las mejores prácticas y su aplicación.
- **Boil-Off Gas:** (BOG) Gas evaporado en terminales de GNL.
- **CAPEX:** *Capital Expenditure*. Inversiones de capital que crean beneficios.
- **COF (*Consequence of Fail*):** Consecuencia del Fallo.
- **DINAPA:** Dirección Nacional de Protección Ambiental.
- **EERA (*Escape, Evacuation, and Rescue Analysis*):** Análisis de escape, evacuación y rescate en la planta.
- **EPC:** *Engineering, Procurement and Construction*. Ingeniería, Procura y Construcción.
- **EsIA:** Estudio de Impacto Ambiental.
- **ESD:** *Emergency Shutdown Device*. Dispositivo de parada de Emergencia.
- **FAT:** *Factory Acceptance Tests*.
- **FHA (*Fire Hazard Analysis*) y Estudio de Alcance de Consecuencias (EAC):** Proceso de identificación y evaluación de incendios.
- **GEI:** Gases de Efecto Invernadero.
- **GNL:** Gas Natural Licuado.
- **HAZAN (*Hazard Analysis*) y QRA (*Quantitative Risk Assessment*):** Identificación de Riesgos y Evaluación numérica de las consecuencias.
- **HAZID (*Hazard Identification*):** Identificación del Riesgo.
- **HAZOP (*Hazards and Operability*):** Identificación de los peligros en la operación de la planta.
- **Indicador:** son hechos o expresiones concretas y cuantificables cuyos valores nos permiten medir la idoneidad, la eficacia y la eficiencia de la consultoría.
- **KPI: (*Key Performance Indicator*),** indicador clave o medidor de desempeño o indicador clave de rendimiento, es una medida del nivel del rendimiento de un proceso.
- **LNG:** *Liquefied Natural Gas*. Ver GNL.

- **MAE:** Ministerio del Ambiente del Ecuador.
- **Mapa de procesos:** Representación gráfica del flujo de actividades necesarias para la realización de un proceso.
- **Matriz de evaluación:** Soporte metodológico de la consultoría, en la que se representan alcances, criterios, unidades de medida, fuentes o referencias y el comentario de consultor, así como los indicadores de progreso de cada uno de ellos.
- **OBE:** *Operating Basis Earthquake.*
- **O&M:** Operación y Mantenimiento.
- **POF (*Probability of Fail*):** Probabilidad de Fallo.
- **PTA:** Planta de Tratamiento de Agua.
- **QRA:** *Quantitive Risk Assessment.*
- **RBI (*Risk Based Inspection*):** Inspección Basada en Riesgos.
- **RSRAOHE:** Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador.
- **SAI:** Sistema de Alimentación Ininterrumpida. Sistema compuesto por baterías de alta capacidad que permite mantener la frecuencia y tensión de la red durante un tiempo limitado.
- **SAT:** *Site Acceptance Tests.*
- **SIL (*Safety Integrity Level*):** Estudio de riesgos aplicado a los sistemas de control.
- **SMR:** *Single Mixed Refrigerant.* Proceso de licuefacción basado en un ciclo único con mezcla de refrigerantes.
- **SSE:** *Safe Shutdown Earthquake.*
- **SSLNG:** *Small Scale Liquefied Natural Gas.* Plantas de pequeña escala de licuefacción de gas natural. Se definen como aquellas plantas con una producción anual inferior a 1 Mtpa.
- **SRS (*Safety Requirement Specifications*):** Sistemas Instrumentados de Seguridad.
- **SUIA:** Sistema Único de Información Ambiental.
- **SVA (*Security Vulnerability Analysis*):** Análisis de la vulnerabilidad y acceso a la seguridad de la planta.
- **Tea:** Estructura que maneja en forma segura y controlada los gases que se generan en la operación. Conocida también como antorcha.
- **TMD:** Toneladas Métricas Día.
- **Tpa:** *Tons per annun.* Toneladas anuales, referidas a la producción de GNL de una planta de licuefacción.
- **WPI:** Worley Parsons International.

4 DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA

A lo largo de la consultoría de evaluación de la Planta de Licuefacción de Gas Natural de Bajo Alto, el consorcio ICC-Tecnatom ha elaborado los siguientes informes, basados en la documentación proporcionada por el PNUD, estudios y estándares internacionales, que han sido básicos para la elaboración del presente documento final:

- **ICC-TEC-L5-G-IN-003.** E1. Informe detallado de la evaluación técnica-operacional.
- **ICC-TEC-L5-G-IN-004.** E2. Informes de los RBI – Sistema de Seguridad Industrial. ICC-Tecnatom.
- **ICC-TEC-L5-G-IN-005.** E3. Informe de análisis de alternativas de mejoramiento y recomendaciones.
- **ICC-TEC-L5-G-IN-006.** E4. Informe de evaluación de impacto ambiental antes y después de la rehabilitación.
- **ICC-TEC-L5-G-IN-007.** E5. Informe de evaluación del entorno organizativo.
- **ICC-TEC-L5-G-IN-008.** E6. Informe de la razonabilidad de costos efectuados en la planta de GNL.
- **ICC-TEC-L5-G-N-009.** E7. Informe de los costos y tiempos estimados para la implementación de las soluciones técnicas recomendadas para lograr la operación eficiente y confiabilidad.

5 PRINCIPALES NORMAS⁶ Y ESTÁNDARES INTERNACIONALES EMPLEADOS

- **ACI-318**, *Building code requirements for structural concrete.*
- **AISC 360-05**, *Specification for structural steel buildings.*
- **ALPEMA**, Asociación de fabricantes de Intercambiadores de calor de Placas y Aletas en Aluminio y Bronce.
- **ANSI**, *American Standard Society Institute*
- **ANSI/ISA-101.01-2015**, “Human Machine Interfaces for Process Automation Systems”, International Society of Automation, 2015.
- **API 2.021**, *Fighting Fires in and Around Petroleum Flammable and Combustible Liquid Atmospheric Storage Tanks.*
- **API 2.030**, *Guidelines for application of Water Spray Systems for fire protection in the Petroleum Industry.*
- **API 510**, Inspección de recipientes a presión.

⁶ Las normas y estándares internacionales empleados en materia de Impacto Ambiental están consignados en el informe ICC-TEC-L5-G-IN-006, “E4: Informe de Evaluación de Impacto Ambiental Antes y Después de la Rehabilitación”.

- **API RP 520**; Dimensionamiento, selección e instalación de Dispositivos de alivio de presión.
- **API 521**, *Guide for Pressure Relieving and Depressurizing Systems*
- **API 570**, Inspección de tuberías. Alteración e integridad.
- **API 571**, Mecanismos de Daño que Afectan Equipamiento Fijo en la Industria de Refinación.
- **API 572**, Inspección de Recipientes a Presión.
- **API 574**, Prácticas para Inspección de Tuberías
- **API 579-1**, *Fitness for Service*.
- **API 580**, *Risk Based Inspection*.
- **API RP 580**, *API Recommended Practice 580, Risk-Based Inspection*.
- **API PUB-581**, *Risk-Based Inspection Technology. Part 1*.
- **API 616**, Turbinas a Gas
- **API 620**, Diseño y construcción de tanques de almacenamiento de baja presión.
- **API 625**, Diseño y Construcción de tanques de almacenamiento de gases licuados refrigerados.
- **API 660**, Intercambiadores de Calor Carcasa y Tubos.
- **ASCE 7**, *Minimum design loads for building and other structures*
- **ASME SECT. VIII, Sect. V & Sect. IX**, *ASME Pressure Vessel Code*.
- **ASME B31.3**, Tuberías de Procesos.
- **ASME B31.5**, Tuberías de Refrigeración.
- **ASTM**, *American Society of Testing Materials*.
- **AWS**; *American Welding Society*.
- **CGA P-18**, *Compressed Gas Associated*. Fluidos Criogénicos Inertes.
- **CPE INEN 5**, Código de práctica ecuatoriano Parte 1:2.001.
- **CSA B51**, *Canadian Estándar Association*. Código para Calderas y recipientes y tuberías de presión.
- **CTE**, Código técnico de la edificación (España)
- **EHE-08**, Instrucción de hormigón estructural (España)
- **Eurocódigo 7** Proyecto geotécnico.
- **IEEE Std 1159-2009**: *Recommended Practice for Monitoring Electric. Power Quality*.
- **ISO 11064**, "Ergonomic design of control centers", International Organization for Standardization, 2000.
- **ISO 30401:2018**. *Knowledge management systems*.

- **Merkblatt Code**, *Pressure Vessel Code* (Alemania).
- **NEC**, *National Electrical Code*.
- **NEC-SE-GC**, Geotecnia y cimentaciones.
- **NFPA 20**, *Standard for Installation of stationary pumps for fireprotection*.
- **NFPA 30**, *Flammable and Combustible Liquids Code*.
- **NFPA 37**, Norma para la Instalación y uso de Motores de combustión estacionarios y Turbinas a Gas.
- **NFPA 59A**, Standard for the production, storage, and handling of Liquefied Natural Gas (LNG).
- **NFPA 72**, *Standard for Automatic Fire Detection*.
- **PPA AP-907-001**, *Procedure Process Description*.
- **TEMA**, Asociación de Fabricantes de Intercambiadores de calor.
- **UNE 60.201**, Plantas Satélite de Gas Natural Licuado (GNL).
- **UNE-EN-1.473**, Instalaciones y equipos para Gas Natural Licuado. Diseño de las instalaciones.

6 CONCLUSIONES DE LA CONSULTORÍA

6.1 RAZONABILIDAD DE COSTOS INVERTIDOS VERSUS LO PROGRAMADO Y LOS BENEFICIOS OBTENIDOS

La especificación técnica de la licitación⁷ no tuvo en cuenta todas las variables necesarias para el proyecto, por lo el diseño de ROS ROCA INDOX CRYO ENERGY fue inadecuado e incompleto. Adicionalmente la construcción fue incompleta y muy deficiente debido a que no se tuvieron en cuenta las características geológicas del suelo. Por ello se concluye que **no se especificó, diseñó ni construyó según los estándares internacionales**.

Aunque el presupuesto inicial y el monto económico ofertado por Ros Roca Indox Cryo Energy pudieran parecer acordes a inversiones similares del mercado para este tipo de plantas, la incompletitud de la especificación técnica de licitación, el incorrecto diseño de ingeniería y la mala ejecución del proyecto dieron como resultado sobrecostos adicionales, concluyendo que la inversión final es muy superior a lo aceptable comparándolo con plantas similares. Todo ello consecuencia del limitado número de empresas que participaron en el proceso de licitación y por ende la precariedad de la evaluación técnico económica de las soluciones presentadas.

⁷ Concurso Público No.2308-PCO-GRN-PEP-2008.

Tras la adjudicación del contrato principal y la realización de parte de él, se amplió el presupuesto dado que faltaban varios sistemas o elementos necesarios, lo que demuestra que el diseño fue incompleto.

Atendiendo a los costos de las remediaciones, a los contratos de fiscalización y a la compra de equipos extra, se concluye que éstos han sido injustificadamente elevados, ya que existe un sobre costo del 33,12% entre lo planteado en los pliegos de la licitación pública y lo finalmente pagado. Es necesario subrayar que el resultado obtenido tras esos costos injustificados no es satisfactorio.

La Operación y el Mantenimiento de la planta, tanto durante la fase de subcontratación como la realizada por EP Petroecuador, han sido excesivos en su costo y deficientes en cuanto a su calidad y excesivos en su costo, ya que se encuentran fuera de los márgenes estándar de mercado. Estas tareas deben realizarse por personal propio formado adecuadamente y recibiendo capacitación de los fabricantes de los distintos componentes.

Como **recomendación a futuro** se recomienda realizar un control exhaustivo por parte de EP Petroecuador durante las ejecuciones de contratos para verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos y prevenir estas situaciones.

6.2 ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES EN LAS PLATAFORMAS

Los asentamientos diferenciales en las plataformas se deben a que **no se cumplió con lo establecido en la norma nacional⁸ ni en otros estándares internacionales⁹ relativos a la geotecnia**. De haber cumplido con ellos, se habrían implementado las recomendaciones del estudio geotécnico, las cimentaciones ejecutadas no presentarían asentamientos superiores a los admisibles y estarían preparadas para cumplir su función ante las condiciones sísmicas previstas para esa ubicación.

Este incumplimiento, que se materializa en la deficiente ejecución de los rellenos y las cimentaciones, es aún más grave dado que se hizo caso omiso a la característica de alta compresibilidad del terreno, que ya se indicaba en el proceso de licitación del contrato principal.

El alcance del estudio geotécnico inicial, realizado por la empresa Geoestudios, fue insuficiente para el tipo, tamaño y condiciones geotécnicas previsibles en la zona de estudio. Aún así, dicho estudio indicaba una serie de recomendaciones encaminadas a paliar los problemas que presentaba el terreno. Si se hubiera establecido un Control de Calidad independiente se podrían haber evitado los incumplimientos o haber detectado los fallos de desviaciones frente a las normas y estándares.

Como consecuencia de estos incumplimientos fue necesario elaborar el Proyecto de “Elaboración de la ingeniería básica y de detalle para la rehabilitación civil de cimentaciones de la planta de licuefacción de gas natural licuado Bajo Alto”.

⁸ NEC-SE-GC: Norma Ecuatoriana de la Construcción. Geotecnia y Diseño de Cimentaciones.

⁹ EN 1.997-1: 2004: Eurocódigo 7: Diseño Geotécnico.

Como **actuación inmediata** previa a la implementación de alguna de las soluciones anteriores se debe continuar con el monitoreo preciso de los asentamientos relativos a los movimientos de los elementos soportados por las cimentaciones afectadas (tuberías, depósitos y equipos).

Como **solución** debe reconstruirse el perímetro de las losas instalando pilotes de 80cm de diámetro aproximado unidos por una viga de cabeza de amarre entre ellos e intercalar columnas de grava de 60cm de diámetro para disipar la presión de los poros en la arena potencialmente licuable y, en algunas zonas, demoler y reconstruir la losa sobre la que se ubican los elementos principales. Así mismo, se recomienda realizar una remediación para los elementos de interconexión que se encuentran situados fuera de las losas de cimentación.

Como **alternativa** se propone la realización de un estudio específico de evaluación de los asentamientos y tiempos remanente para las distintas zonas de la planta, incluyendo las estructuras de categoría sísmica I y II no evaluadas previamente, así como someter a control por una entidad independiente las actuaciones relevantes que se lleven a cabo en la planta.

6.3 ANÁLISIS DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO INICIAL Y ACTUAL PARA LA OPERACIÓN DE LA PLANTA

Según el diseño inicial de la planta, el suministro de energía eléctrica debería proporcionarse gracias a unos motores que consuman el gas de rechazo o el propio gas que se licúa, pero se suministraron unos generadores diésel reacondicionados para trabajar con gas que han demostrado no ser los adecuados para la composición del gas que se dispone en planta dada la variabilidad de pureza y la alta concentración de CO₂ del gas natural, y que en la actualidad están fuera de uso.

Como alternativa, se diseñó y construyó, según estándares internacionales, una subestación eléctrica 69KV/4,16 KV alimentada a través de una línea de transmisión proveniente de la Subestación Barbones.

La alimentación eléctrica de la planta no debe basarse en el Sistema Nacional Interconectado dado que éste no es confiable por tener caídas de tensión que afectan al funcionamiento de la planta, dejándola en situación de *Blackout* al no disponer de un sistema de respaldo adecuado.

Como **solución** para garantizar la disponibilidad de la planta, en lo relativo a la alimentación eléctrica, se recomienda la instalación de nuevos motores de gas y un sistema (relés) de transferencia rápida en las barras de media tensión que proporcionarán el suministro de electricidad principal, y la utilización del Sistema Nacional Interconectado como sistema de respaldo. Esta combinación garantiza el suministro eléctrico ininterrumpido de la planta ante una parada de los nuevos motores de gas, por mantenimiento o avería.

6.4 APROVECHAMIENTO DEL GAS DE REGENERACIÓN O RECHAZO

El gas de rechazo del proceso de licuefacción actual se está derivando hacia la tea para su quemado, cuando resulta adecuado como combustible en motores de gas modernos, incluso con el nivel de CO₂ que presenta en la cromatografía de gases disponible. El aprovechamiento de este gas en los motores permitiría proporcionar la electricidad necesaria para el correcto funcionamiento de la planta.

En caso de excedente de gas de rechazo, es decir, que no todo el gas rechazado se destine a la producción de energía eléctrica en los motores, se podría instalar un sistema de membranas que eliminarían el CO₂ presente en él, permitiendo reinyectarlo en la corriente principal de licuefacción.

Como **solución** se recomienda instalar unos electro-generadores alimentados por gas (los mismos que en la sección 6.3) para aprovechar el gas de rechazo e instalar un sistema de membranas de eliminación de CO₂ para reaprovechar el excedente reinyectándolo a la corriente principal de licuefacción.

6.5 SISTEMA DE CAPTACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA DE ENFRIAMIENTO Y PARA EL SISTEMA CONTRA INCENDIO

La Planta de Tratamiento de Agua (PTA) se diseñó acorde a los estándares internacionales de la industria, pero **la falta de suministro de productos químicos** (alguicidas y correctores de pH entre otros) para la adecuación de la calidad del agua a los usos previstos desde prácticamente el inicio de la puesta en marcha de la planta, **así como la ausencia de las operaciones de mantenimiento y la degradación de las resinas, ha implicado que ciertos equipos presenten degradación** por corrosión microbiológica o precipitación de partículas en suspensión, como la Torre de Enfriamiento, y fallos de funcionamiento, como el acaecido en el intercambiador de calor E-1758.

Como **solución** se recomienda reiniciar de forma inmediata el funcionamiento de la PTA con acopio suficiente de los productos químicos de diseño lo antes posible, así como realizar la reparación de fugas del E-1758 y una inspección complementaria de los equipos que componen el sistema de enfriamiento, para dilucidar el verdadero grado de afectación y las operaciones de limpieza o reposición de elementos necesaria.

6.6 SISTEMA DE BOIL – OFF GAS

La gestión del BOG en la carga de las cisternas es correcto, pero posteriormente no se recupera ni se reinyecta a la entrada de la caja fría, sino que parte del mismo se desperdicia al enviarlo a la tea y se produce contaminación atmosférica.

En las operaciones de llenado de las cisternas se producen fugas de GNL por las bridas de las bombas de llenado, dadas las deformaciones y tensiones a las que están sometidas las tuberías, las bancadas de las bombas y el propio *skid* debido a los asentamientos diferenciales de la cimentación, lo que puede ocasionar la rotura de la estructura del *skid* de las bombas, así como problemas en la bancada de hormigón, lo que implica realizar la operación más cuidadosamente.

Como **solución** se propone la reutilización del BOG en la licuefacción mediante la instalación de una derivación mediante tubería hasta el colector de *Boil-Off*, y su posterior inyección en el flujo de gas natural previo a la caja fría. También es necesario adecuar las bridas de las bombas de llenado para evitar fugas de GNL.

6.7 AUMENTO HASTA LA PRODUCCIÓN DE DISEÑO DE LA PLANTA

El tren de licuefacción de la planta se ha diseñado para una composición fija del gas, cuando debería haberse diseñado para admitir tres composiciones de gas (ligero, intermedio y pesado). De haberse diseñado adecuadamente, se habrían analizado los tres tipos de gas y con los balances de masa y energía realizados se podrían haber conocido las características (caudal, presión, temperatura y composición) del gas de rechazo y detectar la presencia de componentes pesados, lo cual habría permitido diseñar la planta de una forma más racional, incluyendo una columna de separación de pesados y reaprovechar el gas de rechazo. Todo esto permite concluir que **no se diseñó la planta de acuerdo a las mejores prácticas internacionales**.

En el diseño de la planta no se ha considerado la Filosofía N+1 en lo que se refiere al número de equipos que permitiría mantener la producción en caso de fallo de alguno de ellos, bien por tener un equipo de respaldo, bien por disponer de un sistema de *by-pass* seguro.

El sistema de protección *Anti-Surge* no se diseñó según los estándares de la industria, dado que se empleó un sistema de control sin amplificador neumático, lo que impide que la válvula de seguridad se active a la velocidad adecuada para realizar su función ante paradas no programadas. Esta limitación en el tiempo de respuesta del sistema de protección actual, ha supuesto que se haya decidido mantener la producción de la planta en niveles más bajos a los de diseño para evitar daños en sistemas, equipos y componentes sensibles.

Como **soluciones** se propone:

- Instalación de una Columna de Separación de Pesados que evite la pérdida de 4 horas semanales para eliminar los pesados de la Caja Fría y aumentar su vida útil al no someter a los *expanders* a cambios de temperatura semanales.
- Cambiar el Sistema *anti-surge* por uno tradicional o por uno dotado con un amplificador neumático para que la válvula opere en los tiempos establecidos que eviten daños a los equipos que se encuentren aguas debajo de la misma. Esto proporcionará la fiabilidad requerida para poder producir al 100% de capacidad.
- Aplicar la Filosofía N+1 estableciendo, al menos, líneas de *by-pass* de seguridad en el flujo del gas.

6.8 PLAN DE RIESGOS Y PLAN DE EMERGENCIAS

6.8.1 ESTUDIO RBI (RISK BASED INSPECTION)

No se han presentado evidencias objetivas sobre ningún Plan de Inspecciones Basados en Riesgos (RBI). Disponer de él minimizaría la probabilidad de ocurrencia de accidentes y el impacto que tendrían en caso de producirse. Así mismo, permitiría disminuir el número y gravedad de paradas imprevistas al emplearse la experiencia de las inspecciones basadas en riesgos.

Como **solución** se propone la realización de un estudio piloto de entre un 60 y un 70% de los recipientes a presión de la instalación para implementar las medidas más efectivas y continuarlo con el resto de los elementos que conforman la planta y adecuarse a los estándares de la industria para mejorar la integridad mecánica e identificar los posibles modos de fallo y los daños potenciales.

6.8.2 SISTEMA CONTRA INCENDIO

El diseño del Sistema Contra Incendios y del plan de actuación asociado no se adapta al estándar internacional, debido a los siguientes hallazgos:

- El cargadero de cisternas no contempla en escenario de un derrame de una cisterna al no existir ninguna balsa para recoger el GNL derramado, ni dispone de hidrantes y monitores, ni de un sistema *spray* fijo y cortinas de agua.
- El Sistema Contra Incendios no tiene una configuración tipo “anillo” con bombas de alimentación ubicadas en dos puntos para garantizar el suministro de agua y presión necesarios.
- Cada tanque de almacenamiento no dispone de un cubeto independiente, como debería al tener un volumen de más de 270 m³ cada uno, y las paredes de éstos deberían tener altura suficiente para evitar que el viento elimine parte de la espuma que evita la vaporización de parte del GNL. Así mismo, no se dispone de irrigación superior para refrigeración de los depósitos con caudal suficiente (mínimo exigido: 3l/min/m²).

Como **solución** se propone la instalación de los elementos de protección requeridos que están ausentes actualmente y la realización de un QRA (*Quantitive Risk Assessment*) que evalúe los escenarios de fuego de la planta y el escenario de un derrame en una cisterna.

6.8.3 SALA DE CONTROL Y FACTORES HUMANOS

El diseño de la Sala de Control presenta deficiencias que podrían afectar a la seguridad de los trabajadores, así como potenciales mejoras en varios aspectos que podrían incrementar la ergonomía y seguridad de la operación de la planta.

Como **solución** se propone la realización de un estudio de Factores Humanos que permita reducir los riesgos y mejorar la ergonomía en la Sala de Control.

6.9 IMPACTO AMBIENTAL

En el momento del inicio de la construcción de la Planta (noviembre de 2009) no se poseía de la Licencia Ambiental (emitida en noviembre de 2010), lo que implica que **en el contrato principal de construcción de la planta no se cumplieron los aspectos ambientales, ni los planes de monitoreo durante la ejecución de la obra**.

Con respecto a la línea de transmisión proveniente de la Subestación Barbones **no se cumplió correctamente con el trámite de Participación Ciudadana en la emisión de la Licencia Ambiental** al no haberse alcanzado un acuerdo con la Comunidad del Gad ElGuabo.

No se han presentado evidencias objetivas del cumplimiento de lo establecido en ambas Licencias Ambientales en lo referente a la realización de los monitoreos internos, los reportes del monitoreo semestrales, los informes de auditorías ambientales, el registro de la instalación como generador de residuos peligrosos, el Plan de Minimización de Desechos Peligrosos ni la Declaración Anual de Desechos Peligrosos.

Tampoco se han presentado evidencias objetivas del cumplimiento de la normativa en lo relativo a emisiones atmosféricas, contaminación acústica, descarga de efluentes y gestión de desechos peligrosos.

Con los datos aportados, el cálculo de la Huella de Carbono arroja un resultado de 9,655 TCO₂/año.

Como **soluciones** en lo referente al impacto ambiental se proponen las siguientes medidas:

- Instalación de medidas protectoras (pinchos anti-avifauna, en los elementos fijos de la instalación, repelentes visuales y sistema de sonidos con ondas ultrasónicas y bombillas led) frente a la avifauna para evitar daños en los sistemas, componentes y equipos.
- Instalación de aislamiento acústico en los focos emisores mediante carcasas o cabinas.
- Instalación de los generadores de gas para transformar el gas de rechazo y del *Boil-Off* en la energía eléctrica que requiere la planta para su funcionamiento, evitando también la contaminación que se produciría en la Planta de energía que alimenta actualmente sus necesidades a través del Sistema Nacional Interconectado.

6.10 ENTORNO ORGANIZATIVO

No se han presentado evidencias objetivas de la existencia de procedimientos de operación de la planta que cumplan con los estándares internacionales de la industria y se ha detectado que el personal de operación es claramente insuficiente. Sí se ha evidenciado la existencia de un estudio de capacitación del personal.

Como **solución** se propone la creación de los procedimientos de operación necesarios según los estándares de referencia, planificar la formación pendiente del personal basándose en contrastar el estudio de capacitación con los registros de formación y aumentar el personal de operación de la planta hasta un total de 5 personas por puesto cuya presencia requerida sea 24/7.

7 TIEMPOS Y COSTOS ESTIMADOS PARA LA REMEDIACIÓN

Cumpliendo con el alcance requerido en los Términos de Referencia (TdR) de este contrato, la estimación de costos y tiempos de implementación de todas las soluciones propuestas se resume en la Tabla 2:

Tabla 2: Soluciones propuestas, costos y tiempos de implementación y parada.

REMEDIACIÓN	COSTO (USD)	TIEMPO DE IMPLEMENTACIÓN	TIEMPO DE PARADA
Remediación de la válvula <i>anti-surge</i>	\$44.000	60 días	2 días
Instalación de motores de gas y relé de transferencia	\$8.906.000	306 días	25 días
Realización de nuevas cimentaciones	\$6.950.000	222 días	150 días
Instalación torre de separación de pesados	\$1.000.000	120 días	2 días
Modificación del sistema <i>boil off gas</i>	\$100.000	14 días	1 día

REMEDIACIÓN	COSTO (USD)	TIEMPO DE IMPLEMENTACIÓN	TIEMPO DE PARADA
Puesta en marcha de la planta de tratamiento de agua (PTA)	\$10.000	30 días	0 días
Reducción Impacto ambiental	\$183.000	12 días	0 días
Instalación del sistema de eliminación de CO ₂	\$1.500.000	180 días	10 días
Remediación mecánica en sistemas de tuberías y equipos	\$200.000	90 días	30 días
Realizar un QRA de la planta para validar el sistema contra incendios	\$100.000	45 días	0 días
Computerización de procedimientos de planta	\$100.000	60 días	0 días
Programa de gestión del conocimiento	\$100.000	180 días	0 días
TOTAL REMEDIACIONES	\$19.193.200	365 días¹⁰	150 días

Estas medidas deben realizarse para garantizar una operación segura, eficaz y eficiente de la planta, adecuándola a los estándares internacionales de la industria y cumpliendo con la legislación aplicable en vigor.

¹⁰ Los tiempos de implementación de las soluciones propuestas son para cada una de ellas. En caso de acometer varias, o todas, en paralelo, el tiempo de implementación dependerá del Gestor del Proyecto.