

**ESTUDIO DE INTEGRIDAD DEL GASODUCTO BARQUEREÑA-TRINIDAD
USANDO LAS METODOLOGÍAS ECDA/ICDA EN EL DISTRITO CASANARE DE
PERENCO**

ELKIN JEFFERSON PORRAS GALLEGO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
ESPECIALIZACIÓN EN INTEGRIDAD DE EQUIPOS Y DUCTOS
BUCARAMANGA**

2017

**ESTUDIO DE INTEGRIDAD DEL GASODUCTO BARQUEREÑA-TRINIDAD
USANDO LAS METODOLOGÍAS ECDA/ICDA EN EL DISTRITO CASANARE DE
PERENCO**

ELKIN JEFFERSON PORRAS GALLEGO

**Trabajo de Grado para optar al título de Especialista en Integridad de
equipos y Ductos**

Director

IVÁN URIBE PÉREZ

Master en Ingeniería Metalúrgica

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
ESPECIALIZACIÓN EN INTEGRIDAD DE EQUIPOS Y DUCTOS
BUCARAMANGA**

2017

DEDICATORIA

Con mucho amor y cariño:

A Dios todo poderoso, que me permitió lograr un sueño más

A mi familia, padres y hermanos por su apoyo incondicional

A Miguel mi padre y mejor amigo, por su amor, esfuerzo, apoyo, consejos y ejemplo de vida, a quien debo todo lo que soy hoy como persona y profesional

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus sinceros agradecimientos a:

La Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales de la UIS, por haberme dado la oportunidad de pertenecer a su importante grupo académico.

Todos los docentes y grupo de trabajo de la secretaria de posgrados de la especialización, por su comprensión, paciencia y esfuerzo por transmitirnos la mejor información para nuestra formación.

Profesor. Ivan Uribe Pérez director de tesis, por su valiosa colaboración, consejos y orientación para el desarrollo de este trabajo.

La Compañía Perenco Colombia Limited, y su grupo de trabajo por su apoyo en transferencia tecnológica, procedimientos y buenas prácticas de Ingeniería de mantenimiento y operación aplicados en el Campo Casanare

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
2. JUSTIFICACIÓN	20
3. OBJETIVOS	21
3.1 OBJETIVO GENERAL	21
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
4. MARCO TEÓRICO	23
5. GENERALIDADES DE LA EVALUACIÓN DE INTEGRIDAD MEDIANTE MÉTODOS ECDA/ICDA	24
5.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	24
5.2 METODOLOGÍA ICDA Y ECDA	27
5.2.1 Inspección directa nace SP 0206 DG, SP 0110 WG, SP 208 LP	27
5.2.1.1 Monitoreos con Cupones de corrosión – NACE RP 0775	28
5.2.1.2 Cromatografías Norma ASTM D 1945-3	29
5.2.2 Inspeccion directa NACE SP 0502 ECDA	29
5.2.2.1 CIS-Norma NACE SP 0207-07	29
5.2.2.2 PCM– Norma NACE SP 0207-07	30
5.2.2.3 DCVG - Norma NACE SP 0207-07	30
5.2.2.4 Ondas guiadas ASTM E2725 -11	30

5.3 ANÁLISIS DE DATA, CLASIFICACIÓN ZONAS ICDA/ECDA Y PLAN DE INSPECCIÓN	31
5.3.1 Inspección directa NACE SP 0110 WG	31
5.3.2 Inspección directa NACE SP 0502 ECDA	32
5.3.3 Técnicas y tecnologías de inspección y evaluación de integridad	34
5.3.4 Tecnologías de mantenimiento y reparación de tubería	36
5.3.4.1 Reparación con Camisa Tipo “B”	37
5.3.4.2 Refuerzos Mecánicos NO Metálicos (material compuesto)	38
5.3.4.3 Reemplazo de Tubería	38
5.4 PLAN DE MANEJO DE INTEGRIDAD PARA EL GASODUCTO BAQUERENÁ - TRINIDAD	39
6. ESTUDIOS ANÁLISIS, INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN INTEGRIDAD REALIZADOS	42
6.1 HALLAZGOS MÁS RELEVANTES ECDA	43
6.2 HALLAZGOS MÁS RELEVANTES ICDA	46
6.3 VERIFICACIÓN DIRECTAS Y EVALUACIÓN	48
6.4 REPARACIONES DEFECTOS Y/O RECUBRIMIENTO	50
7. CONCLUSIONES	52
8. RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFÍA	55
ANEXOS	59

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Modelo Regiones ECDA	33
Figura 2. Esquema de Reparación con Camisa Tipo “B”	38
Figura 3. Modelo Plan Inspección y Monitoreo Perenco Colombia Limited	40
Figura 4. Modelo Indicadores Integridad	41
Figura 5. Red Gasoductos Distrito Casanare	43
Figura 6. Perfil CIPs	44
Figura 7. Perfil DCVG Y Resistividad Terreno	45
Figura 8. Análisis Gases	47
Figura 9. Inspección Ondas Guiadas y UT	49
Figura 10. Excavación y Recubrimiento	51

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Recopilación Información	25
Tabla 2. Métodos reparación	37
Tabla 3. Datos Técnicos Gasoducto	42
Tabla 4. Resultados relevantes DCVG	46
Tabla 5. Resultados Ángulos superior al crítico	47
Tabla 6. Defectos relevantes ECDA	49
Tabla 7. Resultados Inspección	50

LISTA DE ANEXOS¹

	Pág.
ANEXO A. INFORME ECDA	59
ANEXO B. INFORME ICDA	59
ANEXO C. INSPECCIÓN Y CALCULO MAOP	59
ANEXO D. REPORTE REPARACIÓN	59
ANEXO E. PLAN DE INTEGRIDAD DEL GASODUCTO BQA-TRD	59

¹ Ver documentos adjuntos en el CD-ROOM

GLOSARIO

Abolladura: Depresión en la superficie del tubo.

Ánodo: Elemento emisor de corriente eléctrica (electrodo) en el cual ocurre el fenómeno de oxidación.

Anomalía: Cualquier daño mecánico, defecto o condiciones externas que puedan poner o no en riesgo la integridad del ducto.

Camisas mecánicas: dispositivos como grapas, abrazaderas de fábrica o envolventes atornilladas o soldadas en la sección de la tubería

Cátodo: Es el electrodo de una celda electroquímica, en el cual ocurren las reacciones electroquímicas de reducción, en un sistema de protección catódica es la estructura a proteger.

CIS: Medición continua de potenciales en intervalos cortos. Una medición de potenciales realizada a lo largo de una tubería metálica enterrada o sumergida, con el fin de PROYECTO DE NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC DE 287/06 11 obtener mediciones de potencial DC tubo-suelo válidas a intervalos regulares lo suficientemente pequeños para permitir una evaluación detallada.

Conexiones: Aditamentos que sirven para unir o conectar tubería, tales como: Tes, bridas, reducciones, codos, "tredelets", "weldolets", "socolets", etc.

Corrosión: Proceso electroquímico por medio del cual los metales refinados tienden a formar compuestos (óxidos, hidróxidos, etc.) termodinámicamente estables debido a la interacción con el medio.

Daño mecánico: Es aquel producido por un agente externo, ya sea por impacto, rayadura o presión y puede estar dentro o fuera de norma.

Defecto: Discontinuidad de magnitud suficiente para ser rechazada por las normas o especificaciones.

Derecho de vía: Es la franja de terreno donde se alojan los ductos, requerida para la construcción, operación, mantenimiento e inspección de los sistemas para el transporte y distribución de hidrocarburos.

Ducto: Sistema de tubería con diferentes componentes tales como: válvulas, bridas, accesorios, espárragos, dispositivos de seguridad o alivio, etc., por medio del cual se transportan los hidrocarburos (Líquidos o Gases).

ECDA: es un proceso estructurado que tiene por objeto mejorar la seguridad mediante la evaluación y la reducción del impacto de la corrosión exterior en las tuberías.

Esfuerzo: Es la relación entre la fuerza aplicada y el área de aplicación, se expresa en kPa o lb/pulg².

Espesor nominal de pared: Es el espesor de pared de la tubería que es especificada por las normas de fabricación.

Estándar NACE SP0206DG: se aplica para evaluar corrosión interior en tuberías de gas natural que normalmente transportan gas seco.

Estándar NACE SP0110WG: se aplica para evaluar corrosión interior en tuberías onshore y off shore y otros sistemas de tubería que normalmente transportan gas natural con agua condensada, o con agua e hidrocarburos líquidos.

Estándar NACE SP0208LP: se aplica para evaluar corrosión interior en tuberías normalmente empacadas con compuestos del petróleo en estado de líquido incomprensible bajo condiciones normales de operación, contaminados con sedimentos y agua (BS&W) menor al 5% en volumen.

Grieta: Discontinuidad del material interior o exterior que no ha llegado a traspasar el espesor de pared de la tubería.

Herramienta inteligente: Herramienta inteligente utilizada para registrar daños y defectos en la pared del ducto.

Inhibidor de corrosión: Compuesto químico orgánico o inorgánico que se adiciona al fluido transportado en concentraciones adecuadas para controlar o disminuir la velocidad de corrosión.

Junta de aislamiento: Accesorio intercalado en el ducto, constituido de material aislante que sirve para seccionar eléctricamente el ducto por proteger.

Mantenimiento correctivo: Acción u operación que consiste en reparar los daños o fallas en los ductos para evitar riesgos en su integridad o para restablecer la operación del mismo.

Picadura: Corrosión localizada confinada a un punto o a un área pequeña, la cual tiene forma de cavidad.

Presión de diseño: Es la presión interna a la que se diseña el ducto y es igual a 1,1 veces la presión de operación máxima.

Presión de operación máxima (POM): Es la presión máxima a la que se espera que un ducto sea sometido durante su operación.

Presión Interna: Es la presión generada en las paredes internas de la tubería por efecto del fluido transportado.

Protección catódica: Es el procedimiento electroquímico para proteger los ductos enterrados y/o sumergidos contra la corrosión exterior, el cual consiste en establecer una diferencia de potencial convirtiendo la superficie metálica en cátodo mediante el paso de corriente directa proveniente del sistema seleccionado.

Rayón o tallón: Pérdida de material causado por el rozamiento con otro objeto o rozamiento continuo.

Válvula de alivio: Es un accesorio relevador automático de presión, actuando por presión estática aplicada sobre la válvula.

Válvula de seccionamiento: Accesorio que se utiliza para seccionar tramos de tubería para reparación, mantenimiento o emergencia del ducto.

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO DE INTEGRIDAD DEL GASODUCTO BARQUEREÑA-TRINIDAD USANDO LAS METODOLOGÍAS ECDA/ICDA EN EL DISTRITO CASANARE DE PERENCO*.

AUTOR: ELKIN JEFFERSON PORRAS GALLEGO**.

PALABRAS CLAVE: INTEGRIDAD, CORROSION, GAS NATURAL, PLANES MITIGACIÓN, RIESGO, GASODUCTO, INSPECCIONES INDIRECTAS, EVALUACION DIRECTAS, SEGURIDAD Y CONFIABILIDAD DE PROCESOS.

DESCRIPCIÓN:

El concepto de Integridad se define básicamente como la seguridad y confiabilidad de los procesos. El presente trabajo de monografía tiene como fin principal, presentar un estudio de Integridad sobre el Gasoducto Barquereña -Trinidad usando las metodologías ECDA/ICDA en el Campo Casanare de Perenco y asegurar la integridad para el transporte de gas por este ducto.

La base para el desarrollo de este proyecto, es información técnica del proceso de transporte de Gas en el Campo Casanare, suministrada por Perenco Colombia Limited.

Como fase inicial se debe realizar levantamiento de información (construcción, histórico de falla, operacional, inspecciones, reparaciones etc.) y análisis del proceso de transporte de Gas desde la Estación de producción Barquereña hasta la Estación de producción Trinidad para identificar rápidamente acciones de control de humedad y corrosión y evitar el deterioro de los equipos. Para este levantamiento de información fue necesario contratar estudios y ensayos adicionales, ya que no existían registros o nunca se habían ejecutado y son necesarios para el análisis de integridad del sistema.

Luego se correlaciona los resultados de las inspecciones y se establece un Plan de verificación y evaluación de Integridad en los puntos o regiones ECDA e ICDA más críticas o susceptibles para generación de corrosión. Por último se estructura un Plan de Manejo de integridad que asegure la operación segura y confiable de las tuberías y equipos, que incluya: mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo. A medida que se ejecuten los estudios y/o reparaciones se irán documentando los resultados como anexos de este trabajo.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Especialización en integridad de equipos y ductos Director: Ivan Uribe

ABSTRACT

TITLE: INTEGRITY STUDY OF BARQUEREÑA-TRINIDAD PIPELINE USING ECDA / ICDA METHODOLOGIES IN THE CASANARE DE PERENCO DISTRICT*.

AUTHOR: ELKIN JEFFERSON PORRAS GALLEGO.**

KEYWORDS: INTEGRITY, CORROSION, NATURAL GAS, MITIGATION PLANS, RISKS, PIPELINE, INDIRECT INSPECTIONS, DIRECT EVALUATION, PROCESS SAFETY AND RELIABILITY.

DESCRIPTION:

The concept of integrity is basically defined as the safety and reliability of processes. This work has as a main goal to present an Integrity study on the Barquereña-Trinity Gas Pipeline using the ECDA / ICDA methodologies in the Perenco Casanare Field and to ensure the integrity of the gas transport through this pipeline.

The basis of this Project is the technical information on the gas transportation process at Casanare Field, supplied by Perenco Colombia Limited.

In the first step information was gathered (construction, historic failure, operational, inspections, repairs, etc. of the pipeline) must be carried out and analysis of the gas transport process from the Barquereña production station to the Trinidad production station to quickly identify control actions of wet and corrosion and to avoid the deterioration of the equipments.

For this collection of information was necessary to hire additional studies and tests, as there were no study records or never were executed and those were necessary for the analysis of system integrity.

The results of the inspections are then correlated and an Integrity verification and assessment plan is established for the most critical or susceptible sites for ECDA and ICDA corrosion generation. Finally, an Integrity Management Plan is structured to ensure the safe and reliable operation of pipelines and equipment, including: predictive, preventive and corrective maintenance. As the studies and / or repairs are executed, the results will be documented as annexes of this work.

* Work Degree.

** Faculty of Engineering Physical chemical. School of Metallurgical Engineering and Materials Science. Specialization of Integrity equipment and ducts Director: Ivan Uribe

INTRODUCCIÓN

La gestión de integridad de ductos es un sistema estructurado para identificar donde, cómo y cuándo deben ser enfocados los esfuerzos y recursos para garantizar de forma óptima la integridad mecánica y seguridad operacional de los procesos. Es un modelo eficiente que reduce significativamente el riesgo o amenazas de integridad, ya que trabaja alineado de las mejores prácticas de ingeniería, normatividad internacional y estándares internos de cada compañía.

En este orden de ideas y con el objeto de disminuir al máximo la probabilidad de una posible falla que pueda afectar al medio ambiente y la comunidad, se realizan los planes de integridad mecánica, los cuales son el resultado de las evaluaciones del riesgo previamente realizadas para identificar los puntos críticos del sistema, en el cual se detalla cada una de las actividades que se van a realizar sobre el ducto tales como monitoreo, ensayos e inspección correspondiente a cada una de las amenazas descritas en el sistema de gestión de integridad estructural de ductos.

Para poder garantizar la Integridad mecánica de un sistema de tubería se debe asegurar su condición metalmecánica y la agresividad del fluido transportado. Para este fin, existen muchas técnicas, métodos y tecnologías para inspección, monitoreo, control y mitigación de las amenazas asociadas a cada sistema.

El presente documento corresponde a un estudio realizado para evaluar la Integridad del Gasoducto Barquereña – Trinidad de 4" de Perenco, mediante el uso de las metodologías ICDA (InternalCorrosion) y ECDA (ExternalCorrosion), donde finalmente se estructura un Plan Gestión de Integridad, que garantice la seguridad y confiabilidad operacional del mismo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La mejor técnica conocida en el mundo para realizar inspección de integridad de Ductos, son las corridas con herramientas Instrumentadas (ILI), ya que son técnicas que inspeccionan el 100% del ducto con la tubería en servicio. Sin embargo, no todas las tuberías son aptas para realizar este tipo de inspección, por limitaciones técnicas y operaciones del sistema, como: geometría, trazado, diámetro, presiones etc.

Actualmente el Gasoducto Barquereña-Trinidad del Distrito Casanare de Perenco, presenta la necesidad de un estudio de integridad que garantice la operación segura y confiable del ducto. Sin Embargo, por su diámetro tan pequeño 4" y presión operacional < 1000 psi, no es apta para realizar una inspección en Línea mediante ILI.

Basado en lo anterior se propone realizar el estudio de integridad del Gasoducto, usando metodologías ICDA y ECDA que permitan tomar acciones de mitigación de forma oportuna y evitar posibles eventos o fallas, que generen paros de comunidades, multas o penalidades ambientales, pérdida de imagen o reputación de la compañía.

2. JUSTIFICACIÓN

El Gasoducto Barquereña-Trinidad del Distrito Casanare de Perenco, es una tubería con más de 25 años de servicio, de diámetro 4" sch 40, long 19 Km que transporta gas a 1000 psi. Dicho ducto tiene sistema de protección catódica operando deficientemente, con histórico de falla en el revestimiento. La línea no tiene programa de limpieza interna ni tratamiento químico. Por lo cual, surge la necesidad de someter el gasoducto a un estudio de integridad que garantice la operación segura y confiable del ducto. Sin Embargo, por su diámetro tan pequeño 4" y presión operacional < 1000 psi, no es apta para realizar inspección mediante ILI.

Basado en lo anterior y con el ánimo de dar una solución oportuna, se propone realizar un estudio de integridad del Gasoducto, usando metodologías ICDA y ECDA que incluyan, recopilación y depuración de información técnica (construcción, histórico de falla, inspecciones, monitoreo etc), análisis especializado de la información, pruebas en campo para tratar el gas y reducir al máximo su contenido de H₂S y H₂O, levantar mediante inspecciones y ensayos un diagnóstico y línea base de los activos, y finalmente establecer un plan de acción medible a corto, mediano y largo plazo.

Con el desarrollo de las actividades mencionadas y detalladas en el presente estudio, se busca dar una solución viable técnico-económica, que permita tomar acciones de mitigación de forma oportuna y evitar posibles eventos o fallas, que generen afectaciones, sociales, ambientales y corporativas.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio de Integridad del Gasoducto Barquereña-Trinidad Usando las metodologías ECDA/ICDA en el Distrito Casanare de Perenco

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar Información referente a diseños, construcción, montajes, histórico de fallas, inspección, mantenimiento, reparación y planimetría del gasoducto Barquereña-Trinidad del distrito Casanare de Perenco
- Estructurar metodología ICDA y ECDA, lo cual incluye:
 - Análisis de fluido; gas y condensados en trampas de envío y recibo del gasoducto
 - Plan de Excavación, análisis de suelo y tapado
 - Levantamiento perfil de la línea
 - Monitoreo Sistema protección catódica
 - Inspección Visual y metalmecánica por Ultrasonido
 - Evaluación de recubrimientos
- Identificar las zonas ICDA y ECDA y establecer plan de Inspección y/o remediación

- Estructurar el Plan de Manejo de Integridad, que incluya mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo para el Gasoducto Barquereña-Trinidad del distrito Casanare de Perenco

4. MARCO TEÓRICO

La estrategia contiene los siguientes temas:

- Recopilación información, e identificación de amenazas integridad
- Metodologías ICDA y ECDA
- Técnica y/o tecnologías de Inspección y Evaluación de Integridad
- Estrategia de reparación
- Plan Manejo Integridad, basado en resultados de estudios ejecutados
- Conclusiones
- Recomendaciones

5. GENERALIDADES DELA EVALUACIÓN DE INTEGRIDAD MEDIANTE MÉTODOS ECDA/ICDA

5.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Este capítulo comprende la información básica e historial operativo y de mantenimiento existente del gasoducto Barquereña – Trinidad del distrito Casanare de Perenco. Los equipos que comprenden el sistema del Gasoducto:

- Trampas de envío y recibo²
- Tubería y accesorios (niples, tes, codos, reducciones) de los manifolds del gasoducto
- Gasoducto

Y la información a recolectar se presenta en la siguiente tabla 1:

² GPSA. Engineering Data Book. 12 Th Edition 2004

Tabla 1. Recopilación Información

INFORMACIÓN DE ATRIBUTOS	Espesor de pared del tubo Diámetro Tipo de costura y factor de la junta Fabricante Fecha de fabricación Propiedades del Material Propiedades de equipos
CONSTRUCCIÓN	Año de instalación Método de doblado Método de junta, proceso y resultados de inspección Profundidad de tubería Cruces / chaquetas o camisas Presión de la prueba Métodos de recubrimiento en campo Suelo, material de relleno Informes de inspección Protección catódica instalada Tipo de recubrimiento
OPERACIONAL	Calidad del Gas Flujo promedio Presiones de operación normal máximas y mínimas Historia de fallas / fugas Condición del recubrimiento Desempeño del sistema de protección catódica Temperatura en las paredes del tubo Informes de inspección del tubo Monitoreo de corrosión OD/ID (Externa/interna) Fluctuaciones de presión Funcionamiento del regulador / alivio Invasiones del derecho de vía Reparaciones Vandalismo Fuerzas externas
INSPECCIÓN	Pruebas de presión Inspecciones en línea Inspecciones con herramienta de geometría Inspecciones en excavación en forma de campana Inspecciones a la protección catódica Inspecciones de la condición de recubrimiento Auditoria y revisiones

Fuente: Asme B 31.8 S Managing System Integrity. 2004

Posteriormente se debe realizar un levantamiento de todas las medidas de control o planes de manejo de las siguientes amenazas:

a) Dependiendo del tiempo

- 1) Corrosión Externa
- 2) Corrosión Interna
- 3) Fractura por Corrosión

b) Estable

- 1) Defectos de Fabricación
 - a) Unión de Tubo Defectuosa
 - b) Tubo Defectuoso
- 2) Relacionada con soldadura/ ensamble
 - a) Soldadura alrededor del tubo defectuosa
 - b) Soldadura de fabricación defectuosa
 - c) Arrugas o dobleces
 - d) Roscas estropeadas/ tubos rotos/ fallas en los acoples
- 3) Equipo
 - a) Fallas en los Empaques O-ring
 - b) Fallas en el equipo de alivio/ control
 - c) Fallas en la empaquetadura/ sellos de la bomba
 - d) Varios

c) Independiente del Tiempo

- 1) Daños mecánico/ terceros
 - a) Daño infligido por primeros, segundo o terceros (falla instantánea/ inmediata)
 - b) Tuvo dañado con anterioridad (Modo de falla retrasada)
 - c) Vandalismo
- 2) Operaciones Incorrectas
 - a) Procedimiento operacional incorrecto
- 3) Relacionado con el clima y fuerzas externas
 - a) Clima Frío

- b) Rayos
- c) Lluvias fuertes o inundaciones
- d) Movimientos de Tierra

5.2 METODOLOGÍA ICDA Y ECDA

Se trabajarán las terminologías y literatura referente a las técnicas de inspección directa ICDA y ECDA existentes y más utilizadas en el sector Oíl & Gas en el Mundo

5.2.1 Inspección directa nace SP 0206 DG, SP 0110 WG, SP 208 LP. El estándar NACESP0206DG se aplica para evaluar corrosión interior en tuberías de gas natural que normalmente transportan gas seco, pero pueden en algún momento y por un tiempo corto, presentar una anomalía operacional (upset) como entrada de agua líquida u otro electrolito.

El estándar **NACESP0110WG** se aplica para evaluar corrosión interior en tuberías on shore y off shore y otros sistemas de tubería que normalmente transportan gas natural con agua condensada, o con agua e hidrocarburos líquidos.

El estándar **NACESP0208LP** se aplica para evaluar corrosión interior en tuberías normalmente empacadas con compuestos del petróleo en estado de líquido incompresible bajo condiciones normales de operación, contaminados con sedimentos y agua (BS&W) menor al 5% en volumen.

Generalmente la información que se recolecta, es idéntica a la información que se requiere en la evaluación de riesgos en un programa de gestión de integridad como se presenta en el ASMEB31.8S.

Cuando no se disponen de datos en alguna de las categorías particulares de la tabla se deben usar suposiciones conservadoras y se deben documentar. Cuando alguna información sobre composiciones de los fluidos no se conoce se deben tomar muestras y analizarlas.

En el evento que el operador de la tubería determine que la información para el ICDA LP de una región no es suficiente no se debe realizar el ICDA LP hasta no completar la información.

Las siguientes condiciones pueden excluir la aplicación del estándar ICDA LP:

1. La etapa de la inspección indirecta no puede determinar los sitios en los cuales la corrosión interior puede ocurrir.
2. Se pronostica que la tubería va a tener una fase continua de agua durante la operación.
3. La tubería tiene recubrimiento interno.
4. No se puede acceder a la tubería para la inspección detallada.
5. No se puede determinar un intervalo de revaloración confiable.

Algunas de las inspecciones o análisis más utilizados para la evaluación ICDA:

5.2.1.1 Monitoreos con Cupones de corrosión – NACE RP 0775: La técnica de cupón de corrosión es la más simple y la más conocida de todos los métodos de monitoreo de corrosión. Esta técnica se basa en la exposición por un tiempo determinado de una muestra o cupón del mismo material de la estructura supervisada, en el mismo ambiente corrosivo al que la estructura está expuesta. La medición obtenida de los cupones al analizarse es la pérdida de peso que ocurre en la muestra durante el período de tiempo al que ha sido expuesto, expresada como tasa de corrosión.

5.2.1.2 Cromatografías Norma ASTM D 1945-3: La cromatografía es un proceso físico de separación de sustancias llevado a cabo por la distribución en dos fases y como técnica analítica instrumental es capaz de proporcionar información tanto cualitativa como cuantitativa acerca de la composición de mezclas de sustancias. Atendiendo a la naturaleza de la fase móvil, se pueden distinguir dos tipos de cromatografía: cromatografía gaseosa y cromatografía líquida.

5.2.2 Inspección directa NACE SP 0502 ECDA: La evaluación directa ECDA es un proceso estructurado que tiene por objeto mejorar la seguridad mediante la evaluación y la reducción del impacto de la corrosión exterior en las tuberías; mediante la identificación y direccionamiento de las actividades de corrosión, así como, la reparación de los defectos, la mitigación de las causa, el ECDA busca en forma proactiva prevenir el crecimiento de los defectos de corrosión exterior que pueda poner en riesgo la integridad de la tubería.

Este estándar puede ser aplicado en tuberías pobremente cubiertas o desnudas de acuerdo con los métodos y procedimientos incluidos en el estándar y en NACESP0207 (CIS), NACETM0109 (DCVG). Las tuberías recubiertas pobremente se tratan como desnudas si los requerimientos de corriente para la protección son los mismos que para tuberías desnudas.

Algunas de las inspecciones o análisis más utilizados para la evaluación ECDA:

5.2.2.1 CIS-Norma NACE SP 0207-07El CIS (Close Interval Survey): Esta técnica de inspección, desarrollada para análisis detallados de niveles de protección catódica en ductos, consiste en la medición continua de los potenciales tubo/suelo, medidos en espacios próximos. El operario camina sobre la directriz superior del ducto extendiendo un cable o alambre muy fino, que debe estar conectado al punto de medición o punto de prueba más próximo. Otro cable debe ir conectado a un par de semicélulas de cobre -sulfato de cobre- y un registrador, con el cual

realizará el almacenamiento de las lecturas para el posterior análisis de los registros.

5.2.2.2 PCM– Norma NACE SP 0207-07: El PCM (Pipeline Current Mapper) ,Es una técnica electromagnética que no requiere el contacto con el suelo. Se utiliza un generador de señales para aplicar señales de corriente alterna al ducto y la corriente se determina con base en la potencia del campo electromagnético. Las mediciones de atenuación aportan información sobre la presencia de un defecto en el recubrimiento. Esta técnica es posible emplearla para inspeccionar tuberías o tramos de tubería localizadas en zonas áridas o bajo asfalto o concreto ya que los datos no son influidos por la resistencia de contacto.

5.2.2.3 DCVG - Norma NACE SP 0207-07: La técnica de DCVG (Direct Current Voltage Gradient), desarrollada con el fin de evaluar defectos del revestimiento de tuberías enterradas, consiste en efectuar lecturas y analizar los gradientes de potencial en el electrolito (tierra) determinando la dirección del flujo de la corriente. Teniendo en cuenta que la protección catódica genera un flujo de corriente hasta los puntos de metal expuesto de la tubería, los defectos pueden localizarse individualmente; además, la gran sensibilidad de los instrumentos de DCVG permite localizar hasta los más ínfimos puntos dañados del revestimiento, con una precisión de 10 centímetros. Una vez localizado el defecto, se puede determinar su importancia según sus parámetros.

5.2.2.4 Ondas guiadas ASTM E2725 -11: Las ondas guiadas es una técnica de ensayos no destructivos complementaria tipo screening, que nos permite tener un perfil o sospecha de cómo puede estar toda nuestra tubería. Muestra indicaciones que deben ser verificadas con Ultrasonido. Es una de las mejores técnicas para inspección de tubería a largo alcance. Dependiendo de las condiciones metalmecánicas del ducto, de la morfología de corrosión, tipo de recubrimiento, temperatura o incrustación entre otras, será su longitud de inspección. En el mejor

de los casos puede inspeccionar hasta 300m en un solo disparo, en otros no tan buenos, hasta 12m. En un día se puede lograr hacer hasta 10 disparos. Dicha técnica aplica también para ICDA en la etapa de Inspecciones Indirectas y Examinación Directa

5.3 ANÁLISIS DE DATA, CLASIFICACIÓN ZONAS ICDA/ECDA Y PLAN DE INSPECCIÓN

En este ítem se intenta correlacionar y analizar toda la información recopilada y verificada en campo, con el ánimo de definir las zonas ECDA e ICDA, priorizar puntos y establecer el plan de inspección y/o remediación

5.3.1 Inspección directa NACE SP 0110 WG: Evaluación directa o análisis detallado:

Los objetivos principales del análisis detallado son los siguientes:

1. Determinar si la velocidad de corrosión predictiva fue acertada y se presenta en el sitio evaluado.
2. Cuantificar la cantidad del daño por métodos NDT.
3. Usar los hallazgos para evaluar la integridad total de la región.

Proceso de análisis:

El inspector debe medir y registrar las medidas de los espesores para determinar la longitud axial y el ancho de las indicaciones encontradas. Una vez realizado el análisis detallado se procede a evaluar la integridad basada en los siguientes criterios:

1. Una pérdida de metal es considerable si el espesor de pared remanente de la tubería no puede soportar la presión interna como se especifica en el RStreng o ASMEB31G.
2. El operador debe calcular el esfuerzo remanente por alguna de las normas RSTRENG, ASMEB31G, DNV-RP-F101.
3. Se debe hacer una programación de mantenimiento o reparaciones de acuerdo con la norma ASMEB31.8; un sitio evaluado se debe considerar activo si el espesor de pared remanente es menor del 80% del espesor nominal, hasta que se realice una acción de mitigación o reparación.

Post Evaluación:

Los objetivos principales de la Post Evaluación son los siguientes:

1. Validar el proceso ICDA WG.
2. Evaluar la efectividad de ICDA WG.
3. Determinar los intervalos de Revaloración.

ICDA WG es un proceso de mejoramiento continuo; a través de aplicaciones sucesivas y la integración de datos operacionales, el operador debe estar disponible para identificar, y direccionar sitios en donde ha habido corrosión, está presentándose o se presentará en el futuro.

5.3.2 Inspección directa NACE SP 0502 ECDA: Evaluación de la factibilidad del ECDA: el operador debe integrar y analizar la información para determinar si las condiciones no permiten hacer la inspección directa y realizar el ECDA.

Identificación de regiones ECDA: el operador debe analizar los datos reunidos en la etapa de pre evaluación para definir las regiones ECDA.

- El operador debe definir los criterios para identificar regiones ECDA.

- Una región ECDA es una sección o secciones de tubería que tienen similares características físicas, historias de corrosión, futuras condiciones de corrosión esperadas, y se usan las mismas herramientas de inspección indirectas.
- El operador debe considerar todas las condiciones que pueden afectar significativamente la corrosión exterior cuando defina los criterios para las regiones ECDA.
- La definición de las regiones ECDA pueden cambiar con los resultados de las inspecciones indirectas y directas.
- Una región ECDA no tiene que ser contigua. La figura 1 muestra un ejemplo de regiones ECDA:

Figura 1. Modelo Regiones ECDA

<u>Indirect Inspection Tool/Segment</u>	CIS + DCVG		Electromagnetic Tools		CIS + DCVG		
	PIPELINE						
<u>Physical Characteristics and History</u>	Sandy, well drained soil, with low resistivity, no prior problems	Sand to loam, well drained, with low resistivity, no prior problems	Sandy, well drained soil, with low resistivity, no prior problems		Loam, poor drainage, with medium resistivity, some prior problems		Loam, poor drainage high resistivity, prior problems
<u>ECDA Region</u>	ECDA1	ECDA2	ECDA3	ECDA4	ECDA1	ECDA5	ECDA6

Fuente: NACE SP 0502 ECDA

En el ejemplo de la figura 1, el operador de la tubería, segmenta el ducto en 4 grupos distintos de características físicas e historial del ducto. Posterior selecciona las técnicas de inspección indirecta a realizar sobre la tubería. Basados en la elección de las herramientas, características del suelo, y la historia previa, el operador definió 6 regiones ECDA; la región ECDA1 no es contigua: 2 sitios a lo largo de la tubería tiene la misma característica del suelo, historia, herramientas de inspección, y por lo tanto se categorizan en la misma región ECDA1. Las otras

regiones ECDA no tienen más zonas similares, por lo tanto quedan como regiones ECDA independientes.

5.3.3 Técnicas y tecnologías de inspección y evaluación de integridad

Técnicas de Inspección o Ensayos No Destructivos³

La clasificación de las pruebas no destructivas se basa en la posición donde se ubican las discontinuidades que pueden ser detectadas, por lo que se clasifican en:

1. Pruebas no destructivas superficiales

Estas pruebas proporcionan información acerca de la sanidad superficial de los materiales inspeccionados.

Los métodos de P.N.D. superficiales son: Introducción

- VT Inspección Visual
- PT Líquidos Penetrantes
- MT Partículas Magnéticas
- ET Electromagnetismo

En el caso de utilizar VT y PT se tiene el alcance de detectar solamente discontinuidades superficiales (abiertas a la superficie); por otro lado, con MT y ET se detectan tanto discontinuidades superficiales como subsuperficiales (debajo de la superficie pero muy cercanas a ella).

³ **ASTM D 46** Ensayos de Materiales

2. Pruebas no destructivas volumétricas

Estas pruebas proporcionan información acerca de la sanidad interna de los materiales inspeccionados.

Los métodos de P.N.D. volumétricos son:

- RT Radiografía Industrial
- UT Ultrasonido Industrial
- AET Emisión Acústica

Estos métodos permiten la detección de discontinuidades internas y subsuperficiales, así como bajo ciertas condiciones, la detección de discontinuidades superficiales.

3. Pruebas no destructivas de hermeticidad

Proporcionan información del grado que pueden ser contenidos los fluidos en recipientes, sin que escapen a la atmósfera o queden fuera de control.

Los métodos de P.N.D. de hermeticidad son:

- LT Pruebas de fuga
- Pruebas de Cambio de Presión (Neumática o hidrostática).
- Pruebas de Burbuja
- Pruebas por Espectrómetro de masas

Técnicas Evaluación Integridad

- **ILI⁴** : La inspección en línea (ILI) es un método de evaluación de integridad utilizado para localizar y caracterizar indicios en un ducto. La efectividad de la herramienta ILI utilizada depende de la condición de la sección específica del

⁴**NACE SP 0102**, In-line Inspection of Pipelines

ducto que se va a inspeccionar y qué tan bien se ajusta a los requisitos impuestos por los objetivos de inspección. Los siguientes numerales analizan el uso de herramientas ILI para ciertas amenazas.

- **PH⁵:** La prueba de presión ha sido un método ampliamente aceptado por la industria para validar la integridad de los ductos. Este método de evaluación de integridad puede ser tanto una prueba de resistencia como una prueba de fugas. La selección de este método debe ser adecuada para las amenazas que se están evaluando.

ASME B3 1.8 contiene detalles sobre la realización de pruebas de presión para revisiones durante la construcción y para los exámenes después que el ducto ha estado en servicio por un periodo de tiempo. El Código especifica la prueba de presión a realizar y la duración de la prueba para controlar ciertas amenazas. También especifica bajo qué condiciones se pueden emplear los diversos medios de prueba.

5.3.4 Tecnologías de mantenimiento y reparación de tubería: Actualmente existen diferentes técnicas y tecnologías de reparación en el mercado y con precios competitivos, con diferentes materiales y compuestos que permiten al Operador seleccionar de acuerdo a su necesidad y presupuesto la mejor opción.

En la tabla 2. A continuación se muestran algunas técnicas recomendadas por la Norma ASME B31.8S, de las cuales en la presente monografía se va a detallar la más idónea para los defectos que se puedan encontrar en el Gasoducto BQA-TRD.

⁵ **API 11101** Pruebas Hidrostaticas

Tabla 2. Métodos reparación

Tipo Defecto	Camisa Tipo "B"	Refuerzos Mecánicos (material compuesto)	Reemplazo
Corrosión Interna	X	---	X
Corrosión Externa picadura $\geq 0.8t$	X	---	X
Corrosión Externa picadura $\leq 0.8t$	X	X	X
Rasguño	X	X	X
Abolladuras, arrugas, dobleces suaves	X	X	X
Abolladuras parte superior del ducto. Abolladuras con corrosión, grietas o sobre cordón de soldadura	---	---	X
Quemaduras arco, inclusion o laminaciones	X	X	X
Defectos en Accesorios (tes, codos, niples)	---	X	X
Piernas Muertas	---	X	X

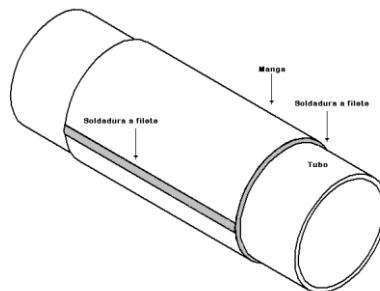
Fuente: Asme PCC-2-2008

5.3.4.1 Reparación con Camisa Tipo "B". Se juntan dos secciones semicirculares ajustadamente en el tubo sobre el defecto, se unen al ducto por medio de soldadura longitudinal y circunferencial al tubo para encerrar totalmente al defecto. Según Norma ASME PCC 2 o guía reparación de casa matriz.

Se debe realizar este tipo de reparación por personal calificado y procedimientos calificados.

Este mecanismo de reparación es muy seguro y confiable, ya que puede resistir esfuerzos iguales al SYMS del ducto.

Figura 2. Esquema de Reparación con Camisa Tipo “B”



Fuente: Asme PCC-2-2008, Repair of Pressure Equipment and Piping.

5.3.4.2 Refuerzos Mecánicos No Metálicos (material compuesto): Los refuerzos mecánicos en tuberías y accesorios metálicos, es una tecnología nueva en Colombia y aun genera algo de desconfianza en Operadoras. Son refuerzos a base de fibras de material compuesto. Comercialmente las más conocidas son:

Refuerzos a base de fibra de vidrio, fibra de carbono y resinas epoxicas. Presenta algunas ventajas y desventajas:

Ventajas	Desventajas
• No necesita soldadura • Liviano • Fácil de manejar • Permanente • Relativamente económico • Aplicación en frío y con tubería en servicio • Aplicable para accesorios (te, codos, bifurcaciones, niples) • Control de fugas, goteos	• Es exigente en cuanto a la limpieza superficial de la tubería. • Mala instalación compromete su desempeño. • El control de calidad depende del personal de instalación • Dudas sobre el desempeño a largo plazo de los compuestos.

Fuente: Patrón Integridad Ducto, Perenco Colombia Limited.

5.3.4.3 Reemplazo de Tubería: Se recomienda realizar reposición para Tuberías sch 10, 20, tuberías incrustadas, piernas muertas, reparaciones subestándar y defectos según clasificación de la tabla arriba o por directriz gerencial de la Compañía.

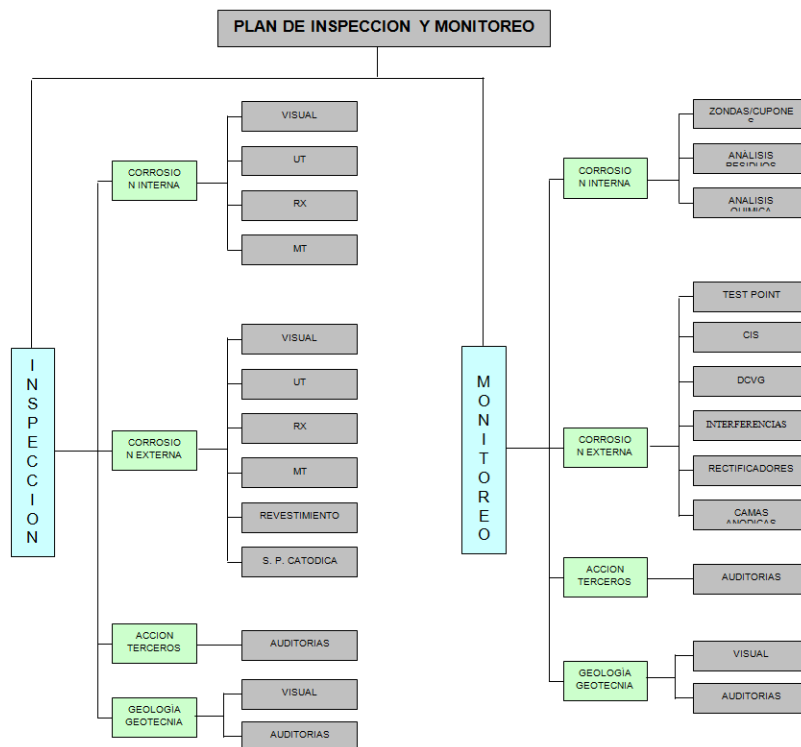
5.4 PLAN DE MANEJO DE INTEGRIDAD PARA EL GASODUCTO BAQUEREÑA - TRINIDAD⁶

Como resultado final del presente estudio es entregar, una guía de navegación para el Campo Yopal de Perenco, que le permita programar una serie de actividades para mitigar y controlar cada una de las amenazas identificadas que atentan contra la integridad mecánica del Gasoducto Barquereña-Trinidad.

A continuación se presenta un modelo del Patrón de Integridad de Perenco Colombia, el cual incluye actividades de Inspección y Monitoreo

⁶ **ASME B 31.8S** Managing System Integrity. 2004

Figura 3. Modelo Plan Inspección y Monitoreo Perenco Colombia Limited⁷



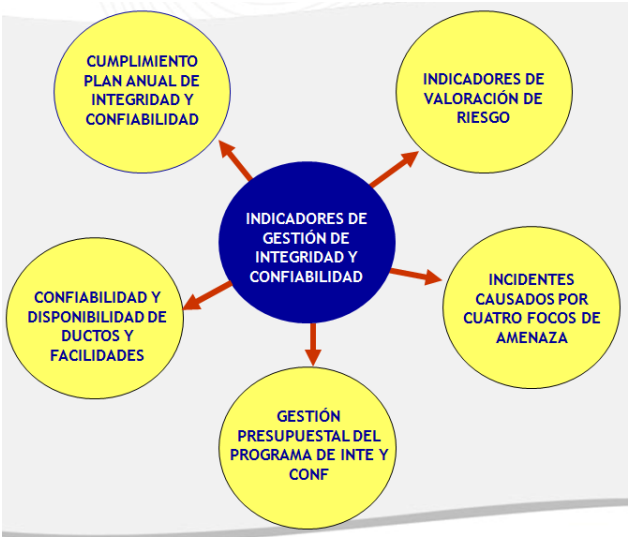
Fuente: Patrón Integridad Ducto, Perenco Colombia Limited.

Esta guía, es un plan de trabajo estratégico, que abarca acciones de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo, basado en la evaluación de riesgo del presente proyecto.

Y por último para medir la eficiencia y eficacia del Programa propuesto, también se entregará unos indicadores de desempeño, que se podrán medir periódicamente.

⁷ Patrón Integridad Ductos Perenco

Figura 4. Modelo Indicadores Integridad⁸



Fuente: Patrón Integridad Ducto, Perenco Colombia Limited.

⁸ Patrón Integridad Ductos Perenco - Colombia

6. ESTUDIOS ANÁLISIS, INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN INTEGRIDAD REALIZADOS

Debido a la gran cantidad de información recopilada para el desarrollo del presente proyecto, a continuación se hace un resumen de lo más relevante.

El Gasoducto BQA-TRD es de diámetro nominal 4" y tiene una longitud de 17.9 Km, opera a una presión de 820 psi y es un ducto con limitantes para limpieza e inspección interna. Hace más de 10 años no tiene Sistema de protección catódica activo y el 98% del ducto es enterrado con alto nivel freático. Su recubrimiento es Alquitrán de Hulla y está en alto grado de deterioro.

Tabla 3. Datos Técnicos Gasoducto

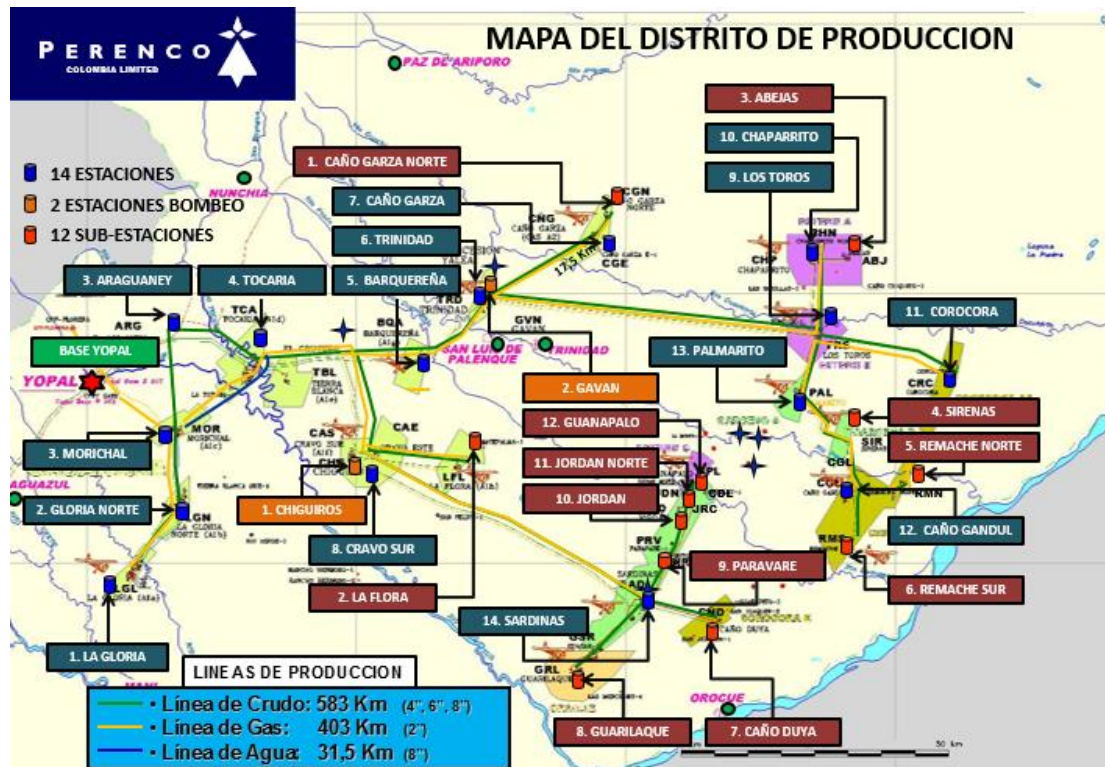
NOMBRE DEL GASODUCTO:	BARQUERENA-TRINIDAD
ESPECIFICACION DE LA TUBERIA:	API 5LX42
ESPESOR:	0,237 pulg
DIAMETRO INTERIOR:	4,026 pulg
LONGITUD:	18 km
PRESION ENTRADA:	820 psi
PRESION LLEGADA:	800 psi
TEMPERATURA ENTRADA:	70°F
TEMPERATURA LLEGADA:	no se reporta
FLUJO DE GAS:	2,2 millones pies cubicos por dia
FLUJO DE CONDENSADO:	100 galones por dia
FLUJO DE AGUA:	no se reporta

Fuente: Cortesía Perenco Colombia Limited.

Como podemos ver en la siguiente figura, forma parte de la red de Gasoductos del Distrito Casanare, y representa una de los ramales más importantes, ya que suministra Gas a las estaciones de mayor producción de Crudo. Adicionalmente

este Gasoducto atraviesa veredas de alta densidad poblacional. Lo que representa un gran riesgo para la comunidad, clasificando algunas áreas de alto impacto.

Figura 5. Red Gasoductos Distrito Casanare

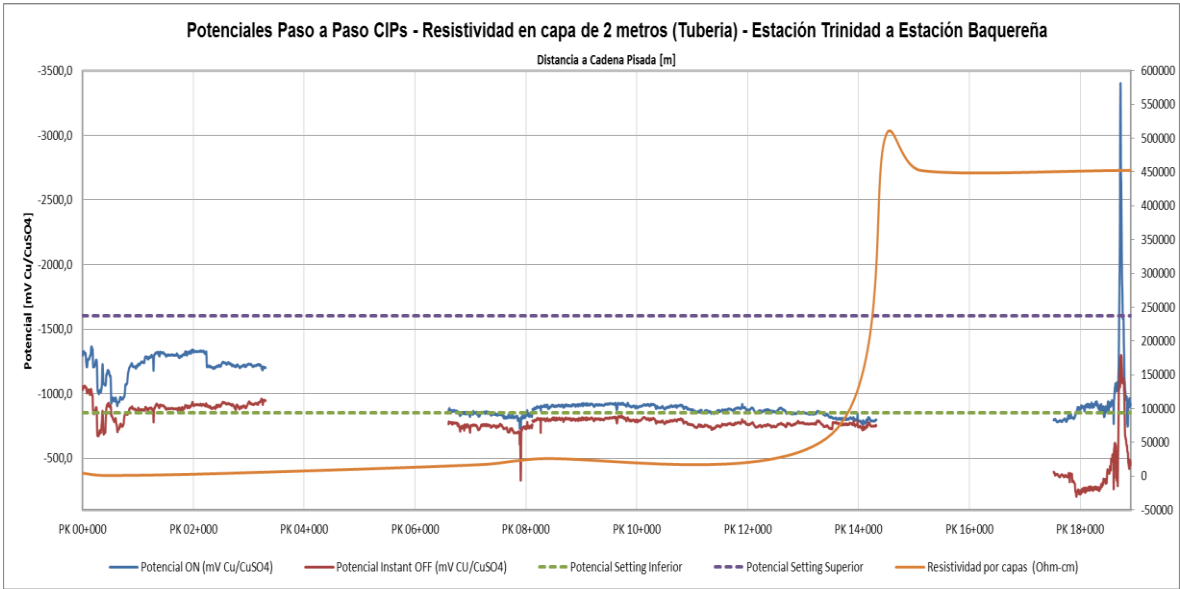


Fuente: Cortesía Perenco Colombia Limited.

6.1 HALLAZGOS MÁS RELEVANTES ECDA

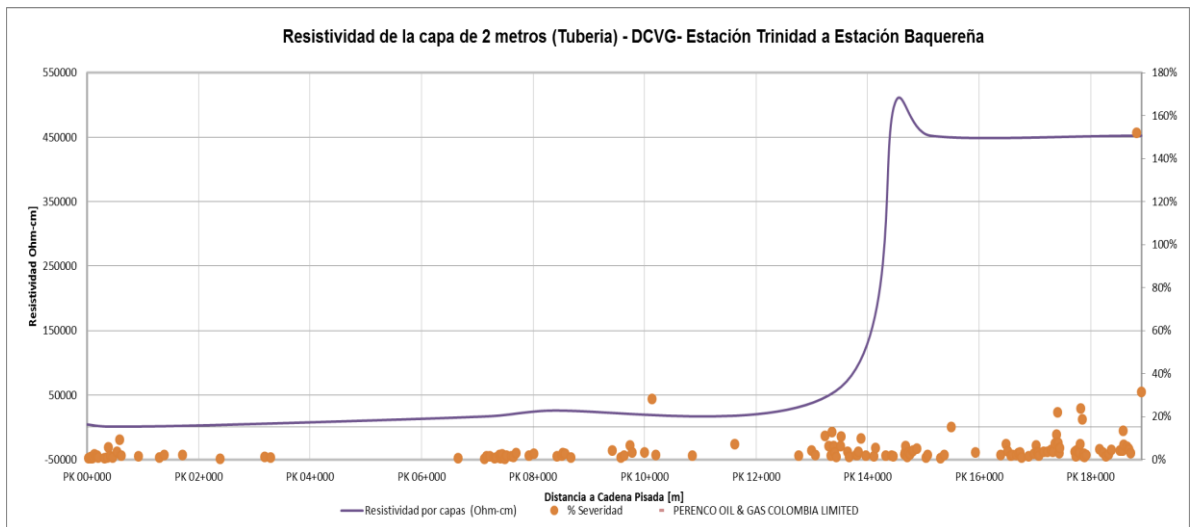
Para el desarrollo del ECDA se realizó técnicas de inspección indirecta tales como; CPIS, DCVG y Resistividad de terreno. Posterior se correlaciona data y definen regiones ECDA. A continuación se presenta los hallazgos más relevantes, para ver más detalle favor ver Anexo A. Informe ECDA y Anexo A.1. Data Inspecciones Indirectas.

Figura 6. Perfil CIPs



Fuente: Cortesía Perenco Colombia Limited.

Figura 7. Perfil DCVG Y Resistividad Terreno



Fuente: Cortesía Perenco Colombia Limited.

Se encontraron un total de 146 fallas en el revestimiento de la tubería en el recorrido desde la estación Trinidad a la estación Barquereña, 7 de estas fallas se encuentran por encima del 15% de severidad.

Tabla 4. Resultados relevantes DCVG

 Perforaciones en Concreto S.A.S. NIT. 900.093.764-0		INGENIERÍA										IDCVG-ING-11.0	
		DATOS D.C.V.G.										VERSIÓN: 5	
Fecha:		15, 16, 17 Y 19 DE SEPTIEMBRE DE 2016										Diametro	
Empresa:		PERENCO OIL & GAS COLOMBIA LIMITE										Lugar ini	
Proyecto:		INSPECCION DCVG		Lugar fin		ESTACION BAQUERENÁ							
						ESTACION TRINIDAD - BAQUERENÁ							
DATOS D.C.V.G. EN CAMPO													
ITEM	DESCRIPCION	pK (m)	OL/RE mV	VALORACION (ANODICO O CATODICO)		SEVERIDAD		COORDENADAS DECIMALES		COORDENADAS GEODESICAS		ALTITUD (ASE)	
				ON (mV)	OFF(mV)	P/RE [mV]	%IR	LONGITUD(O)	LATITUD(N)	LONGITUD(O)	LATITUD(N)		
14	Defecto No 54	10+130	70,0	C60	A20	247	28,4%	-71,82554069	5,426426543	71 49'31,9465	05 23'35,1356	181,030	
78	Defecto No 114	17+349	20,0	A3	A4	259	7,7%	-71,86083333	5,397994444	71 51'39,00	05 23'52,78		
79	Defecto No 115	17+385	30,0	A3	A4	255	11,8%	-71,86110556	5,397869444	71 51'39,98	05 23'52,33		
80	Defecto No 116	17+397	56,0	C10	C5	254	22,1%	-71,86119444	5,397825	71 51'40,30	05 23'52,17		
91	Defecto No 125	17+802	30,0	A15	A10	419	7,2%	-71,86441711	5,39638779	71 51'51,9016	05 23'46,9960	176,495	
92	Defecto No 126	17+817	100,0	A5	A10	421	23,8%	-71,86451874	5,396301683	71 51'52,2675	05 23'46,6861	176,578	
93	Defecto No 127	17+849	80,0	A4	A10	423	18,9%	-71,86474115	5,396203099	71 51'53,0681	05 23'46,3312	177,538	
114	Gradiente en cables de anodos	18+812	760,0			499	152,2%	-71,87225172	5,39417064	71 52'20,1062	05 23'39,0143	181,578	
115	Defecto No 146	18+908	160,0	C120	C80	507	31,6%	-71,8731259	5,394097602	71 52'23,2532	05 23'38,7514	180,774	

Fuente: Cortesía Perenco Colombia Limited.

6.2 HALLAZGOS MÁS RELEVANTES ICDA

Para el estudio ICDA fue necesario realizar levantamiento de información tal como; análisis de gases corrosivos en la trampa de envío y recibo del Gasoducto, perfil del Gasoducto, información de tratamiento químico, cromatografía del Gas, Velocidad de Corrosión y Condiciones operacionales (temperaturas, presiones, caudales y velocidades de flujo). Posterior se correlaciona data y definen regiones ICDA. A continuación, se presenta los hallazgos más relevantes, para ver más detalle favor ver Anexo B. Informe ICDA Y Anexo B.1. Perfil de línea y Cálculo Angulo Crítico.

Figura 8. Análisis Gases



Fuente: Cortesía Perenco Colombia Limited.

En la tabla 5. Se presentan clasificados en 6 Regiones, segmentos del gasoducto que contienen los kilometrajes con los ángulos de inclinación superiores a los ángulos críticos y ordenados del mayor al menor valor del ángulo. Por ejemplo, la Región 1 comprendida entre los kilómetros 1.203 y 1,224 presenta el mayor ángulo de inclinación correspondiente a 20,54 grados.

Tabla 4. Resultados Ángulos superior al crítico

REGION	SEGMENTO RANGO (Km)	PATRON DE FLUJO	HOLDUP (fraccion)	INCLINACION MAYOR (grados)
1	1,203-1,224	SLUG	0,63	20,54
2	17,917-17,925	SLUG	0,6	19,93
3	9,759-9,769	SLUG	0,47	12,06
4	10,924-10,949	SLUG	0,52	9,86
5	4,470-4,499	SLUG	0,44	8,63
6	4,507-4,536	SLUG	0,42	5,94

Fuente: Cortesía Perenco Colombia Limited.

6.3 VERIFICACIÓN DIRECTAS Y EVALUACIÓN

Para el desarrollo de este proyecto, se inició con las verificaciones de más fácil acceso por condiciones climáticas y permisibilidad de los propietarios, para lo cual se seleccionaron los puntos reportados cerca a la Estación Barquereña.

La metodología consistió en:

1. Ubicación del punto sobre el DDV, con ayuda de GPS y localizador de tubería
2. Excavación manual y mecánica
3. Adecuación de área para dejar descubierto un tubo 12 por punto de verificación
4. Inspección visual con especialista en recubrimientos
5. Retiro de recubrimientos
6. Inspección visual directa
7. Inspección Mediante Ondas Guiadas y Ultrasonido
8. Medición de potencial protección catódica
9. Preparación superficie
10. Medición perfiles de anclaje
11. Reparación de defectos y/o reparación de recubrimientos
12. Tiempo de curado
13. Verificación de condiciones de reparación
14. Tapado final, con material adecuado
15. Registro fotográfico
16. Informe Final

Los cinco defectos seleccionados son los más relevantes por DCGV, en los Absisados a continuación:

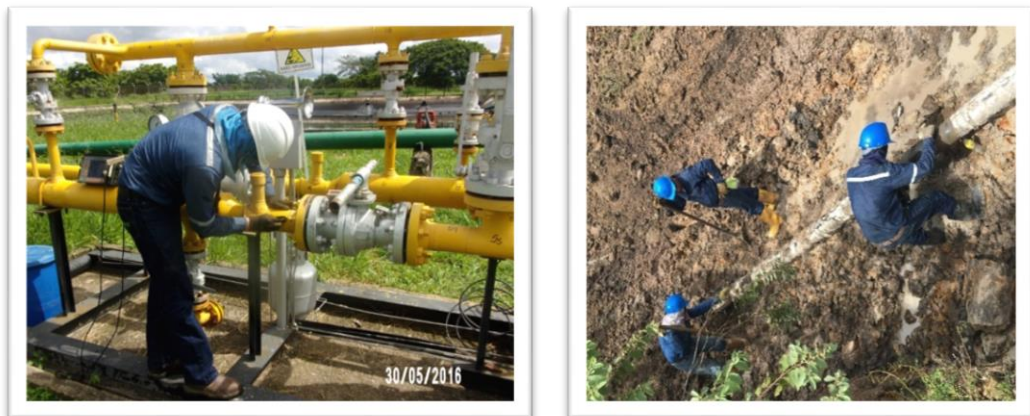
Tabla 5. Defectos relevantes ECDA

ITEM	DESCRIPCION	pK (m)	SEVERIDAD		COORDENADAS DECIMALES		COORDENADAS GEODESICAS		ALTITUD (ASE)
			PIRE [mV]	%IR	LONGITUD(O)	LATITUD(N)	LONGITUD(O)	LATITUD(N)	
80	Defecto No 116	17+397	254	22,1%	-71,86119444	5,397825	71°51'40.30	05°23'52.17	
92	Defecto No 126	17+817	421	23,8%	-71,86451874	5,396301683	71°51'52,2675	05°23'46,6861	176,578
93	Defecto No 127	17+849	423	18,9%	-71,86474115	5,396203099	71°51'53,0681	05°23'46,3312	177,538
114	Gradiente en cables de anodos	18+812	499	152,2%	-71,87225172	5,39417064	71°52'20,1062	05°23'39,0143	181,578
115	Defecto No 146	18+908	507	31,6%	-71,8731259	5,394097602	71°52'23,2532	05°23'38,7514	180,774

Fuente: Cortesía Perenco Colombia Limited.

Como relevante se encontró deterioro de recubrimientos (falta de adherencia) sin daño por corrosión. No hay pérdida de metal relevante. NO hay sistema de protección catódica activo. Se evidenció alto nivel freático y terreno rocoso.

Figura 9. Inspección Ondas Guiadas y UT



Fuente: Cortesía Perenco Colombia Limited.

Tabla 6. Resultados Inspección

		RESUMEN INSPECCIÓN MEDIANTE ONDAS GUIADAS LÍNEA 4" GASODUCTO TRINIDAD BARQUERENA CONTRATO C143797PCL - ODS 838008137														
LÍNEA	No DE DISPAROS	PUNTO	ALCANCE DIRECCIÓN POSITIVA (m)	ALCANCE DIRECCIÓN NEGATIVA (m)	ALCANCE TOTAL	LONGITUD DE LA LÍNEA (m)	INDICACIONES ENCONTRADAS	ESPESOR NOMINAL (inch)	ESPESOR MÍNIMO ENCONTRADO (inch)	% DE PÉRDIDA DE ESPESOR CON RESPECTO AL ESPESOR NOMINAL	Espeor mínimo requerido por ASME B31.3 (inch)	VELOCIDAD DE CORROSIÓN (mpy)	VIDA REMANENTE (AÑOS)	PRÓXIMO INTERVALO DE INSPECCIÓN (AÑOS)	MÁXIMA PRESIÓN DE OPERACIÓN "MAWP" (Psi)	CONCLUSIÓN
4" GAS-TRD-BQA	5	PK 17+397	6,37	7,54	13,91	65,77	-	0,237	0,195	17,72%	0,090	2,63	40	5,0	1040	La línea en la seccion evaluada del gasoducto no presenta indicaciones relevantes, en ciertas zonas el recubrimiento se encuentra en mal estado, en condiciones actuales la presion maxima de trabajo es 1000 psi
		PK 17+817	3,40	5,20	8,60		-	0,237	0,219	7,53%	0,090	1,13	115	5,0	1168	
		PK 17+843	4,00	3,99	7,99		-	0,237	0,200	15,61%	0,090	2,31	48	5,0	1067	
		PK 18+812	8,00	6,79	14,79		-	0,237	0,200	15,61%	0,090	2,31	48	5,0	1067	
		PK 18+908	11,12	9,36	20,48		-	0,237	0,228	3,80%	0,090	0,56	245	5,0	1216	

Fuente: Cortesía Perenco Colombia Limited.

NO hay corrosión relevante. Se encontró la mayor pérdida de metal en 17% con respecto a un espesor nominal de 0,237". Para cálculo de presión se utilizó Norma API 570. Para ver más detalles Anexo C. Inspección y Calculo MAOP

6.4 REPARACIONES DEFECTOS Y/O RECUBRIMIENTO

En todos los puntos mencionados en el ITEM 6.3, se evidenció recubrimientos Alquitrán de hulla en mal estado, sin adherencia. Ya cumplieron su vida útil. En ningún caso se encontró corrosión relevante, sin embargo, por el alto nivel freático y terreno rocoso se realizó reparación mediante refuerzo mecánico no metálico. Para revisar detalles, ver ANEXO D. Reporte de reparación.

Figura 10. Excavación y Recubrimiento



Fuente: Cortesía Perenco Colombia Limited.

Para todos los casos se utilizó práctica recomendada Norma ASME PCC2 y personal certificado por NACE CIP2.

7. CONCLUSIONES

- No hay sistema eficiente de manejo de información. NO hay registro de históricos de construcción, inspección, mantenimientos y reparaciones.
- De acuerdo con lo mencionado en el standard NACE SP 0206 ICDA DG se presenta acumulación de líquidos en las pendientes positivas (uphill) y adicionalmente se ha identificado que en estas pendientes se presenta patrones de flujo tipo slug.
- Se identificó sistema de protección catódica fuera de servicio
- No hay evidencia de un programa de control de corrosión interior.
- Se ha identificado que existe un potencial corrosivo en los puntos bajos del gasoducto Barquereña - Trinidad por la tendencia a condensar humedad, por la cantidad de CO₂ en el gas de 4.70 % molar y una presión parcial de 37.6 psi.
- Como resultado de la presente monografía se tiene un plan de Integridad, el cual se ha venido ejecutando sobre el sistema de transporte de gas la estación Barquereña hasta la llegada del Gasoducto en la estación Trinidad, ha sido la suma de los esfuerzos de cada una de las áreas de la empresa, ya que se han tomado medidas, acciones específicas de prevención y control para la mitigación de los riesgos. Todo esto enfocado en la búsqueda de la seguridad poblacional y la excelencia operacional,
- Las técnicas y herramientas de alta tecnología que se han utilizado para inspección, monitoreo y reparación han sido más eficaces y confiables .ya que

con estas se ha podido determinar el estado real del gasoducto, como su capacidad máxima operativa, sus limitaciones y su comportamiento operacional tanto actual a como a futuro.

- Las verificaciones y reparaciones realizadas hasta la fecha de la generación de este informe, han mitigados los punto más críticos en el gasoducto, sobre todo los que se encuentran ubicados en las zonas de mayor influencia por las comunidades vecinas.
- Actualmente se lleva un mejor control de los planes de integridad , ya que se han hecho mucho más especializados y rigurosos, las rutinas que tiene el contratista de operación y mantenimiento son más frecuentes sobre todo en el sistema de gasoductos , teniendo en cuenta esto se realizan limpieza interna de la línea constantemente, los análisis del gas transportado son mucho más específicos y los monitores arrojan resultados satisfactorios con respecto al crecimiento de la corrosión en el ducto.

8. RECOMENDACIONES

- Continuar con el plan de reparación de defectos, teniendo en cuenta la información suministrada por ICDA y ECDA.
- Evaluar la posibilidad de correr una inspección Inteligente y correlacionar información, con el fin de actualizar la condición del ducto, analizar el comportamiento en los puntos donde se realizaron reparaciones desde el 2016 hasta la fecha y así poder identificar y priorizar nuevos puntos sensibles.
- Con el fin de monitorear y garantizar la calidad del gas transportado se debe implementar un plan de monitoreo de condensados, bacterias, H₂S y de limpieza mecánica interna de tubería.
- Agilizar campaña de montaje y puesta en marcha del sistema de protección catódica tanto para la estación BQA como TRD.
- Implementar un sistema de manejo de información amigable y confiable que permita retroalimentar el proceso de gestión de integridad en cada una de sus etapas.
- Implementar la metodología ECDA/ICDA a los otros sistemas de tuberías que presenten limitante para inspección inteligente, como líneas cortas, líneas de flujo, inyección, proceso etc.

BIBLIOGRAFÍA

- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE RP1110, Pressure Testing of Steel Pipelines for the Transportation of Gas, Petroleum Gas, Hazardous Liquids, Highly Volatile Liquids or Carbon Dioxide.
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE Std1163, In-line Inspection Systems Qualification Standard.
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE Std 579, Fitness for Service.
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE Std 653, Tank Inspection, Repair, Alteration, And Reconstruction.
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE 570, Piping Inspection Code: Inspection, Repair, Alteration, and Rerating of In-service Piping Systems.
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE Publ 353, Managing Systems Integrity of Terminal and Tank Facilities
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE 510, Pressure Vessel Inspection Code: In-Service Inspection, Rating, Repair, and Alteration
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE RP 651, Cathodic Protection of Aboveground Petroleum Storage Tanks
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE RP 580, Risk-Based Inspection

- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE RP 581, Risk-Based Inspection Technology
- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS B31.4, Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquid.
- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS B 31.8 – 2003 (Revision of ASME B31.8-1999) Gas Transmission and Distribution Piping Systems
- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS B 31.8S Managing System Integrity. 2004
- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS B31G, Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines: A Supplement to ASME B31 Code for Pressure Piping.
- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS PCC-2-2008, Repair of Pressure Equipment and Piping.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS D 1142-95 (2012) Standard Test Method for Water Vapor Content of Gaseous Fuels by Measurement of Dew-Point Temperature , gaseous fuels, natural gas
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS D 46 Standard guide for examination and evaluation of pitting corrosion
- DEPARTMENT OF TRANSPORTATION 49 CFR Part 195, Transportation of Hazardous Liquids by Pipeline.

- GAS PROCESSORS SUPPLIERS ASSOCIATION Engineering Data Book. 12 Th Edition 2004
- MANUAL DE OPERACIÓN Campo producción Purificación, Tolima CPR Espinal de Petrobras. Última Edición
- NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS SP 0169, Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems.
- NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS SP 0102, In-line Inspection of Pipelines
- NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS SP 0110, Wet Gas Internal Corrosion Direct Assessment Methodology for Pipelines
- NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS SP 0206, Internal Corrosion Direct Assessment Methodology for Pipelines Carrying Normally Dry Natural Gas (DG-ICDA)
- NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS SP 0208, Internal Corrosion Direct Assessment Methodology for Liquid Petroleum Pipelines
- NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS SP 0502, Pipeline External Corrosion Direct Assessment Methodology
- NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS RP 0502 Standard Recommended Practice - Pipeline External Corrosion Direct Assessment Methodology.

- NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS TM 0172 Standard Test Method - Determining Corrosive Properties of Cargoes in Petroleum Product Pipelines.
- NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS RP 0775 Preparation and Installation of Corrosion Coupons and Interpretation of Test Data in Oilfield Operations
- NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS RP 0192-98 Monitoring Corrosion in Oil and Gas production with iron counts.
- NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS DE 287/06 10 Gestión de Integridad Para Sistemas de Transporte de Líquidos Peligrosos
- NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS 5747 Gestión de Integridad Para Gasoductos

ANEXOS

ANEXO A. INFORME ECDA

(Ver documento adjunto)

ANEXO B. INFORME ICDA

(Ver documento adjunto)

ANEXO C. INSPECCIÓN Y CALCULO MAOP

(Ver documento adjunto)

ANEXO D. REPORTE REPARACIÓN

(Ver documento adjunto)

ANEXO E. PLAN DE INTEGRIDAD DEL GASODUCTO BQA-TRD

(Ver documento adjunto)