



**Estudio de Confiabilidad de Gasoductos Corredor de Tuberías Santa Rosa
– San Joaquín, PDVSA Producción Gas Anaco**

**3er Congreso Uruguayo de Mantenimiento, Gestión de Activos y
Confiabilidad
URUMAN 2007
13, 14, 15, 16 y 17 de agosto de 2007
Sala de Conferencias del LATU, Montevideo – Uruguay**

Autores:

Juan Farinha

Danny Perez

Luisa Becerra

Manuel Rosario

PDVSA GAS

Gerencia de Producción Gas Anaco

Gerencia de Mantenimiento

Superintendencia de Ing. de Mantenimiento

Sección de Ingeniería de Confiabilidad

Anaco, Estado Anzoátegui, Venezuela

RESUMEN

Como parte del alcance para el mejoramiento de los niveles de Confiabilidad Operacional responsabilidad del Departamento de Ingeniería de Mantenimiento (Sección de Ingeniería de Confiabilidad) de PDVSA Producción Gas Anaco, se realizó un Análisis de las condiciones e integridad mecánica de los Gasoductos ubicados en el corredor Santa Rosa - San Joaquín del Área Mayor de Anaco (AMA), con el fin de conocer la condición actual y modelar los niveles de integridad mecánica futuro de estas tuberías para asegurar el transporte de gas, evitar accidentes y paros no programados.

Los modelos realizados, están basados en las normas ASME B31G para determinar la máxima presión que soporta el área corroída, longitud axial del defecto y en el principio de Pascal para determinar el espesor mínimo que garantice las propiedades físicas del material. Se simula en función de estos modelos anteriormente mencionados, la pérdida de condición física en función del tiempo y se van comparando los valores obtenidos para cada modelo, considerándose los resultados del modelo que presenta las mayores pérdidas de integridad de la tubería en el menor tiempo (más crítico), para luego evaluar las posibles soluciones o acciones a implantarse (reemplazo total o parcial de las tuberías), mejorar los niveles de Seguridad a través de la disminución de presión de operación, revisión o incorporación de mecanismos para control de corrosión (Inhibidores, Protección Catódica, etc.) o ajuste en la frecuencia de inspección de la corrida instrumentada.

Palabras Clave: Confiabilidad, Integridad Mecánica, Corrosión Interna, Corrosión Externa, Espesor Remanente, Espesor Mínimo, Velocidad de Corrosión, Longitud axial del defecto, Presión Segura en Area Corroída, Presión de Falla en Area Corroída, Factor de Reemplazo, Medición de Espesores, Defecto.



INTRODUCCION

Las tuberías son consideradas el medio de transporte para la distribución de servicios, las cuales requieren planes de mantenimiento, tanto predictivo como preventivos, para garantizar su integridad mecánica. En este sentido, el Departamento Ingeniería de Mantenimiento (Sección de Ingeniería de Confiabilidad) de PDVSA Producción Gas Anaco procedió a la aplicación de Metodologías y Cálculos de Confiabilidad Operacional, para evaluar y Analizar las condiciones en el tiempo e Integridad Mecánica actual de los Gasoductos 14", 20" y 26" pertenecientes al corredor San Joaquín - Santa Rosa del Area Mayor de Anaco (AMA). En esta evaluación, partiendo de los datos resultantes de porcentaje de perdidas de espesor y longitudes de defectos obtenidas mediante las Inspecciones Instrumentadas realizadas en el año 2002, se logró estimar los espesores mínimos permisibles, la presión segura en área corroída y el factor de reemplazo, utilizando la norma ASME B31.G. Estas estimaciones, permitieron tomar medidas correctivas o preventivas que aseguren el funcionamiento de los gasoductos.

ANTECEDENTES

En PDVSA Gas, específicamente en el Distrito Gas Anaco, se estableció un programa de Inspecciones Instrumentadas Electromagnéticas, para evaluar las condiciones físicas de los gasoductos que permitan conocer la ubicación y magnitud de las perdidas de espesor, así como los defectos de manufactura. Con la validación posterior de la información obtenida de la corrida, se procede a realizar los mantenimientos respectivos.

Este método, es ventajoso porque permite inspeccionar el 100% la integridad mecánica de las líneas, lo cual no se logra aplicando cualquier otro método de monitoreo. Sin embargo, el alto costo por la aplicación de corridas instrumentadas y la interrupción que debe hacerse en la producción se han convertido en importantes limitaciones para su aplicación.

Con la corrida instrumentada es posible identificar los defectos que se encuentran presentes en la tubería. En el Distrito Gas Anaco surgió la necesidad de conocer si contando con estos registros de las corridas de instrumentadas de los gasoductos si se podría inferir la condición futura de los mismos y contar con una perspectiva de su condición sobre la base de los resultados obtenidos en el año 2002, planteada esta necesidad se recurre a elaborar un método estadístico- probabilístico que permitiera estimar su condición actual y prever basándose en estos resultados acciones operacionales en campo que debieran tomarse para evitar interrupciones en el transporte de gas o fallas en el sistema, permitiendo también establecer y planificar las inspecciones futuras de corridas instrumentadas para actualizar los datos y permitir contar con una visión actualizada sobre la tendencia de la vida útil de estos gasoductos contando con una optima relación sobre su Costo Riesgo Beneficio.

CARACTERISTICAS Y CONDICION DE GASODUCTOS BAJO ESTUDIO

A continuación se presenta un resumen de las características, filosofía operacional, condiciones de operación y diseño de cada uno de los gasoductos estudiados (para revisar información de diseño ver tabla 1).



GASODUCTO DE 26" SANTA ROSA_ SAN JOAQUÍN BOOSTER.

El gasoducto de 26" Santa Rosa - San Joaquín Booster tiene una longitud de 18,968 Km. desde el Complejo Santa Rosa hasta San Joaquín Booster.

Filosofía Operacional: el gasoducto 26" Sta. Rosa- Slug Catcher (San Joaquín), fue construido en el año 1995, para manejar el excedente del Campo San Joaquín, el cual era inyectado en pozos a reacondicionar del campo Sta. Rosa. Hasta el año 2001, el flujo gas era en sentido San Joaquín – Planta Sta. Rosa, pero a partir de esa fecha el flujo fue invertido (planta Santa Rosa – San Joaquín). Esta línea de transmisión recibe gas rico del Complejo Sta. Rosa compresión alquilada 2001/2002 y estaciones a una presión de 1200 lpc para luego transportarlo hasta San Joaquín Extracción y ACRO IV.

Este gasoducto esta enterrado en toda su trayectoria a excepción de las estaciones de válvulas y para protegerlo contra la corrosión externa, se revistió con resina epoxica termofundida (FBE) tal protección se complemento con la instalación de un sistema de protección catódica, el cual no opero para el momento de culminación de la instalación del gasoducto. Para controlar la corrosión interna, al gasoducto se inyecta Inhibidor desde Enero del 2003, esta inyección fue suspendida y reiniciada a partir de Febrero de 2005.

Otras Características: Para este gasoducto se reparan los puntos detectados como críticos como resultado de la inspección instrumentada entre las progresivas: 4264 y 16830.

GASODUCTO DE 20" SANTA ROSA_ SAN JOAQUÍN BOOSTER.

El gasoducto de 20" Santa Rosa - San Joaquín Booster tiene una longitud de 20 Km. desde el Complejo Santa Rosa hasta San Joaquín Booster.

Filosofía Operacional: este gasoducto realiza un recorrido de 20 Km. Transfiere gas rico, desde el Complejo Santa Rosa hasta el Complejo San Joaquín. Este Gasoducto de 20" Santa Rosa cuenta con inyección de inhibidor de corrosión desde el año 2001.

En su trayectoria atraviesa zonas densamente pobladas, tales como los barrios Colinas 1 y Colinas 2 ubicados entre la autopista nacional y la carretera vieja entre Anaco y Cantaura del Edo. Anzoátegui.

Otras características: Para este gasoducto se reparan los puntos detectados como críticos como resultado de la inspección instrumentada entre las progresivas: 9578,25 y 16097,65.

GASODUCTO DE 14" SAN JOAQUÍN BOOSTER - SANTA ROSA.

El Gasoducto de 14"San Joaquín Booster- Santa Rosa tiene una longitud de 23.549 Km

Filosofía Operacional: Este gasoducto realiza un recorrido de 23.549 Km, los cuales están divididos en dos Tramos. El primer tramo es de 19.549 Km que va desde el Complejo Santa Rosa hasta la Planta San Joaquín Booster y el segundo tramo de 4 Km que va desde San Joaquín Booster hasta San Joaquín Extracción. Transfiere gas rico, desde el Complejo Santa Rosa (en su recorrido se interconectan la Estación de Descarga San Joaquín IV, Estación Guarario, y posee otra facilidad a los Slug Catcher para separación) a la Planta de Extracción San Joaquín, también transfiere gas de las plantas San Joaquín II



y San Joaquín IV, al Criogénico a partir de la válvula de seccionamiento del gasoducto ubicada en la Planta San Joaquín Booster. En el primer tramo posee aproximadamente 6 Km de tubería enterrados, los cuales están recubiertos por Tricapa, mientras que el segundo tramo esta enterrado y recubierto por FBE, parcialmente se ha mantenido la inyección de inhibidor a partir del año 2002, en función del gas transportado.

METODOLOGÍA

El estudio se realizó utilizando como base los datos de las Inspecciones Visuales y Corrida de Herramientas Electromagnéticas efectuadas en el año 2002 en los Gasoductos de 14", 20" y 26" de diámetro que se encuentran localizados en el Corredor Santa Rosa – San Joaquín el cual posee una longitud aproximada de 20 km.

1.- Recolección de Información o datos.

Los datos de espesor y registro de deformaciones presentes en las tuberías se realizaron siguiendo principalmente dos procesos:

- **Inspección Visual y medición por ultrasonido:** este tipo de inspección se realizó para verificar condiciones externas a las que esta expuesta las tuberías y para constatar y ubicar físicamente en campo los puntos con pérdidas de espesor críticos que se identificaron con las herramientas electromagnéticas para ello se contó con el apoyo de un personal especializado del Departamento de Mantenimiento para la aplicación de la técnica de ultrasonido, utilizando equipos especiales para la detección de espesores en tuberías de acero al carbono.
- **Inspección con herramientas electromagnéticas:** las mediciones a los espesores de las tuberías se realizó a los tres gasoductos (14", 20" y 26") utilizándose para ello herramientas electromagnéticas las cuales utilizan los principios de Filtración de Flujo Magnético, este método permite identificar los defectos y cuantificar las profundidades de los daños y su longitud, indicando y registrando en su recorrido por la tubería la posición horaria y la distancia a la cual se encuentra estos defectos desde el punto de envío de la herramienta.

2.- Modelos utilizados para Evaluar la Severidad del Defecto.

De acuerdo con toda la información recopilada en campo, se procedió al cálculo de la presión segura en el área corroída^[1], Factor estimado de reparación o factor de reemplazo según la norma ASME B31.G^[2] y el cálculo del espesor mínimo permisible usando el principio de Pascal.

2.1.-Cálculo Presión Segura en el Area Corroída (PSAC).

Pudiéndose definir está como la presión máxima o esfuerzo que soporta el material de la tubería en el lugar donde se encuentra localizado un defecto. La misma adopta dos tipos de forma de cálculo dependiendo de los valores que adopta el factor adimensional como se muestran a continuación.

2.1.1.- Estimación del Factor Adimensional.

A través de la relación $\frac{L^2}{(D * t_n)}$



Donde, de contarse con un valor del factor adimensional menor o igual a veinte (≤ 20), según la relación indicada arriba.

La Presión segura en el área corroída se estima de la siguiente forma:

$$PSAC = 1.1 * P * \left[\frac{1 - \frac{2}{3} * \left(\frac{C}{t_n} \right)}{1 - \frac{2}{3} * \left(\frac{C}{t_n} \right) * M^{-1}} \right]$$

O según, de acuerdo a los valores que adopta el factor adimensional cuando estos sean mayores a veinte (>20) la presión segura en el área corroída se calcula de la siguiente forma:

$$PSAC = 1.1 * P * \left[1 - \frac{C}{t_n} \right]$$

En el que:

$$M^{-1} = \frac{1}{M}$$

$$M = \left[1 + 0.893 * \frac{L^2}{(D * t_n)} \right]^{0.5}$$

Donde:

- L: Longitud axial del defecto en plg.
- c: Máxima profundidad de la pérdida de espesor, en plg.
- tn: Espesor nominal en plg.
- P: La mayor entre P diseño y MAOP en psig.
- D: Diámetro externo nominal de la tubería plg.
- M: Factor Folias.
- PSAC: Presión segura en Área Corroída en psig.
- c/tn: % de pérdida de espesor.

En el caso bajo estudio se pudo constatar que la presión segura en el área corroída responde básicamente a esta última relación presentada en esta parte de la metodología.

2.1.2.- Cálculo del Factor Estimado de Reparación (ERF).

$$ERF = \frac{MAOP}{PSAC}$$

2.2.- Cálculo del espesor mínimo permisible.

Se procede a estimar el espesor mínimo requerido que garantice las propiedades físicas del acero, asegurando que este no exceda sus límites de **capacidad** elástica, en la que puede absorber energía y no presentar deformaciones permanentes en la pared de la tubería, para ello utilizando el principio de Pascal se obtiene que este espesor viene dado como:



$$t_{\min imo} = \left[\frac{MAOP * D * F}{2 * S} \right]$$

Donde:

MAOP: Máxima Presión de Operación en psi.

D: Diámetro externo en plg.

S: Esfuerzo máximo a la fluencia en psi.

F: Factor de Seguridad en base a la actualidad de los datos (desde 1,1 hasta 1,3).¹

3.- Análisis de Resultados y Métodos de Comparación.

El análisis se realizaron bajo dos escenarios, en uno de ellos se procede a comparar los resultados obtenidos al aplicar los pasos anteriores y determinar si los mismos se encuentran ya reparados para la fecha de emisión de el análisis una vez concluido este proceso se procede a retirarlos como críticos, se continua con un análisis para verificar los cambios o crecimiento de las deformaciones desde la fecha de las inspecciones y se proyectan de acuerdo a periodos de cada tres años.

A continuación se presentan los casos estudiados utilizando los modelos antes descritos.

3.1.- Escenario Situación Actual.

Para el proceso de análisis se consideran los siguientes criterios de rechazo:

- Se considera como defecto critico para reemplazo inmediato, todos aquellos puntos donde el Factor de reemplazo (ERF) ≥ 1 .
- Defectos con pérdida de espesor $\geq 80\%$.
- Defectos que originen una presión estimada de falla en la zona corroída menor que la MAOP establecida: (PSAC \leq MAOP).

Considerando estos criterios y realizando los cálculos de los valores de la Presión Segura en el Area Corroída y el Factor de Reemplazo, se observan los resultados mostrado en las tablas 2, 3 y 4, donde se identifican para los tres gasoductos que los puntos que corresponden como críticos a la fecha de emisión del presente documento, se refieren a progresivas donde se han venido ejecutando reparaciones, igualmente se procede a llevar a gráficas de Factor de Reemplazo (ver gráficas 1 y 2) donde se pudo constatar al igual que en las tablas la existencia de dos puntos fuera de los limites permisibles de la curva referida al gasoducto de 20" y un punto localizado en las cercanías de los bordes de la curva referido al gasoducto de 26", procediéndose a recomendar acciones de reparación o disminución de las presiones de operación (esta ultima acción ya se habría venido adelantando por el equipo de profesionales de la Gerencia de Manejo de Gas para contrarrestar los daños presentes en las tuberías y adecuar los niveles de presión en el transporte de gas del Distrito).

3.2.- Escenario Situación Futura:

Para la visión a futuro se consideran modelos de cálculo que varían los valores de la velocidad de corrosión tanto longitudinal como la velocidad de corrosión axial (profundidad) con la que se establecen valores estimados de espesores disponibles y longitudes de corrosión, teniéndose esto se realiza el cálculo de la Presión segura en el área corroída y se estiman el espesor disponible de las tuberías, se comparan los valores obtenidos con la Máxima presión de Operación y espesor de diseño para posteriormente, determinar cual esta dejando de garantizar la integridad física del tubo sea por que el Área corroída no garantiza el manejo de la presión máxima de operación o el espesor disponible no garantiza las propiedades físicas (ductilidad) del acero.



Para esta comparación de los resultados y su modelaje en el futuro se realiza modelos de cálculo estadístico- probabilístico.

Los análisis de los resultados se refieren a la aplicación de la teoría de cálculo de interferencia esfuerzo resistencia^[3], donde el esfuerzo representa la condición monitoreada para el presente artículo se refiere a la Presión máxima de operación manejadas por las tuberías y al espesor mínimo calculado a la máxima presión de operación (en el estudio estas variables se consideraran como constantes) y la resistencia se refiere al límite permisible de la condición, para nuestro caso bajo estudio se refiere a las variaciones en el tiempo de acuerdo a las velocidades de crecimiento de las deformaciones en profundidad y longitud de los defectos detectados en el que se obtendrán distribuciones de probabilidad que variaran en el tiempo de la presión segura en área corroída y el espesor, determinándose para cada uno de los casos referidos de corrosión externa e interna, ver el proceso de cálculo representado por la figura 1.

Las estimaciones de las velocidades de corrosión se realizan para estimar una velocidad longitudinal y transversal del daño de acuerdo a las siguientes formulas:

$$VCa = \frac{(t_{no\ min\ at} - t_{actual})}{número\ de\ años} * 1000$$

$$VCl = \frac{longitud\ daño}{número\ de\ años}$$

[1] Se consideraron valores de corrección o seguridad para prever cualquier desviación con respecto a los datos registrados o conocidos de construcción o diseño de los gasoductos los cuales cuentan con 10, 26 y 50 años en servicio.

CONCLUSIONES

GASODUCTO DE 14"

- La condición de riesgo de la tubería se debe a la exposición que esta origina a las comunidades que se han venido desarrollando en el área, se observa que estos asentamientos están cercanos o ya han pasado los límites de las franjas de seguridad del corredor.
- La tubería posee niveles de probabilidad de falla bajas, comparado con el resto de los gasoductos esto por contar con velocidades de corrosión bajas, la corrosión interna se ve reducida por los inhibidores de corrosión y la corrosión externa es baja por no encontrarse en un ambiente agresivo.
- El año estimado para la próxima inspección de corrida de herramienta electromagnética es el año 2007, quedando establecido frecuencias de inspección cada 5 años aproximadamente ver figura 2.

GASODUCTO DE 20"

- La tubería posee niveles de probabilidad de falla aceptables hasta el año 2007, sin embargo, es de notar que la corrosión externa presenta posibilidades de riesgo mas altos que la corrosión interna, por lo que se debe continuar con la aplicación de la protección catódica e inyección de químicos para controlar tanto corrosión interna como externa.



- El año estimado para la próxima inspección de corrida de herramienta electromagnética es el año 2007, quedando establecido frecuencias de inspección cada 5 años aproximadamente ver figura 3.
- Por la gran explotación demográfica presente en la zona existen asentamientos y población que se encuentran dentro de los límites de la franja de seguridad, por lo que esta ya no cumple con la Franja de Seguridad en la actualidad.

GASODUCTO DE 26"

- La Tubería de 26" posee niveles de probabilidad de falla mas elevados esto por las altas velocidades de corrosión, se recomienda reducir los niveles de presión en el gasoducto como medida preventiva.
- La continuidad de la utilización del gasoducto de 26" en las operaciones esta supeditado a la reparación de los puntos que presentan corrosión, a la optimización de los sistemas de protección contra la corrosión y al descenso en los niveles de presión.

RECOMENDACIONES GENERALES:

- Antes de proceder a realizar correcciones en las secciones corroídas se deben programar y ejecutar mediciones aleatorias puntuales en campo (preferiblemente la muestra debe considerar los identificados como puntos críticos) para comparar / validar la perdida de espesor Vs. La estimada en este estudio.
- Proceder a remediar su condición a través de la reparación de las secciones expuestas a falla.
- Se debe incorporar modelos de cálculo de la velocidad de corrosión que consideren condiciones futuras del proceso (presión, temperatura, etc) que permitan corregir el comportamiento de las curvas de distribución de probabilidad de falla en el tiempo.
- Validar métodos que permitan obtener la resistencia del material ante la presencia de defectos cercanos.
- Las pérdidas de material de las tuberías se ven influenciadas mayormente por el ataque de la corrosión externa, se recomienda la instalación de probetas que permitan la medición de la perdida de material para monitorear y orientar acciones en el futuro.
- Proceder a la reparación del gasoducto de 26" en aquellos puntos que se confirmen como críticos (por los niveles de perdida de material o por dejar de cumplir la Norma ANSI B31G).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1.- Delfín Rodríguez "Inspección Interna de Tuberías". Adiestramiento Técnico Industrial, segunda edición 2004.
- 2.- ANSI/ ASME 31.G "Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines".
- 3.- M. Yanez, H. Gómez de la Vega "Ingeniería de Confiabilidad". Material Post-Grado "Confiabilidad de Sistemas Industriales" Universidad Simón Bolívar. Mayo 2001.
- 4.- PDVSA N° IR-S-00 "Manual de Ingeniería de Riesgo. Definiciones".
- 5.- PDVSA N° PI-07-02-01 "Procedimiento de Inspección en campo para tuberías".
- 6.- PDVSA N° PI-07-05-07 "Revestimiento y producción. Inspección por instrumentadas de gasoducto y oleoductos".
- 7.- PDVSA N° IR-S-02 "Manual de Ingeniería de Riesgo. Criterios para el análisis cuantitativo de riesgo".
- 8.- PDVSA N° IR-M-02 "Manual de Ingeniería de Riesgo. Ubicación de equipos e instalaciones en relación a terceros".



- 9.- PDVSA N° H-221 "Materiales de tuberías".
- 10.- PDVSA N° L-TP 1.3 "Identificación y numero de tuberías".
- 11.- PDVSA N° EM-18-07/02 "Tuberías de Acero al Carbono sin costura para servicio a altas temperaturas".
- 12.- PDVSA H-250-POT "Requisitos para Diseño de Tuberías de Procesos y Servicios".
- 13.- PDVSA H-251-R "Requisitos para Diseño de Tuberías de Procesos y Servicios".
- 14.- ASME B31.8 "Tuberías de Transmisión (Gasoductos) y Distribución de Gas.
- 15.- COVENIN 1478 "Tubería de líneas de uso general a la Industria Petrolera".
- 16.- API 580 "Risk- Based Inspection".
- 17.- Shigley J. y Mitchell L. "Diseño en Ingeniería Mecánica". Editora Mc Graw Hill, tercera edición en español.
- 18.- Blichke, W. y D.N. Murthy, P. "Modeling, Prediction and Optimization", Editado por Wiley-Interscience, año 2000.

BIBLIOGRAFIA DE LOS AUTORES

JUAN FARINHA

Ingeniero Mecánico, formado por la Universidad Nacional Experimental de las Fuerzas Armadas (UNEFA), en el año 1991. Ingeniero Especialista en Confiabilidad de Sistemas Industriales, formado por la Universidad Simón Bolívar, en el año 2002. Periodo 1991-2007 trabajando en PDVSA ocupando los siguientes cargos y responsabilidades: Superintendente de Ingeniería de Mantenimiento, Supervisor Sección Ingeniería de Confiabilidad en la Gerencia de Mantenimiento, Coordinador Base de Recursos, Plan de Desarrollo y Portafolio Tecnológico, Coordinador de Etapa de difusión de la Mejor Práctica de Gerencia de Proyectos Menores, Coordinador Auditorías Técnico – Administrativas, Superintendente de Control y Gestión, Coordinador en Visualización y Conceptualización de Requerimientos de Infraestructura en los ciclos del Plan de Desarrollo y según los perfiles de producción (Base de Recursos), Coordinador de Construcción, Ingeniero de Diseño. Todas ellas realizadas en PDVSA Exploración y Producción y PDVSA Gas.
Teléfonos: (058) 0282-4202592, Cel. 0414-7717049.
Email: FARINHAI@PDVSA.COM

DANNY PEREZ

Ingeniero Mecánico, formado por la Universidad de Oriente Venezuela, en el año 1993. Periodo 1994-2007 trabajando en PDVSA ocupando los siguientes cargos y responsabilidades: Superintendente de Ingeniería de Mantenimiento, Superintendente de Mantenimiento Mayor, Superintendente de Servicios Generales, Superintendente de Transporte, Superintendente de Servicios Plantas LGN-Metano, Coordinador Proyecto SAP-PM Gerencia de Servicios Gas, Supervisor de Talleres, Supervisor de Mantenimiento Mecánico, Supervisor Plantas de Agua, Ingeniero de Mantenimiento e Ingeniero de Programación y Control.
Teléfonos: (058) 0282-4201021 – Cel. 0414-8384074
Email: PEREZDN@PDVSA.COM

LUISA BECERRA

Ingeniero Mantenimiento Industrial, formado por la Universidad Gran Mariscal de Ayacucho (UGMA), en el año 2003. Periodo 2003-2007 Trabajando Durante 4 años en PDVSA Producción Gas Anaco en la Gerencia de Mantenimiento Sección de Confiabilidad como Ingeniero de Confiabilidad realizando actividades como: Analista en Inspección Basada en Riesgo (IBR), Analista de Integridad Mecánica, Confiabilidad de Gasoductos, Analista en Diseño y Desarrollo de bases de datos para llevar la data histórica de los activos de la empresa con el fin de facilitar el manejo de información necesaria para el cálculo de la Confiabilidad de los activos, Analista de Criticidad, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Análisis Causa Raíz, Analista de Cálculos y Manejo de Indicadores Técnicos de Mantenimiento, Planificador y Líder "Diseño, carga y admón. de planes de Mantto. para los objetos técnicos SAP.
Teléfono: 0282-4202977
Email: BECERRALM@PDVSA.COM

MANUEL ROSARIO

Ingeniero en Sistema, formado por la Universidad de Oriente (UDO), en el año 2002. Periodo 2003-2007 Trabajando Durante 4 años en PDVSA Producción Gas Anaco en la Gerencia de Mantenimiento Sección de Ingeniería de Confiabilidad como Ingeniero de Confiabilidad realizando actividades como: Analista en Inspección Basada en Riesgo (IBR), Analista de Integridad Mecánica, Confiabilidad de Gasoductos, Analista en Diseño y Desarrollo de bases de datos para llevar la data histórica de los activos de la empresa con el fin de facilitar el manejo de información necesaria para el cálculo de la Confiabilidad de los activos, Analista de Criticidad, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Análisis Causa Raíz, Analista de Cálculos y Manejo de Indicadores Técnicos de Mantenimiento.
Teléfono: (058) 0282-4202864
Email: ROSARIOM@PDVSA.COM



ANEXOS

Tabla 1: Características de diseño y Operación Gasoductos

DATOS DE GASODUCTOS	GASODUCTO 14" SAN JOAQUIN- SANTA ROSA	GASODUCTO 20" SANTA ROSA - SAN JOAQUIN-	GASODUCTO 26" SAN JOAQUIN- SANTA ROSA
CAPACIDAD (MMPCND)	150	300	500
VOLUMEN MANEJADO (MMPCND)	120	150	450
AÑO DE CONTRUCCION	1953	1979	1995
LONGITUD (METROS)	18800	18946	18946
ESPESOR (PULGADAS)	0.438"	0.503"	0.449"
MATERIAL	API 5L- X52	API 5L- X52	API 5L- X52
DIRECCION DE LA CORRIENTE DE LA HERRAMIENTA	JOAQUIN- SANTA ROSA	ROSA - SAN JOAQUIN	JOAQUIN- SANTA ROSA
AÑO DE CORRIDA DE HERRAMIENTA	2002	2002	2002
TEMPERATURA °F	90	120	120
MAOP (PSIG)	1250	1250	1250
PRESION DE OPERACIÓN NORMAL (PSIG)	900	1130	1130
PRESION DE DISEÑO (PSIG)	1600	1350	1350

Tabla 2: Cálculos Gasoducto 14" situación actual

REGISTROS MEDICION DE ESPESORES (ASME 31.G)															
INSTALACION		ASBA													
IDENTIFICACION		GASODUCTO STA ROSA- SAN JOAQUIN 14"													
PRESION DISEÑO		1600.000													
PRESION OPERACION		900.000	PSI												
TEMP. OPERACION		90.000	°F												
TIPO DE OPERACION		51.600	AÑOS												
TIPO DE MATERIAL		SE ASME API 5L- X52													
MATERIALES		ASME 31.G													
N° PROGRESIVAS	DIA.	TIPO	LECTURA	AI	Longitud Axial (Inches)	Longitud Axial (Inches)	Factor de Reducción	Peso Original (LBS)	Peso Actual (LBS)	Factor de Reducción	ESPESOR (Pulg.)	ESPESOR (%)	ESPESOR (Pulg.)	VELOCIDAD CORR.	Factor de Seguridad (SRF)=1.1
181.300	14.000	SR	0.5241	34.000	1.339	0.292	1.123	1720.512	3498.783	0.324	0.438	0.114	26.00	0.202	2.79
245.400	14.000	SR	0.3535	58.000	2.233	0.850	1.236	1705.329	3499.942	0.364	0.438	0.074	17.00	0.202	1.43
1527.300	14.000	SR	0.2453	22.000	0.866	0.122	1.053	1723.849	3505.569	0.245	0.438	0.193	44.00	0.202	3.71
4583.200	14.000	SR	0.2716	26.000	1.024	0.171	1.074	1720.000	3497.742	0.272	0.438	0.166	38.00	0.202	3.20
6811.800	14.000	SR	0.3110	63.000	2.480	1.003	1.377	1651.640	3358.726	0.311	0.438	0.127	29.00	0.202	2.44
7293.800	14.000	SR	0.3548	56.000	2.205	0.793	1.307	1707.036	3461.211	0.355	0.438	0.083	19.00	0.202	1.60
8050.500	14.000	SR	0.3285	22.000	0.866	0.122	1.053	1762.394	3543.203	0.329	0.438	0.180	42.00	0.202	2.11
8831.400	14.000	SR	0.3592	85.000	3.346	1.326	1.622	1672.539	3401.226	0.359	0.438	0.079	18.00	0.202	1.52
8851.800	14.000	SR	0.2521	29.000	1.142	0.213	1.091	1695.597	3448.118	0.252	0.438	0.206	47.00	0.202	3.26
13039.700	14.000	SR	0.3416	28.000	1.102	0.196	1.085	1736.846	3531.594	0.342	0.438	0.096	22.00	0.202	1.85
13048.800	14.000	SR	0.3154	18.000	0.709	0.082	1.036	1746.103	3550.826	0.315	0.438	0.123	28.00	0.202	2.36
13058.800	14.000	SR	0.2978	26.000	1.024	0.171	1.074	1727.882	3513.771	0.298	0.438	0.140	32.00	0.202	2.70
13073.000	14.000	SR	0.2521	52.000	2.047	0.683	1.269	1694.773	3263.421	0.252	0.438	0.206	47.00	0.202	3.26
13079.100	14.000	SR	0.3253	120.000	4.724	2.640	2.062	1490.046	2948.772	0.245	0.438	0.197	44.00	0.202	3.71
13089.200	14.000	SR	0.2891	130.000	5.118	4.272	2.194	1517.862	3086.680	0.289	0.438	0.149	34.00	0.202	2.86
13128.600	14.000	SR	0.3154	20.000	0.787	0.101	1.044	1743.077	3544.672	0.315	0.438	0.123	28.00	0.202	2.36
13326.500	14.000	SR	0.2365	43.000	1.693	0.467	1.191	1643.651	3342.482	0.237	0.438	0.201	46.00	0.202	3.27
13596.600	14.000	SR	0.3154	14.000	0.551	0.050	1.022	1751.393	3561.582	0.315	0.438	0.123	28.00	0.202	2.36
13680.800	14.000	SR	0.3416	27.000	1.063	0.184	1.079	1738.091	3534.531	0.342	0.438	0.096	22.00	0.202	1.85
13694.200	14.000	SR	0.3285	91.000	3.583	2.003	1.694	1626.726	3308.063	0.329	0.438	0.180	42.00	0.202	2.11
13769.600	14.000	SR	0.3022	37.000	1.457	0.246	1.144	1704.000	3495.368	0.302	0.438	0.136	31.00	0.202	2.61
15425.300	14.000	SR	0.3022	212.000	8.346	11.361	3.338	1488.407	3026.783	0.302	0.438	0.136	31.00	0.202	2.61
15437.900	14.000	SR	0.2847	27.000	1.063	0.184	1.079	1721.573	3500.941	0.285	0.438	0.153	35.00	0.202	2.95
15759.000	14.000	SR	0.3197	8.000	0.315	0.016	1.087	1757.344	3573.480	0.320	0.438	0.188	43.00	0.202	3.27
17064.200	14.000	SR	0.3110	267.000	10.512	18.020	4.134	1489.383	3028.767	0.311	0.438	0.127	29.00	0.202	2.44
17077.600	14.000	SR	0.3285	209.000	7.992	10.417	3.210	1546.997	3145.928	0.329	0.438	0.180	42.00	0.202	2.11
17397.900	14.000	SR	0.2672	13.000	0.512	0.043	1.019	1748.606	3555.916	0.267	0.438	0.171	39.00	0.202	3.29
17488.200	14.000	SR	0.3373	29.000	1.142	0.213	1.091	1733.863	3525.934	0.337	0.438	0.160	37.00	0.202	3.29
18870.200	14.000	SR	0.3285	66.000	2.559	1.068	1.398	1665.228	3386.360	0.329	0.438	0.180	42.00	0.202	2.11
19208.900	14.000	SR	0.2891	14.000	0.551	0.050	1.022	1749.023	3556.762	0.289	0.438	0.149	34.00	0.202	2.86

LEYENDA: SR: SECCION RECTA / T: TUBERIA REDUCCION C: CODO / P: PICADURA / SA: NO APLICA / WEL: WELD-OLET / SA: SIN ACCESO



Tabla 3: Cálculos Gasoducto 20" situación actual

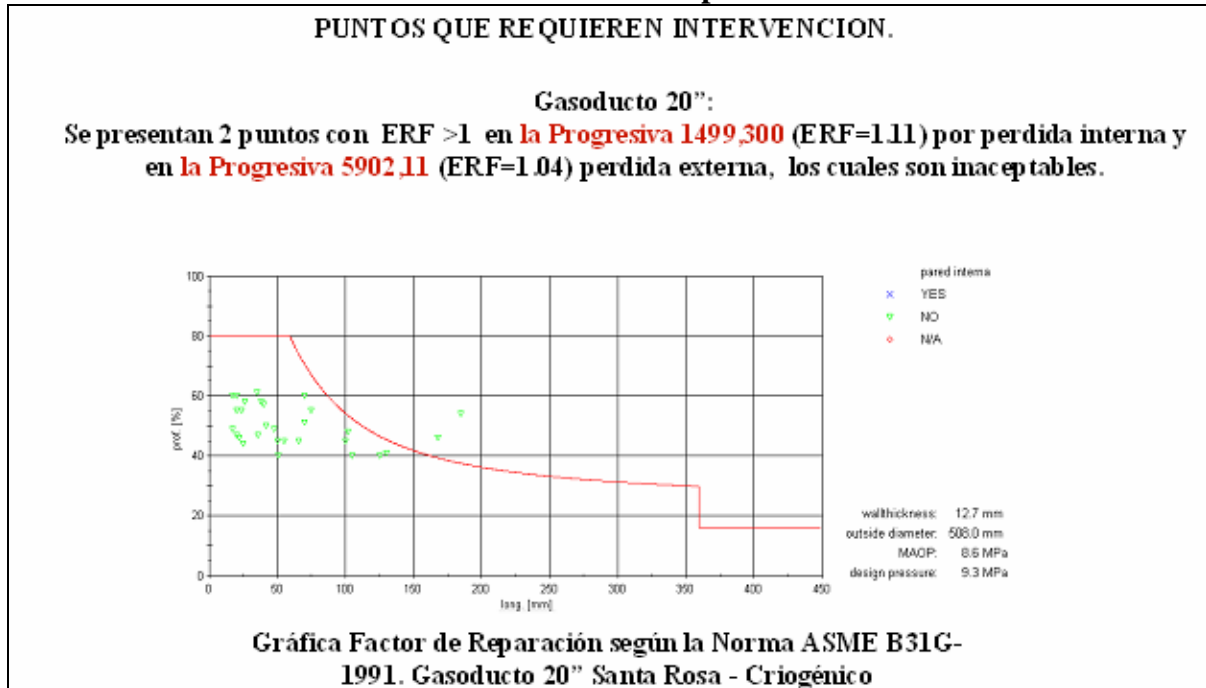
REGISTROS MEDICION DE ESPESORES (ASME 31.G)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
INSTALACION:	AMA		AREA:		SAN JOAQUIN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
IDENTIFICACION:	GASODUCTO STA ROSA- SAN JOAQUIN 20"																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
PRESSION DISEÑO:	1350	T	1.000	E	1.000	F	0.600																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
PRESSION OPERACION:			1130	PSI																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
TEMP. OPERACION:			120	°F																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
TIEMPO DE OPERACION:			26	AÑOS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
TIPO DE MATERIAL:	SE ASUME		API 5L X52																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">N° PROGRESIVAS</th> <th rowspan="2">DIA. (PULG.)</th> <th rowspan="2">TIPO COMP.</th> <th rowspan="2">AI (Pulg.)</th> <th rowspan="2">Longitud Actual Defecto (mm)</th> <th rowspan="2">Longitud Actual Defecto (pulg.)</th> <th rowspan="2">$L^2 + D^2 + t_1$</th> <th rowspan="2">Factor Fallas (f)</th> <th rowspan="2">Presión Segura Área Corroída (PSAC)</th> <th rowspan="2">Presión Falla Área Corroída (PFAC)</th> <th rowspan="2">LECT. MIN. (Pulg.)</th> <th rowspan="2">ESP. NOM. (Pulg.)</th> <th colspan="2">MAX REDUCC. ESPESOR</th> <th rowspan="2">ESP REQ. (Pulg.)</th> <th rowspan="2">VELOCIDAD CORR. MPY</th> <th rowspan="2">Factor de Reemplazo (RR) > 1 Reemplazar</th> </tr> <tr> <th>PLGS</th> <th>%</th> </tr> </table>															N° PROGRESIVAS	DIA. (PULG.)	TIPO COMP.	AI (Pulg.)	Longitud Actual Defecto (mm)	Longitud Actual Defecto (pulg.)	$L^2 + D^2 + t_1$	Factor Fallas (f)	Presión Segura Área Corroída (PSAC)	Presión Falla Área Corroída (PFAC)	LECT. MIN. (Pulg.)	ESP. NOM. (Pulg.)	MAX REDUCC. ESPESOR		ESP REQ. (Pulg.)	VELOCIDAD CORR. MPY	Factor de Reemplazo (RR) > 1 Reemplazar	PLGS	%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
N° PROGRESIVAS	DIA. (PULG.)	TIPO COMP.	AI (Pulg.)	Longitud Actual Defecto (mm)	Longitud Actual Defecto (pulg.)	$L^2 + D^2 + t_1$	Factor Fallas (f)	Presión Segura Área Corroída (PSAC)	Presión Falla Área Corroída (PFAC)	LECT. MIN. (Pulg.)	ESP. NOM. (Pulg.)	MAX REDUCC. ESPESOR		ESP REQ. (Pulg.)													VELOCIDAD CORR. MPY	Factor de Reemplazo (RR) > 1 Reemplazar																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
												PLGS	%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>1499,300</td><td>20,000</td><td>SR</td><td>0,231</td><td>185,000</td><td>7,283</td><td>5,273</td><td>2,389</td><td>1118,998</td><td>2188,037</td><td>0,231</td><td>0,503</td><td>0,272</td><td>54,00</td><td>0,362</td><td>10,45</td><td>1,12</td></tr> <tr> <td>5902,110</td><td>20,000</td><td>SR</td><td>0,272</td><td>168,000</td><td>6,614</td><td>4,349</td><td>2,210</td><td>1195,505</td><td>2316,269</td><td>0,272</td><td>0,503</td><td>0,231</td><td>46,00</td><td>0,362</td><td>8,90</td><td>1,05</td></tr> <tr> <td>5902,600</td><td>20,000</td><td>SR</td><td>0,282</td><td>25,000</td><td>0,984</td><td>0,096</td><td>1,042</td><td>1460,502</td><td>2829,686</td><td>0,282</td><td>0,503</td><td>0,221</td><td>44,00</td><td>0,362</td><td>8,51</td><td>0,86</td></tr> <tr> <td>8956,130</td><td>20,000</td><td>SR</td><td>0,226</td><td>24,000</td><td>0,945</td><td>0,099</td><td>1,039</td><td>1453,514</td><td>2816,157</td><td>0,226</td><td>0,503</td><td>0,277</td><td>55,00</td><td>0,362</td><td>10,64</td><td>0,86</td></tr> <tr> <td>9134,090</td><td>20,000</td><td>SR</td><td>0,228</td><td>20,000</td><td>0,787</td><td>0,082</td><td>1,027</td><td>1462,818</td><td>2833,798</td><td>0,228</td><td>0,503</td><td>0,277</td><td>55,00</td><td>0,362</td><td>10,64</td><td>0,85</td></tr> <tr> <td>9134,150</td><td>20,000</td><td>SR</td><td>0,291</td><td>17,000</td><td>0,669</td><td>0,045</td><td>1,020</td><td>1466,128</td><td>2840,596</td><td>0,291</td><td>0,503</td><td>0,302</td><td>60,00</td><td>0,362</td><td>11,61</td><td>0,85</td></tr> <tr> <td>11929,950</td><td>20,000</td><td>SR</td><td>0,302</td><td>51,000</td><td>2,008</td><td>0,401</td><td>1,165</td><td>1412,196</td><td>2736,045</td><td>0,302</td><td>0,503</td><td>0,201</td><td>40,00</td><td>0,362</td><td>7,74</td><td>0,89</td></tr> <tr> <td>12132,270</td><td>20,000</td><td>SR</td><td>0,211</td><td>26,000</td><td>1,024</td><td>0,104</td><td>1,045</td><td>1445,368</td><td>2800,374</td><td>0,211</td><td>0,503</td><td>0,292</td><td>58,00</td><td>0,362</td><td>11,22</td><td>0,86</td></tr> <tr> <td>13772,440</td><td>20,000</td><td>SR</td><td>0,277</td><td>50,000</td><td>1,969</td><td>0,385</td><td>1,159</td><td>1402,412</td><td>2717,147</td><td>0,277</td><td>0,503</td><td>0,226</td><td>45,00</td><td>0,362</td><td>8,71</td><td>0,89</td></tr> <tr> <td>14425,820</td><td>20,000</td><td>SR</td><td>0,272</td><td>22,000</td><td>0,866</td><td>0,075</td><td>1,033</td><td>1464,453</td><td>2837,351</td><td>0,272</td><td>0,503</td><td>0,231</td><td>46,00</td><td>0,362</td><td>8,90</td><td>0,85</td></tr> <tr> <td>15305,090</td><td>20,000</td><td>SR</td><td>0,257</td><td>49,000</td><td>1,890</td><td>0,355</td><td>1,148</td><td>1397,777</td><td>2709,167</td><td>0,257</td><td>0,503</td><td>0,246</td><td>49,00</td><td>0,362</td><td>9,48</td><td>0,89</td></tr> <tr> <td>15398,710</td><td>20,000</td><td>SR</td><td>0,248</td><td>70,000</td><td>2,756</td><td>0,755</td><td>1,294</td><td>1329,437</td><td>2575,758</td><td>0,248</td><td>0,503</td><td>0,257</td><td>51,00</td><td>0,362</td><td>9,87</td><td>0,94</td></tr> <tr> <td>16071,790</td><td>20,000</td><td>SR</td><td>0,267</td><td>20,000</td><td>0,787</td><td>0,082</td><td>1,027</td><td>1467,303</td><td>2842,872</td><td>0,267</td><td>0,503</td><td>0,236</td><td>47,00</td><td>0,362</td><td>9,09</td><td>0,85</td></tr> <tr> <td>16085,900</td><td>20,000</td><td>SR</td><td>0,277</td><td>55,000</td><td>2,165</td><td>0,468</td><td>1,190</td><td>1389,875</td><td>2692,858</td><td>0,277</td><td>0,503</td><td>0,226</td><td>45,00</td><td>0,362</td><td>8,71</td><td>0,90</td></tr> <tr> <td>16097,820</td><td>20,000</td><td>SR</td><td>0,228</td><td>75,000</td><td>2,953</td><td>0,867</td><td>1,332</td><td>1297,773</td><td>2514,412</td><td>0,228</td><td>0,503</td><td>0,277</td><td>55,00</td><td>0,362</td><td>10,64</td><td>0,96</td></tr> <tr> <td>16121,250</td><td>20,000</td><td>SR</td><td>0,302</td><td>125,000</td><td>4,921</td><td>2,407</td><td>1,775</td><td>1281,559</td><td>2482,886</td><td>0,302</td><td>0,503</td><td>0,201</td><td>40,00</td><td>0,362</td><td>7,74</td><td>0,98</td></tr> <tr> <td>16225,570</td><td>20,000</td><td>SR</td><td>0,302</td><td>105,000</td><td>4,134</td><td>1,899</td><td>1,586</td><td>1309,031</td><td>2536,223</td><td>0,302</td><td>0,503</td><td>0,201</td><td>40,00</td><td>0,362</td><td>7,74</td><td>0,95</td></tr> <tr> <td>16225,820</td><td>20,000</td><td>SR</td><td>0,198</td><td>35,000</td><td>1,378</td><td>0,189</td><td>1,081</td><td>1412,485</td><td>2736,825</td><td>0,198</td><td>0,503</td><td>0,307</td><td>61,00</td><td>0,362</td><td>11,80</td><td>0,88</td></tr> <tr> <td>16318,850</td><td>20,000</td><td>SR</td><td>0,257</td><td>17,000</td><td>0,669</td><td>0,045</td><td>1,020</td><td>1471,219</td><td>2850,458</td><td>0,257</td><td>0,503</td><td>0,246</td><td>49,00</td><td>0,362</td><td>9,48</td><td>0,85</td></tr> <tr> <td>16343,180</td><td>20,000</td><td>SR</td><td>0,297</td><td>130,000</td><td>5,118</td><td>2,804</td><td>1,824</td><td>1269,389</td><td>2459,278</td><td>0,297</td><td>0,503</td><td>0,206</td><td>41,00</td><td>0,362</td><td>7,93</td><td>0,98</td></tr> <tr> <td>16346,480</td><td>20,000</td><td>SR</td><td>0,242</td><td>102,000</td><td>4,016</td><td>1,803</td><td>1,558</td><td>1270,536</td><td>2461,640</td><td>0,242</td><td>0,503</td><td>0,241</td><td>48,00</td><td>0,362</td><td>9,29</td><td>0,98</td></tr> <tr> <td>16378,490</td><td>20,000</td><td>SR</td><td>0,291</td><td>70,000</td><td>2,756</td><td>0,755</td><td>1,294</td><td>1289,700</td><td>2498,770</td><td>0,291</td><td>0,503</td><td>0,302</td><td>60,00</td><td>0,362</td><td>11,61</td><td>0,97</td></tr> <tr> <td>16378,510</td><td>20,000</td><td>SR</td><td>0,252</td><td>42,000</td><td>1,654</td><td>0,272</td><td>1,115</td><td>1412,300</td><td>2736,305</td><td>0,252</td><td>0,503</td><td>0,252</td><td>50,00</td><td>0,362</td><td>9,67</td><td>0,89</td></tr> <tr> <td>17319,990</td><td>20,000</td><td>SR</td><td>0,267</td><td>36,000</td><td>1,417</td><td>0,200</td><td>1,086</td><td>1433,477</td><td>2777,335</td><td>0,267</td><td>0,503</td><td>0,236</td><td>47,00</td><td>0,362</td><td>9,09</td><td>0,87</td></tr> </table>															1499,300	20,000	SR	0,231	185,000	7,283	5,273	2,389	1118,998	2188,037	0,231	0,503	0,272	54,00	0,362	10,45	1,12	5902,110	20,000	SR	0,272	168,000	6,614	4,349	2,210	1195,505	2316,269	0,272	0,503	0,231	46,00	0,362	8,90	1,05	5902,600	20,000	SR	0,282	25,000	0,984	0,096	1,042	1460,502	2829,686	0,282	0,503	0,221	44,00	0,362	8,51	0,86	8956,130	20,000	SR	0,226	24,000	0,945	0,099	1,039	1453,514	2816,157	0,226	0,503	0,277	55,00	0,362	10,64	0,86	9134,090	20,000	SR	0,228	20,000	0,787	0,082	1,027	1462,818	2833,798	0,228	0,503	0,277	55,00	0,362	10,64	0,85	9134,150	20,000	SR	0,291	17,000	0,669	0,045	1,020	1466,128	2840,596	0,291	0,503	0,302	60,00	0,362	11,61	0,85	11929,950	20,000	SR	0,302	51,000	2,008	0,401	1,165	1412,196	2736,045	0,302	0,503	0,201	40,00	0,362	7,74	0,89	12132,270	20,000	SR	0,211	26,000	1,024	0,104	1,045	1445,368	2800,374	0,211	0,503	0,292	58,00	0,362	11,22	0,86	13772,440	20,000	SR	0,277	50,000	1,969	0,385	1,159	1402,412	2717,147	0,277	0,503	0,226	45,00	0,362	8,71	0,89	14425,820	20,000	SR	0,272	22,000	0,866	0,075	1,033	1464,453	2837,351	0,272	0,503	0,231	46,00	0,362	8,90	0,85	15305,090	20,000	SR	0,257	49,000	1,890	0,355	1,148	1397,777	2709,167	0,257	0,503	0,246	49,00	0,362	9,48	0,89	15398,710	20,000	SR	0,248	70,000	2,756	0,755	1,294	1329,437	2575,758	0,248	0,503	0,257	51,00	0,362	9,87	0,94	16071,790	20,000	SR	0,267	20,000	0,787	0,082	1,027	1467,303	2842,872	0,267	0,503	0,236	47,00	0,362	9,09	0,85	16085,900	20,000	SR	0,277	55,000	2,165	0,468	1,190	1389,875	2692,858	0,277	0,503	0,226	45,00	0,362	8,71	0,90	16097,820	20,000	SR	0,228	75,000	2,953	0,867	1,332	1297,773	2514,412	0,228	0,503	0,277	55,00	0,362	10,64	0,96	16121,250	20,000	SR	0,302	125,000	4,921	2,407	1,775	1281,559	2482,886	0,302	0,503	0,201	40,00	0,362	7,74	0,98	16225,570	20,000	SR	0,302	105,000	4,134	1,899	1,586	1309,031	2536,223	0,302	0,503	0,201	40,00	0,362	7,74	0,95	16225,820	20,000	SR	0,198	35,000	1,378	0,189	1,081	1412,485	2736,825	0,198	0,503	0,307	61,00	0,362	11,80	0,88	16318,850	20,000	SR	0,257	17,000	0,669	0,045	1,020	1471,219	2850,458	0,257	0,503	0,246	49,00	0,362	9,48	0,85	16343,180	20,000	SR	0,297	130,000	5,118	2,804	1,824	1269,389	2459,278	0,297	0,503	0,206	41,00	0,362	7,93	0,98	16346,480	20,000	SR	0,242	102,000	4,016	1,803	1,558	1270,536	2461,640	0,242	0,503	0,241	48,00	0,362	9,29	0,98	16378,490	20,000	SR	0,291	70,000	2,756	0,755	1,294	1289,700	2498,770	0,291	0,503	0,302	60,00	0,362	11,61	0,97	16378,510	20,000	SR	0,252	42,000	1,654	0,272	1,115	1412,300	2736,305	0,252	0,503	0,252	50,00	0,362	9,67	0,89	17319,990	20,000	SR	0,267	36,000	1,417	0,200	1,086	1433,477	2777,335	0,267	0,503	0,236	47,00	0,362	9,09	0,87
1499,300	20,000	SR	0,231	185,000	7,283	5,273	2,389	1118,998	2188,037	0,231	0,503	0,272	54,00	0,362	10,45	1,12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
5902,110	20,000	SR	0,272	168,000	6,614	4,349	2,210	1195,505	2316,269	0,272	0,503	0,231	46,00	0,362	8,90	1,05																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
5902,600	20,000	SR	0,282	25,000	0,984	0,096	1,042	1460,502	2829,686	0,282	0,503	0,221	44,00	0,362	8,51	0,86																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
8956,130	20,000	SR	0,226	24,000	0,945	0,099	1,039	1453,514	2816,157	0,226	0,503	0,277	55,00	0,362	10,64	0,86																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
9134,090	20,000	SR	0,228	20,000	0,787	0,082	1,027	1462,818	2833,798	0,228	0,503	0,277	55,00	0,362	10,64	0,85																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
9134,150	20,000	SR	0,291	17,000	0,669	0,045	1,020	1466,128	2840,596	0,291	0,503	0,302	60,00	0,362	11,61	0,85																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
11929,950	20,000	SR	0,302	51,000	2,008	0,401	1,165	1412,196	2736,045	0,302	0,503	0,201	40,00	0,362	7,74	0,89																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
12132,270	20,000	SR	0,211	26,000	1,024	0,104	1,045	1445,368	2800,374	0,211	0,503	0,292	58,00	0,362	11,22	0,86																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
13772,440	20,000	SR	0,277	50,000	1,969	0,385	1,159	1402,412	2717,147	0,277	0,503	0,226	45,00	0,362	8,71	0,89																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
14425,820	20,000	SR	0,272	22,000	0,866	0,075	1,033	1464,453	2837,351	0,272	0,503	0,231	46,00	0,362	8,90	0,85																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
15305,090	20,000	SR	0,257	49,000	1,890	0,355	1,148	1397,777	2709,167	0,257	0,503	0,246	49,00	0,362	9,48	0,89																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
15398,710	20,000	SR	0,248	70,000	2,756	0,755	1,294	1329,437	2575,758	0,248	0,503	0,257	51,00	0,362	9,87	0,94																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
16071,790	20,000	SR	0,267	20,000	0,787	0,082	1,027	1467,303	2842,872	0,267	0,503	0,236	47,00	0,362	9,09	0,85																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
16085,900	20,000	SR	0,277	55,000	2,165	0,468	1,190	1389,875	2692,858	0,277	0,503	0,226	45,00	0,362	8,71	0,90																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
16097,820	20,000	SR	0,228	75,000	2,953	0,867	1,332	1297,773	2514,412	0,228	0,503	0,277	55,00	0,362	10,64	0,96																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
16121,250	20,000	SR	0,302	125,000	4,921	2,407	1,775	1281,559	2482,886	0,302	0,503	0,201	40,00	0,362	7,74	0,98																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
16225,570	20,000	SR	0,302	105,000	4,134	1,899	1,586	1309,031	2536,223	0,302	0,503	0,201	40,00	0,362	7,74	0,95																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
16225,820	20,000	SR	0,198	35,000	1,378	0,189	1,081	1412,485	2736,825	0,198	0,503	0,307	61,00	0,362	11,80	0,88																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
16318,850	20,000	SR	0,257	17,000	0,669	0,045	1,020	1471,219	2850,458	0,257	0,503	0,246	49,00	0,362	9,48	0,85																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
16343,180	20,000	SR	0,297	130,000	5,118	2,804	1,824	1269,389	2459,278	0,297	0,503	0,206	41,00	0,362	7,93	0,98																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
16346,480	20,000	SR	0,242	102,000	4,016	1,803	1,558	1270,536	2461,640	0,242	0,503	0,241	48,00	0,362	9,29	0,98																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
16378,490	20,000	SR	0,291	70,000	2,756	0,755	1,294	1289,700	2498,770	0,291	0,503	0,302	60,00	0,362	11,61	0,97																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
16378,510	20,000	SR	0,252	42,000	1,654	0,272	1,115	1412,300	2736,305	0,252	0,503	0,252	50,00	0,362	9,67	0,89																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
17319,990	20,000	SR	0,267	36,000	1,417	0,200	1,086	1433,477	2777,335	0,267	0,503	0,236	47,00	0,362	9,09	0,87																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
LEYENDA: SR: SECCION RECTA / T: TEE/R/RE : REDUCCION/ C: CODO / FIT: FICADURA / NA: NO APLICA / WEL: WELDOLET / SA: SIN ACCESO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						

Tabla 4: Cálculos Gasoducto 26" situación actual

REGISTROS MEDICION DE ESPESORES (ASME 31.G)																																																																																																																																																																							
INSTALACION:	AMA		AREA:		SAN JOAQUIN																																																																																																																																																																		
IDENTIFICACION:	GASODUCTO STA ROSA- SAN JOAQUIN 26"																																																																																																																																																																						
PRESSION DISEÑO:	1350,000	T	1,000	E	1,000	F	0,600																																																																																																																																																																
PRESSION OPERACION:			1,130	PSI																																																																																																																																																																			
TEMP. OPERACION:			120	°F																																																																																																																																																																			
TIEMPO DE OPERACION:			10	AÑOS																																																																																																																																																																			
TIPO DE MATERIAL:	SE ASUME		API 5L X52																																																																																																																																																																				
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">N° PROGRESIVAS</th> <th rowspan="2">DIA. (PULG.)</th> <th rowspan="2">TIPO COMP.</th> <th rowspan="2">AI (Pulg.)</th> <th rowspan="2">Longitud Actual Defecto (mm)</th> <th rowspan="2">Longitud Actual Defecto (pulg.)</th> <th rowspan="2">$L^2 + D^2 + t_1$</th> <th rowspan="2">Factor Fallas (f)</th> <th rowspan="2">Presión Segura Área Corroída (PSAC)</th> <th rowspan="2">Presión Falla Área Corroída (PFAC)</th> <th rowspan="2">LECT. MIN. (Pulg.)</th> <th rowspan="2">ESP. NOM. (Pulg.)</th> <th colspan="2">MAX REDUCC. ESPESOR</th> <th rowspan="2">ESP REQ. (Pulg.)</th> <th rowspan="2">VELOCIDAD CORR. MPY</th> <th rowspan="2">Factor de Reemplazo (RR) > 1 Reemplazar</th> </tr> <tr> <th>PLGS</th> <th>%</th> </tr> </table>															N° PROGRESIVAS	DIA. (PULG.)	TIPO COMP.	AI (Pulg.)	Longitud Actual Defecto (mm)	Longitud Actual Defecto (pulg.)	$L^2 + D^2 + t_1$	Factor Fallas (f)	Presión Segura Área Corroída (PSAC)	Presión Falla Área Corroída (PFAC)	LECT. MIN. (Pulg.)	ESP. NOM. (Pulg.)	MAX REDUCC. ESPESOR		ESP REQ. (Pulg.)	VELOCIDAD CORR. MPY	Factor de Reemplazo (RR) > 1 Reemplazar	PLGS	%																																																																																																																																						
N° PROGRESIVAS	DIA. (PULG.)	TIPO COMP.	AI (Pulg.)	Longitud Actual Defecto (mm)	Longitud Actual Defecto (pulg.)	$L^2 + D^2 + t_1$	Factor Fallas (f)	Presión Segura Área Corroída (PSAC)	Presión Falla Área Corroída (PFAC)	LECT. MIN. (Pulg.)	ESP. NOM. (Pulg.)	MAX REDUCC. ESPESOR		ESP REQ. (Pulg.)													VELOCIDAD CORR. MPY	Factor de Reemplazo (RR) > 1 Reemplazar																																																																																																																																											
												PLGS	%																																																																																																																																																										
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>2471,680</td><td>26,000</td><td>SR</td><td>0,2470</td><td>25,000</td><td>0,984</td><td>0,083</td><td>1,036</td><td>1462,985</td><td>1948,312</td><td>0,247</td><td>0,449</td><td>0,202</td><td>45,00</td><td>0,471</td><td>20,21</td><td>0,85</td></tr> <tr> <td>3456,360</td><td>26,000</td><td>SR</td><td>0,2245</td><td>58,000</td><td>2,283</td><td>0,447</td><td>1,183</td><td>1378,509</td><td>1833,928</td><td>0,225</td><td>0,449</td><td>0,225</td><td>50,00</td><td>0,471</td><td>22,45</td><td>0,91</td></tr> <tr> <td>3974,010</td><td>26,000</td><td>SR</td><td>0,1978</td><td>22,000</td><td>0,866</td><td>0,084</td><td>1,028</td><td>1461,051</td><td>1943,739</td><td>0,198</td><td>0,449</td><td>0,251</td><td>56,00</td><td>0,471</td><td>25,14</td><td>0,86</td></tr> <tr> <td>4233,060</td><td>26,000</td><td>SR</td><td>0,2021</td><td>26,000</td><td>1,024</td><td>0,090</td><td>1,039</td><td>1453,184</td><td>1933,273</td><td>0,202</td><td>0,449</td><td>0,247</td><td>55,00</td><td>0,471</td><td>24,70</td><td>0,86</td></tr> <tr> <td>6426,780</td><td>26,000</td><td>SR</td><td>0,1796</td><td>63,000</td><td>2,490</td><td>0,527</td><td>1,213</td><td>1329,549</td><td>1788,793</td><td>0,180</td><td>0,449</td><td>0,269</td><td>60,00</td><td>0,471</td><td>26,34</td><td>0,94</td></tr> <tr> <td>10853,140</td><td>26,000</td><td>SR</td><td>0,2604</td><td>56,000</td><td>2,205</td><td>0,416</td><td>1,171</td><td>1405,106</td><td>1889,311</td><td>0,260</td><td>0,449</td><td>0,189</td><td>42,00</td><td>0,471</td><td>18,86</td><td>0,89</td></tr> <tr> <td>11751,240</td><td>26,000</td><td>SR</td><td>0,2065</td><td>22,000</td><td>0,866</td><td>0,084</td><td>1,028</td><td>1462,367</td><td>1945,490</td><td>0,207</td><td>0,449</td><td>0,242</td><td>54,00</td><td>0,471</td><td>24,25</td><td>0,85</td></tr> <tr> <td>13498,080</td><td>26,000</td><td>SR</td><td>0,0943</td><td>85,000</td><td>3,346</td><td>0,959</td><td>1,363</td><td>1145,757</td><td>1524,281</td><td>0,094</td><td>0,449</td><td>0,355</td><td>79,00</td><td>0,471</td><td>35,47</td><td>1,09</td></tr> <tr> <td>15917,700</td><td>26,000</td><td>SR</td><td>0,1706</td><td>29,000</td><td>1,142</td><td>0,112</td><td>1,049</td><td>1437,977</td><td>1913,042</td><td>0,171</td><td>0,449</td><td>0,278</td><td>62,00</td><td>0,471</td><td>27,84</td><td>0,87</td></tr> </table>															2471,680	26,000	SR	0,2470	25,000	0,984	0,083	1,036	1462,985	1948,312	0,247	0,449	0,202	45,00	0,471	20,21	0,85	3456,360	26,000	SR	0,2245	58,000	2,283	0,447	1,183	1378,509	1833,928	0,225	0,449	0,225	50,00	0,471	22,45	0,91	3974,010	26,000	SR	0,1978	22,000	0,866	0,084	1,028	1461,051	1943,739	0,198	0,449	0,251	56,00	0,471	25,14	0,86	4233,060	26,000	SR	0,2021	26,000	1,024	0,090	1,039	1453,184	1933,273	0,202	0,449	0,247	55,00	0,471	24,70	0,86	6426,780	26,000	SR	0,1796	63,000	2,490	0,527	1,213	1329,549	1788,793	0,180	0,449	0,269	60,00	0,471	26,34	0,94	10853,140	26,000	SR	0,2604	56,000	2,205	0,416	1,171	1405,106	1889,311	0,260	0,449	0,189	42,00	0,471	18,86	0,89	11751,240	26,000	SR	0,2065	22,000	0,866	0,084	1,028	1462,367	1945,490	0,207	0,449	0,242	54,00	0,471	24,25	0,85	13498,080	26,000	SR	0,0943	85,000	3,346	0,959	1,363	1145,757	1524,281	0,094	0,449	0,355	79,00	0,471	35,47	1,09	15917,700	26,000	SR	0,1706	29,000	1,142	0,112	1,049	1437,977	1913,042	0,171	0,449	0,278	62,00	0,471	27,84	0,87
2471,680	26,000	SR	0,2470	25,000	0,984	0,083	1,036	1462,985	1948,312	0,247	0,449	0,202	45,00	0,471	20,21	0,85																																																																																																																																																							
3456,360	26,000	SR	0,2245	58,000	2,283	0,447	1,183	1378,509	1833,928	0,225	0,449	0,225	50,00	0,471	22,45	0,91																																																																																																																																																							
3974,010	26,000	SR	0,1978	22,000	0,866	0,084	1,028	1461,051	1943,739	0,198	0,449	0,251	56,00	0,471	25,14	0,86																																																																																																																																																							
4233,060	26,000	SR	0,2021	26,000	1,024	0,090	1,039	1453,184	1933,273	0,202	0,449	0,247	55,00	0,471	24,70	0,86																																																																																																																																																							
6426,780	26,000	SR	0,1796	63,000	2,490	0,527	1,213	1329,549	1788,793	0,180	0,449	0,269	60,00	0,471	26,34	0,94																																																																																																																																																							
10853,140	26,000	SR	0,2604	56,000	2,205	0,416	1,171	1405,106	1889,311	0,260	0,449	0,189	42,00	0,471	18,86	0,89																																																																																																																																																							
11751,240	26,000	SR	0,2065	22,000	0,866	0,084	1,028	1462,367	1945,490	0,207	0,449	0,242	54,00	0,471	24,25	0,85																																																																																																																																																							
13498,080	26,000	SR	0,0943	85,000	3,346	0,959	1,363	1145,757	1524,281	0,094	0,449	0,355	79,00	0,471	35,47	1,09																																																																																																																																																							
15917,700	26,000	SR	0,1706	29,000	1,142	0,112	1,049	1437,977	1913,042	0,171	0,449	0,278	62,00	0,471	27,84	0,87																																																																																																																																																							
LEYENDA: SR: SECCION RECTA / T: TEE/R/RE : REDUCCION/ C: CODO / FIT: FICADURA / NA: NO APLICA / WEL: WELDOLET / SA: SIN ACCESO																																																																																																																																																																							



Gráfica 1: Curva del Factor de Reemplazo Gasoducto de 20".



Gráfica 2: Curva del Factor de Reemplazo Gasoducto de 26".

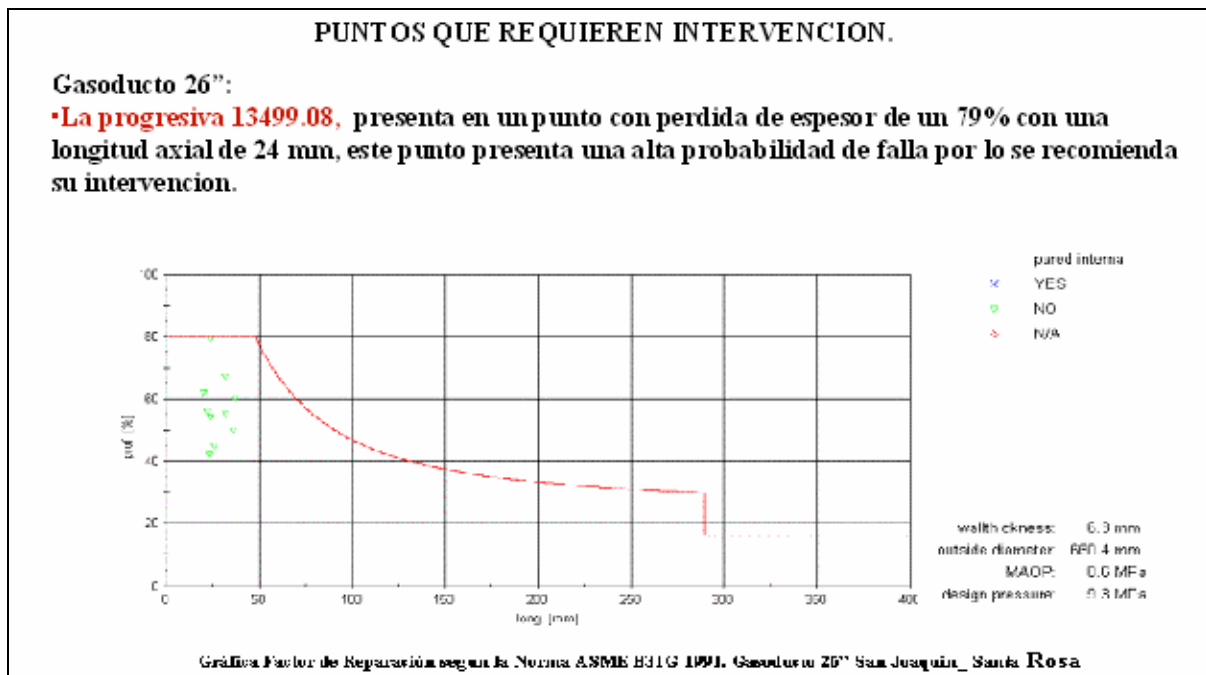




Figura 1: Proceso de Predicción de Condición Futura en el Gasoducto

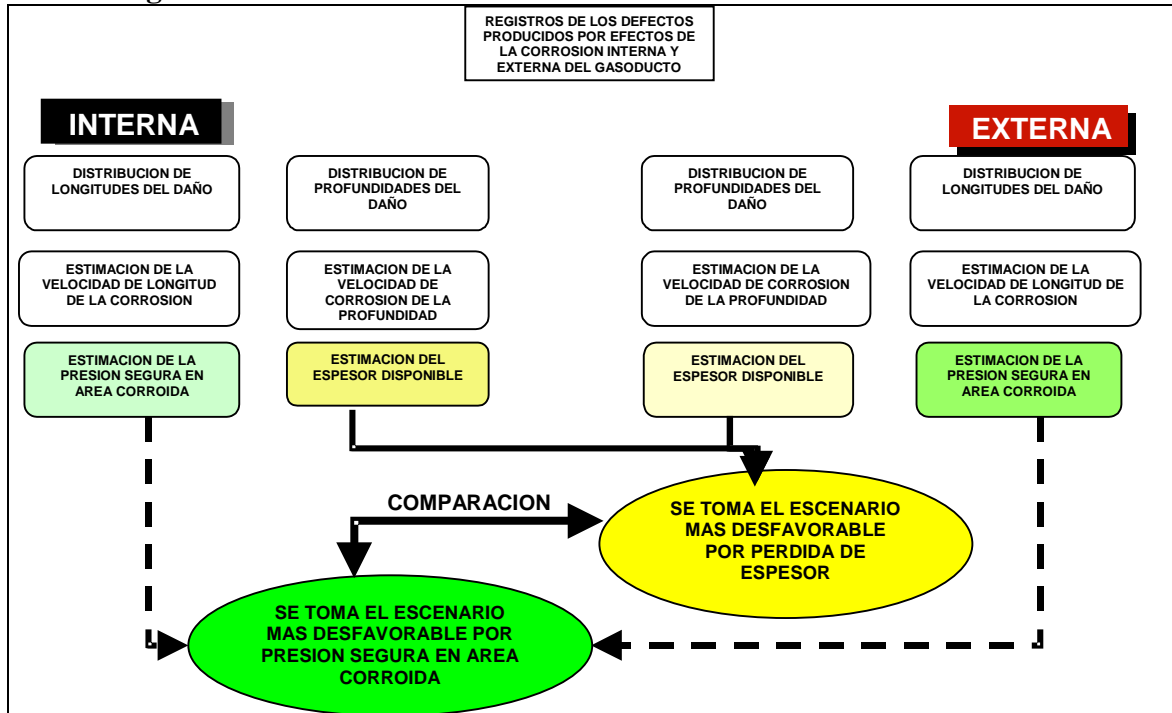
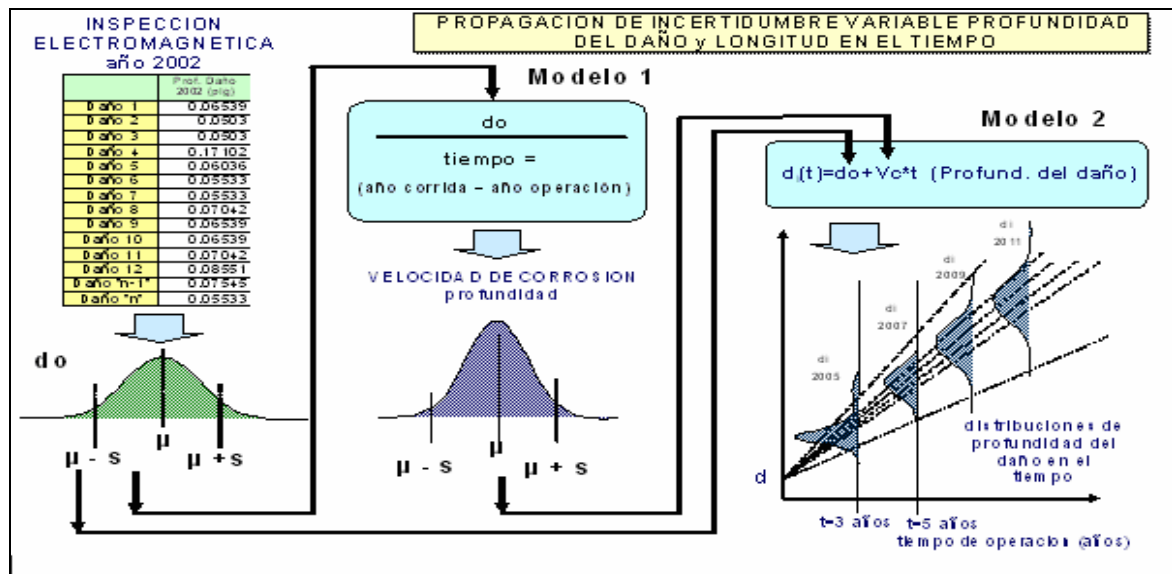


Figura 1: Para mejorar el entendimiento del Proceso de cálculo se realiza una representación Paso a Paso

Paso1.





Paso 2.

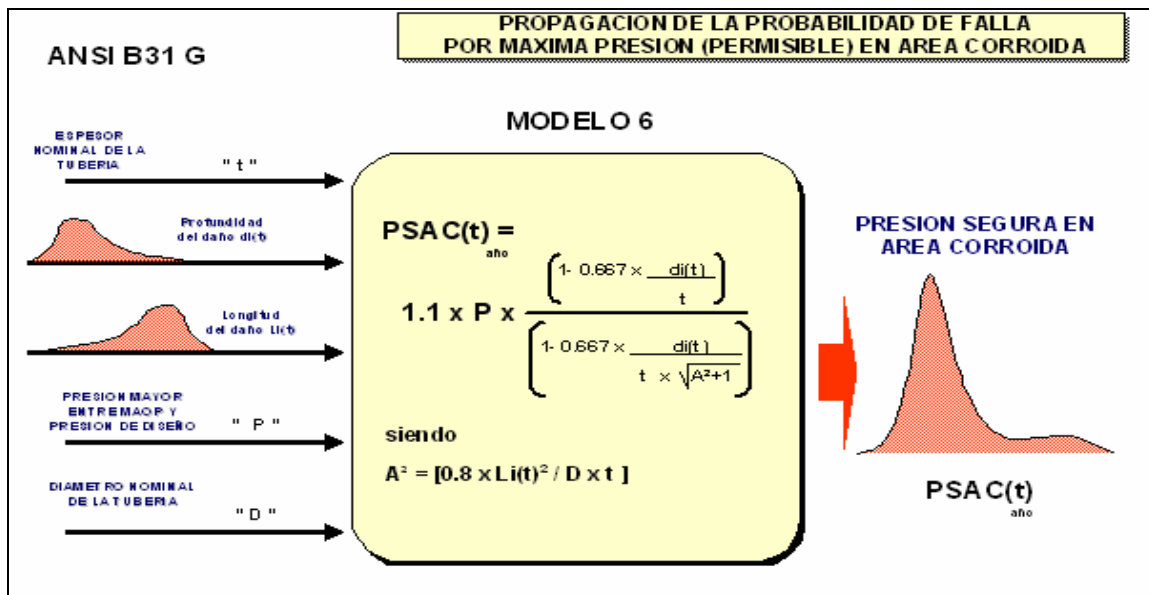
CONFIABILIDAD BASADA EN LA CONDICION	ESTIMACION DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CRITERIO INTERFERENCIA ESFUERZO - RESISTENCIA
<p>La probabilidad de falla y la Confiabilidad vendrá dado por el modelo de Interferencia Esfuerzo (ctte) – Resistencia Distribuida tanto para el espesor mínimo como para ANSI B31G tomando el mayor valor de Probabilidad de Falla de ambos modelos</p> <p>ESFUERZO: s RESISTENCIA: $g(y)$ ESFUERZO PUNTUAL – RESISTENCIA DISTRIBUIDA</p>	
<p>donde:</p> <p>→ Probabilidad de Falla</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> $C = Pr(y \geq s) = \int_s^{\infty} g(y) d_y$ </div> <p>CONFIABILIDAD</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> $F = Pr(y \leq s) = \int_{-\infty}^s g(y) d_y$ </div> <p>PROBABILIDAD DE FALLA</p> $F_{(t)} = 1 - \Phi \left[\frac{s - \mu_{(t)}}{\sigma_{(t)}} \right]$
<p>para Espesor mínimo</p> <p>F = Porcentaje de área bajo la curva normal std</p> <p>$\mu(t)$ = media de $t_{disponible\ año}$</p> <p>$s(t)$ = desviación estandar de $t_{disponible\ año}$</p> <p>s = Espesor mínimo requerido (ctte)</p>	<p>para ANSIB31 G</p> <p>F = Porcentaje de área bajo la curva normal std</p> <p>$\mu(t)$ = media de PSAC(t)</p> <p>$s(t)$ = desviación estandar de PSAC(t)</p> <p>s = Máxima Presión entre MAOP o Presión de diseño</p>

Paso 3.

PROPAGACION DE LA PROBABILIDAD DE FALLA POR PERDIDA DE ESPESOR	
<p>Espesor mínimo</p> <p>ESPESOR NOMINAL DE LA TUBERIA "t"</p> <p>Profundidad del daño di año</p> <p>espesor plg</p>	<div style="border: 2px solid green; padding: 10px; text-align: center; background-color: #90ee90;"> <p>MODELO 5</p> $t_{(t)\ año} = t - di(t)_{año}$ </div> <p>Espesor disponible año "n"</p>
<p>ANSI B31.8</p> <p>t disponible año</p> <p>t mínimo</p> <p>tiempo en años</p> <p>t=3 años t=5 años t=7 años t=9 años</p> <p>Probabilidad de Falla a t=7 años</p> <p>Probabilidad de Falla a t=9 años</p>	$F_{(t)} = 1 - \Phi \left[\frac{t - \mu_{disponible(t)}}{\sigma_{disponible(t)}} \right]$



Paso 4.



Paso 5.

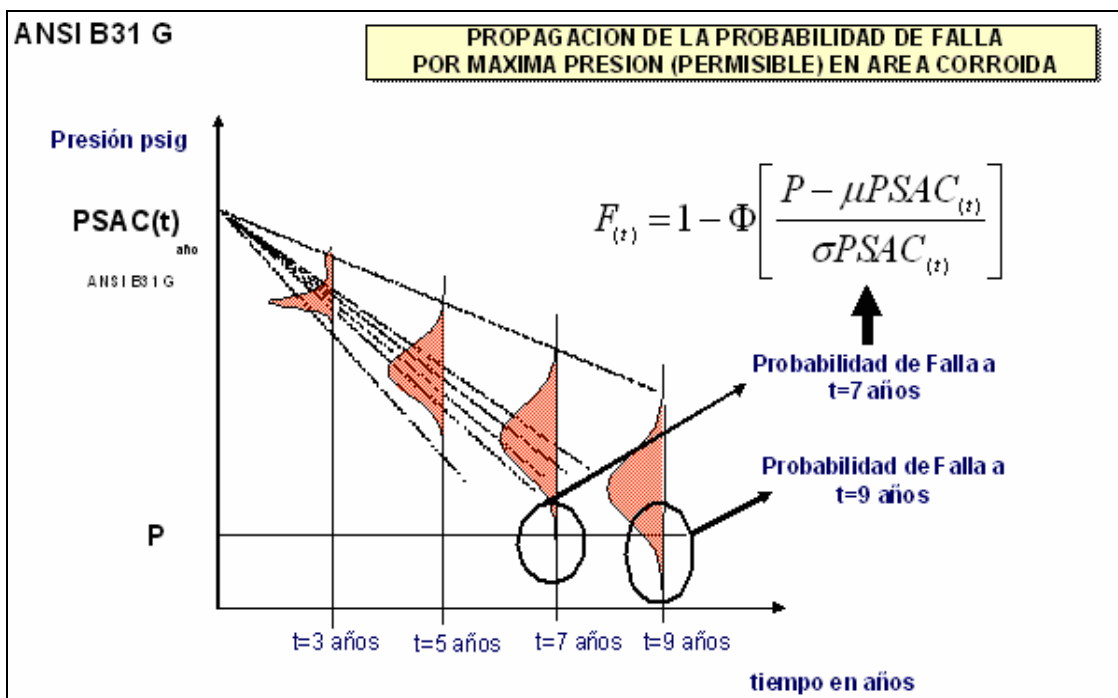




Figura 2: Establecimiento de Frecuencias de Inspección Gasoducto de 14'' aplicando Análisis Costo Riesgo Beneficio

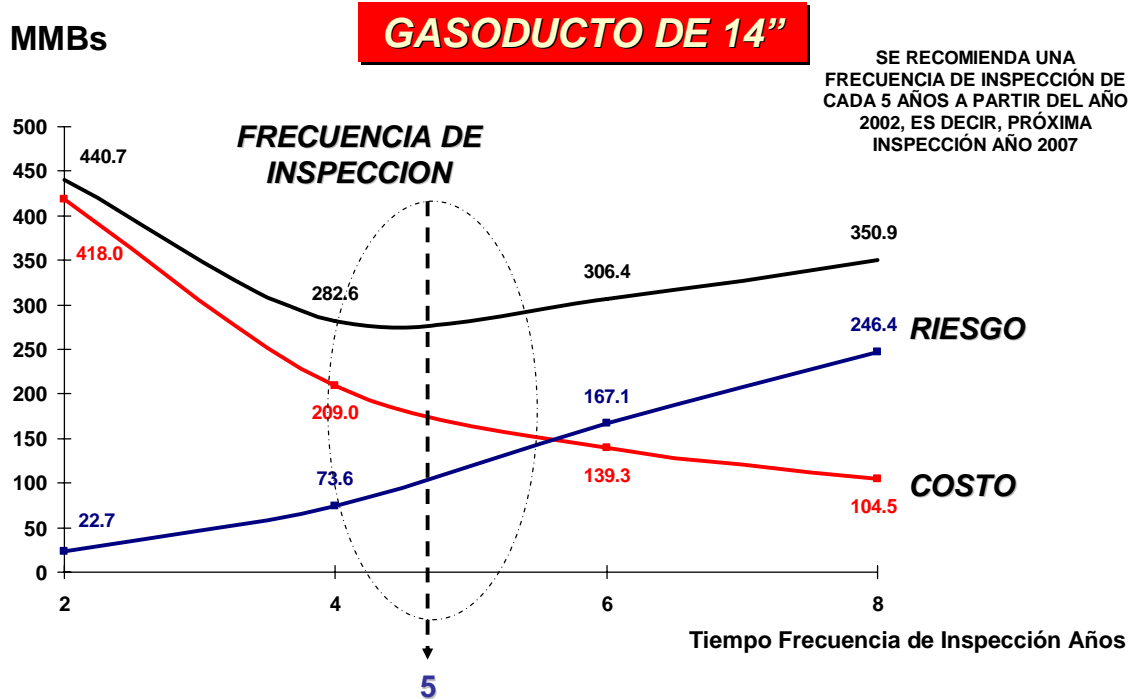
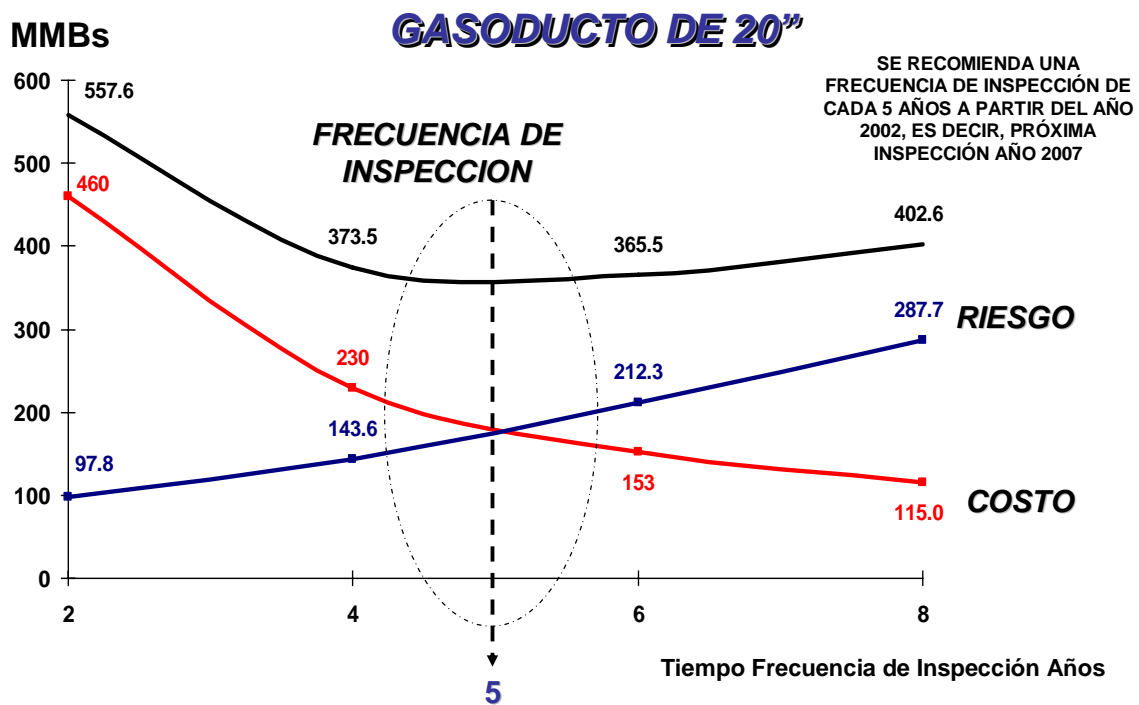


Figura 3: Establecimiento de Frecuencias de Inspección Gasoducto de 20'' aplicando Análisis Costo Riesgo Beneficio



Autores:
Ing. JUAN FARINHA
Ing. DANNY PEREZ
Ing. LUISA BECERRA
Ing. MANUEL ROSARIO