

ADECUACION DE LA RED DE GAS EN LA LINEA GENERADORA DE VAPOR
SATURADO DE UNA EMPRESA ALIMENTICIA

ALONSO PINZON CADENA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
GRUPO DE INVESTIGACION EN CORROSION
BUCARAMANGA
2011

ADECUACION DE LA RED DE GAS EN LA LINEA GENERADORA DE VAPOR
SATURADO DE UNA EMPRESA ALIMENTICIA

ALONSO PINZON CADENA

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al Título de Ingeniero
Metalúrgico

TUTOR UIS:

M.Sc. CUSTODIO VÁSQUEZ QUINTERO

Profesor de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales

TUTOR PLANTA:

Ing. JOSE ARIEL FLOREZ

Jefe de Mantenimiento FINCA S.A. Planta Bucaramanga

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
GRUPO DE INVESTIGACION EN CORROSION
BUCARAMANGA

2011

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	14
1. OBJETIVOS	18
1.1. OBJETIVO GENERAL	18
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	18
2. MARCO TEORICO	19
2.1. CALDERAS Y TIPOS	19
2.1.1. Calderas Pirotubulares	20
2.1.2. Calderas Acuotubulares	21
2.2. FORMAS DE CORROSION PRESENTES LÍNEAS DE GAS	22
2.2.1. Corrosión General o Uniforme	22
2.2.2. Corrosión Atmosférica	22
2.2.3. Corrosión Galvánica	22
2.2.4. Corrosión por Fisuras o “Crevice”	23
2.2.5. Corrosión por Picadura o “Pitting”	25
2.2.6. Corrosión por Fricción o “Fretting”	25
2.2.7. Corrosión Selectiva	25
2.2.8. Corrosión Microbiológica (MIC)	25
2.2.9. Corrosión por Rendija	26
2.3. SISTEMAS PRESENTES EN LA LÍNEA DE GAS	26
2.3.1. GAS NATURAL	26
2.3.2. TRANSPORTE POR TUBERIAS Y TIPOS	28
2.3.2.1 Tuberías de Hierro Dúctil	29
2.3.1.2 Tuberías de Hierro	29
2.3.1.3 Tuberías de Cobre	29
2.3.1.4 Tuberías de PVC	29
2.3.1.5 Tuberías de Polipropileno	29

2.4	NORMAS DE DISEÑO ASME B31-8	30
2.4.1	Alcance	30
2.4.2	Propósito	30
3	METODOLOGÍA EMPLEADA	33
3.1	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA O ESTADO DEL ARTE	34
3.2	ANÁLISIS DE FALLAS Y ANÁLISIS DE DATOS	34
3.2.1	Controlador HONEYWELL Serie 7800 (PLC)	37
3.2.2	Corrosión interna de la tubería	40
3.2.2.1	Prueba realizada	41
3.2.3	Análisis de Espesores KRAUTKRAMER DM4 SERIES	43
3.2.3.1	Prueba realizada	44
3.3	RECOMENDACIONES DE MEJORA E IMPLEMENTACIÓN BASADA EN NORMAS ASME B31-8 Y ASTM A-53	46
3.3.1	Preparación, biselado y soldadura en proceso	49
3.3.2	Protección Externa: Pinturas Anticorrosivas	50
4	RESULTADOS OBTENIDOS	51
4.1	IMPACTO AMBIENTAL	55
4.2	SEGURIDAD	55
	CONCLUSIONES	56
	BIBLIOGRAFIA	58

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema Caldera Piro tubular	20
Figura 2. Esquema Caldera Acuotubular	21
Figura 3. Corrosión Galvánica	23
Figura 4. Corrosión por Fisuras	24
Figura 5. Gasoducto	27
Figura 6. Integración de norma principal ASME B31-8	31
Figura 7. Esquema general de la metodología empleada	33
Figura 8. Caldera Piro tubular FINCA S.A. seccional Bucaramanga	35
Figura 9. Tablero de control marcha de caldera	36
Figura 10. Tablero de control y potencia. Caldera en marcha FINCA S.A.	37
Figura 11. Accesorios que presentan corrosión galvánica	38
Figura 12. Corrosión Uniforme	39
Figura 13. Corrosión por rendijas	40
Figura 14. Inspección interna en la red de gas antigua	42
Figura 15. Análisis de espesores con equipo KRAUTKRAMER	44
Figura 16. Preparación, biselado y soldadura en proceso	50
Figura 17. Pinturas de protección exterior de la red de gas	51
Figura 18. Subestación actual montaje red de gas	52
Figura 19. Finalización de montaje de la red de gas natural	53
Figura 20. Responsabilidad ambiental	55

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. BOROSCOPIO EXTECH INSTRUMENTS	40
Tabla 2. Medidor de espesor ultrasónico KRAUTKRAMER	43
Tabla 3. Resultados de inspección por ultrasonido	45
Tabla 4. Especificaciones Tubería Acero Al Carbono ASTM A53	47
Tabla 5. Composición química Tubería Acero Al Carbono ASTM A53	47
Tabla 6. Materiales utilizados	48

GLOSARIO

Gasoducto: son todas las partes de las instalaciones físicas a través de las cuales se mueve el gas en su transporte, incluyendo tuberías, válvulas, accesorios, bridas.

Línea principal de gas: es un segmento del gasoducto en un sistema de tuberías de distribución, instalado para llevar el gas a las líneas de servicio individual o a otras líneas principales.

Regulador de servicio: es un regulador instalado en una línea de servicio de gas para controlar la presión del gas entregado a la red.

Válvula de retención: es una válvula instalada para detener el flujo de gas en una tubería.

Tramo: es una pieza de tubo de la longitud que despacha el proveedor, para este montaje, los tramos en tuberías equivalen a 6.40 mts nominales.

Espesor nominal de pared – SCH – Calibre: bajo el presente código, la tubería puede pedirse con un espesor de pared computado, sin añadir ninguna holgura para compensar la tolerancia (depende del factor de diseño).

Diámetro externo – OD: es el diámetro externo de la tubería tal como se produjo o tal como se especifico.

Tubería sin costura: es un producto tubular fundido hecho sin una costura soldada. Se fabrica mediante trabajo en caliente del acero y si es necesario, por un posterior acabado en frío del producto tubular trabajado en caliente, para producir la forma deseada, dimensiones y propiedades. Las especificaciones típicas son ASTM A 53, ASTM A 106 Y API 5L.

PLC (Honeywell Burner Control): sigla que traduce la frase Controlador Lógico Programable, el cual tiene la función de controlar la lógica de funcionamiento de maquinas, planta y procesos industriales procesando y recibiendo señales digitales y análogas.

Aguas arriba – aguas abajo: concepto utilizado en control de procesos el cual toma como base la dirección de flujo señalando un punto de partida.

ASME: The American Society of Mechanical Engineers.

ASTM: American Society for Testing and Materials.

AWS: American Welding Society.

SMAW: soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido.

ICONTEC: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

END´S: Ensayos no Destructivos.

Unión a tope: soldadura que se realiza entre los bordes de las piezas a unir. La preparación se hará de acuerdo con el espesor de las piezas.

Corrosión por Picadura o Pitting: se produce en zonas de baja corrosión generalizada y el proceso (reacción) anódico produce unas pequeñas “picaduras” en el cuerpo que afectan.

Corrosión Galvánica: es una forma de corrosión acelerada que puede ocurrir cuando metales distintos (con distinto par redox) se unen eléctricamente en presencia de un electrolito.

Corrosión por rendija: es una forma de corrosión localizada asociada con espacios confinados o rendijas formadas por ciertas configuraciones geométricas. Es también llamada corrosión por aireación diferencial. Las regiones con diferentes concentraciones de oxígeno se comportan como una cupla de corrosión. Las zonas de baja concentración se dan dentro de la rendija y actúan como ánodos donde el metal se oxida.

Empaques espiro metálicos: sellos de uso general en el sector industrial, utilizados para instalarse en unión de bridas, evitando así las fugas de fluidos.

RESUMEN

TITULO: ADECUACION DE LA RED DE GAS EN LA LINEA GENERADORA DE VAPOR SATURADO DE UNA EMPRESA ALIMENTICIA *

AUTOR: ALONSO PINZON CADENA **

PALABRAS CLAVE: Norma ASME, Corrosión, Tuberías, Procesos de Operación, Caldera Piro-tubular, Inspección, Eficiencia, Red de Gas.

DESCRIPCION:

El gas natural se utiliza como combustible y como materia prima en la industria, su poder calórico, fácil regulación, contaminación mínima y transporte por tuberías lo hace una forma de energía muy eficiente; sin embargo los sistemas de transporte deben cumplir con estándares de seguridad, confiabilidad y funcionamiento establecidos en las normas ASME B31-8 y en la selección adecuada de materiales comprendidos en la norma ASTM A 53 que minimicen los problemas de los procesos industriales como es el caso de la corrosión, el cual produce pérdidas económicas que pueden ser directas (relacionadas con el mantenimiento de partes dañadas) o indirectas (debido a paradas de planta imprevistas).

FINCA S.A. seccional Bucaramanga filial de CONTEGRAL S.A., es una empresa dedicada a la producción y distribución de alimentos concentrados.

Evidentemente el control de los procesos de operación y producción son fundamentales; no obstante se presentan problemas en la línea de generación de vapor saturado de la caldera, generando altos costos por paradas de planta.

La integración de norma ASME B-31-8 en conjunto con los ensayos no destructivos , la selección de materiales de acero al carbono ASTM A-53 y soldaduras API 1104 desarrollaron un importante papel en el desarrollo del montaje.

Finalmente se llevo a cabo una evaluación de los parámetros de diseño y operación existentes; mediante ensayos e inspección se realizo un diagnostico y se planteo el proyecto en mención, como un medio de mantener la integridad de la red de gas y mayor eficiencia en los procesos productivos.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de Materiales. Tutor: M.Sc. Custodio Vásquez Quintero.
Tutor Planta: Ing. José Ariel Flórez

ABSTRACT

TITLE: FITNESS NETWORK GENERATING GAS IN THE LINE OF SATURATED STEAM FOOD COMPANY *

AUTHOR: ALONSO PINZON CADENA **

KEY WORDS: ASME, Corrosion, Piping, Process Operation, Pirotubular Boiler, Inspection, Efficiency, Gas Network.

DESCRIPTION:

The natural gas used as fuel and as raw material in the industry, its calorific value, easily regulated, minimum pollution and pipeline transportation makes it a very efficient form of energy, but transport systems must meet safety standards, reliability and performance criteria in ASME B31-8 and the proper selection of materials covered by ASTM A 53 to minimize the problems of industrial processes such as corrosion, which causes economic losses may be direct (related to the maintenance of damaged parts) or indirect (due to unplanned shutdowns).

FINCA S.A. Bucaramanga branch CONTEGRAL S.A. subsidiary is a company dedicated to the production and distribution of food concentrates. Obviously the controls of operation and production processes are critical; however there are problems with the line generating saturated steam boiler, generating high costs of plant shutdowns.

The integration of ASME B-31 to 8 in conjunction with non-destructive testing, material selection of carbon steel ASTM A-53 and API 1104 welding on an important role in the development of the assembly.

Finally took out an assessment of the design and operating parameters existing testing and inspection by a diagnosis was made and brought up the project in question, as a means of preserving the integrity of the gas network and more efficient processes productive.

* Work degree

** Faculty of Physicochemical Engineering. School of Metallurgical Engineering and Materials Science. Tutor: M.Sc. Custodio Vásquez Quintero.

Plant Tutor: Ing. José Ariel Flórez

INTRODUCCIÓN

El 87% de todas las formas de energía que usamos corresponde a hidrocarburos. El carbón, junto al petróleo genera 64%, el gas genera el 23% (equivalente a unos 50 millones de barriles de petróleo al día). Un 12% es generado con hidroeléctricas y plantas nucleares.

Todas las demás formas de energía --eólica, solar, geotérmica, etc.-- representan solo el 1%. El gas natural es un hidrocarburo fósil atrapado bajo la tierra en depósitos que alcanzan enormes dimensiones.

Como todo hidrocarburo, el gas natural, compuesto de carbono e hidrógeno, es un combustible con alto contenido de energía.

El gas natural se utiliza como combustible y como materia prima en la industria.

Como combustible se emplea por su gran poder calorífico, por ser su combustión fácilmente regulable, ser limpia y producir escasa contaminación.

Como materia prima es la más adecuada para la fabricación de amoníaco (producto base de toda la industria de abonos nitrogenados), y también del metanol, producto que se utiliza en la fabricación de plásticos y proteínas sintéticas. A partir del gas natural se obtienen materias primas de base en la industria petroquímica (etileno, butadieno, y propileno).

El uso de combustibles gaseosos, para iluminación y fines domésticos, ha sido muy general desde la mitad del siglo XIX. Sin embargo, apenas se utilizaba en la industria debido a la abundancia de combustibles sólidos y líquidos disponibles y a la dificultad que presentaba el transporte y almacenamiento de los combustibles gaseosos.

El desarrollo del empleo del gas natural se ha realizado con posterioridad al uso del petróleo. El gas natural, que aparecía en casi todos los yacimientos

petrolíferos, se quemaba a la salida del pozo como un residuo más. Únicamente en EE. UU, y siempre en lugares muy próximos a zonas petrolíferas, se utilizaba como combustible doméstico por su gran poder calorífico (9.000-12.000 Kcal/m³).

La necesidad de nuevas fuentes hizo descubrir nuevos yacimientos que poseían enormes reservas de gas natural acompañadas de pequeñas cantidades de petróleo. Pero seguía existiendo el problema de su almacenamiento y transporte.

El problema del transporte queda resuelto mediante la creación de la cadena del gas natural licuado (GNL). De forma esquemática, la cadena del GNL consta de las siguientes fases:

Transporte del gas desde los yacimientos hasta la costa, por medio del gasoducto.

Licuación del gas natural.

Transporte marítimo del GNL en buques metaneros.

Recepción del GNL en las instalaciones portuarias del país importador y regasificación inmediata, seguida de distribución comercial por tubería.

El transporte por tubería (o transporte por ductos) es un modo de transporte de gases, líquidos, sólidos o multifásico, dirigido en general a través de las tuberías que constituyen una red o un sistema de transporte.

Dependiendo del producto transportado, el gasoducto recibe diferentes nombres, así como los reglamentos, las técnicas de construcción y de funcionamiento también varían.

Los principales sistemas de transporte por tubería son los siguientes:

- ❖ El gas natural transportado por gasoducto
- ❖ Hidrocarburos líquidos, especialmente aceite, transportados por gasoducto.

Los tubos de acero a diferencia de los tubos plásticos, tienen las siguientes características resaltantes:

- ❖ Altamente resistentes al impacto.
- ❖ No presentan notables variaciones en sus propiedades mecánicas, por cambios de temperatura o efectos de la radiación solar.
- ❖ Ideales para tendidos largos de tubería.
- ❖ Tienen vida útil prolongada y por ende bajo nivel de reposición.

Los tubos para conducción de fluidos tales como agua, vapor, gas y aire a altas presiones, son fabricados bajo norma. El código ASME consiste de varias secciones publicadas individualmente, siendo cada una de ellas un Estándar Nacional Estadounidense. La Norma ASME B31-8 establece los requerimientos considerados como necesarios para el diseño seguro y la construcción de redes en tuberías a presión, asimismo el código prohíbe el diseño, realización y montaje que se conozcan sean inseguros.

La tubería de acero **ASTM A 53** es recomendada para instalaciones de gas y conducción de fluidos corrosivos.

La corrosión está ligada en la industria a problemas tanto de seguridad como económicos. Los ingenieros son en la mayoría de los casos los responsables de minimizar los costos y los riesgos de la corrosión en muchos ámbitos: aviones, plantas generadoras de energía (térmica, nuclear, hidroeléctrica, eólica), plantas de manufactura, de procesos químicos, estructuras de concreto. Sin embargo muchas veces ignoran las causas posibles de la corrosión y su forma de prevenirla.

Las pérdidas económicas que implica la corrosión pueden ser directas (relacionadas con el mantenimiento de partes dañadas) o indirectas debidas a: a) paradas de planta imprevistas para efectuar reparaciones; b) pérdidas de producto

de contenedores, tanques, cañerías, etc.; c) pérdidas de eficiencia por productos de corrosión en intercambiadores de calor; d) contaminación por los derrames producidos a causa de corrosión en tanques, cañerías, etc.; e) por sobredimensionamiento en el diseño de instalaciones debido a la falta de información sobre la corrosión de los componentes en un ambiente determinado. La corrosión además ha sido la causa de pérdidas de vidas humanas como ha sido el caso de accidentes aéreos ocurridos por corrosión bajo tensiones, o incendios ocasionados por pérdidas masivas de combustible.

Los metales se encuentran en la naturaleza en forma de óxidos, sales u otros compuestos siendo muy raros los que se encuentran en forma metálica pura. Para obtener el metal a partir del mineral es necesario gastar una apreciable cantidad de energía. En general, cuanto mayor es la energía empleada tanto mayor es su tendencia a recuperar su estado original. La corrosión es pues aparentemente inevitable desde el punto de vista **Termodinámico**. El ingeniero deberá valerse de sus conocimientos de **Cinética Química** a fin de lograr que la velocidad de corrosión pueda ser controlada, y en lo posible que sea despreciable.

Los procesos de corrosión se pueden clasificar de acuerdo a su morfología, al medio en que se producen o a los factores que influyen en su desarrollo.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Adecuar la red de gas en la línea generadora de vapor saturado de una empresa alimenticia.

1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ❖ Determinar los tipos de corrosión presentes en la red de gas natural de la línea generadora de vapor saturado de la compañía FINCA S.A. seccional Bucaramanga.
- ❖ Seleccionar materiales resistentes a la corrosión teniendo en cuenta los mecanismos de daño presentes en la red antigua según norma ASTM A-53
- ❖ Realizar el montaje de una nueva red de gas natural de la línea generadora de vapor saturado para la compañía FINCA S.A. seccional Bucaramanga, basados en la Norma ASME B31-8.

2. MARCO TEORICO

2.1. CALDERAS Y TIPOS

Las calderas¹, en sus vertientes de vapor y agua caliente, están ampliamente extendidas tanto para uso industrial como no industrial, encontrándose en cometidos tales como, generación de electricidad, procesos químicos, calefacción, agua caliente sanitaria, etc.

Estos ejemplos muestran la complejidad que puede tener una caldera y que haría muy extenso la descripción de los elementos que se integran en ellas. Por ello, para el lector interesado en el conocimiento, no ya de sus elementos, si no del léxico empleado en calderas, le remitimos a la Norma UNE 9001, donde encontrara una terminología suficientemente amplia.

Así mismo, para garantizar su seguridad, el Reglamento de Aparatos a Presión, establece unas prescripciones específicas algunas de las cuales se recogen en los siguientes puntos.

Aunque existen numerosos diseños y patentes de fabricación de calderas, cada una de las cuales puede tener características propias, las calderas se pueden clasificar en dos grandes grupos; calderas piro-tubulares y acuotubulares, algunas de cuyas características se indican a continuación.

¹Manual de calderas. Principios operativos de mantenimiento, construcción, instalación, reparación, seguridad, requerimiento y normativas. Kohan, Anthony Lawrence. Editorial McGraw-Hill / Interamericana de España, S.A. 1ª ed.,

2.1.1. CALDERAS PIROTUBULARES²

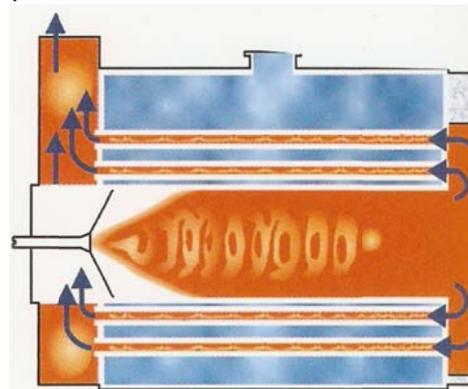
Se denominan pirotubulares por ser los gases calientes procedentes de la combustión de un combustible, los que circulan por el interior de tubos cuyo exterior esta bañado por el agua de la caldera.

El combustible se quema en un hogar, en donde tiene lugar la transmisión de calor por radiación, y los gases resultantes, se les hace circular a través de los tubos que constituyen el haz tubular de la caldera, y donde tiene lugar el intercambio de calor por conducción y convección. Según sea una o varias las veces que los gases pasan a través del haz tubular, se tienen las calderas de uno o de varios pasos. En el caso de calderas de varios pasos, en cada uno de ellos, los humos solo atraviesan un determinado número de tubos, cosa que se logra mediante las denominadas cámaras de humos. Una vez realizado el intercambio térmico, los humos son expulsados al exterior a través de la chimenea.

Figura 1. Esquema Caldera pirotubular



Vista 3D de la caldera



Corte longitudinal de la caldera

Fuente. Manual de instalación y mantenimiento de Calderas Continental

2 Ibíd.

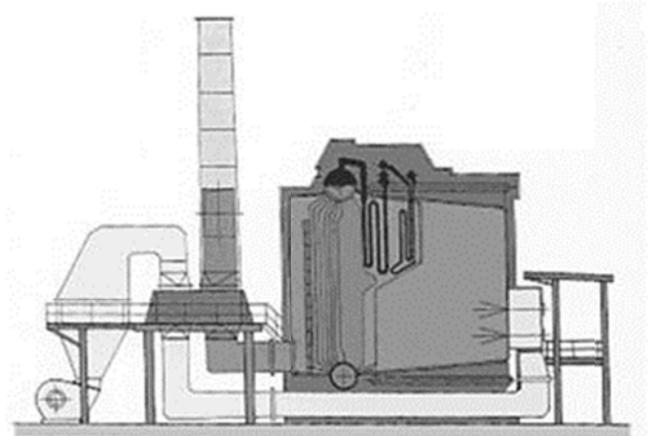
2.1.2. CALDERAS ACUOTUBULARES

En estas calderas, al contrario de lo que ocurre en las piro-tubulares, es el agua el que circula por el interior de tubos que conforman un circuito cerrado a través del calderín o calderines que constituye la superficie de intercambio de calor de la caldera. Adicionalmente, pueden estar dotadas de otros elementos de intercambio de calor, como pueden ser el sobre calentador, recalentador, economizador, etc.

Estas calderas, constan de un hogar configurado por tubos de agua, tubos y refractario, o solamente refractario, en el cual se produce la combustión del combustible y constituyendo la zona de radiación de la caldera.

Desde dicho hogar, los gases calientes resultantes de la combustión son conducidos a través del circuito de la caldera, configurado este por paneles de tubos y constituyendo la zona de convección de la caldera. Finalmente, los gases son enviados a la atmósfera a través de la chimenea.

Figura 2. Esquema Caldera Acuotubular



Fuente. <http://www.limpiezastecnicasindustriales.com/limpiezaquimicadecalderas.html>

Con objeto de obtener un mayor rendimiento en la caldera, se las suele dotar de elementos, como los ya citados, economizadores y pre calentadores, que hacen

que la temperatura de los gases a su salida de la caldera, sea menor, aprovechando así mejor el calor sensible de dichos gases.

2.2. FORMAS DE CORROSION³ PRESENTES EN LINEAS DE GAS

2.2.1. Corrosión General o Uniforme

Es aquella corrosión que se produce con el adelgazamiento uniforme producto de la pérdida regular del metal superficial.

2.2.2. Corrosión Atmosférica

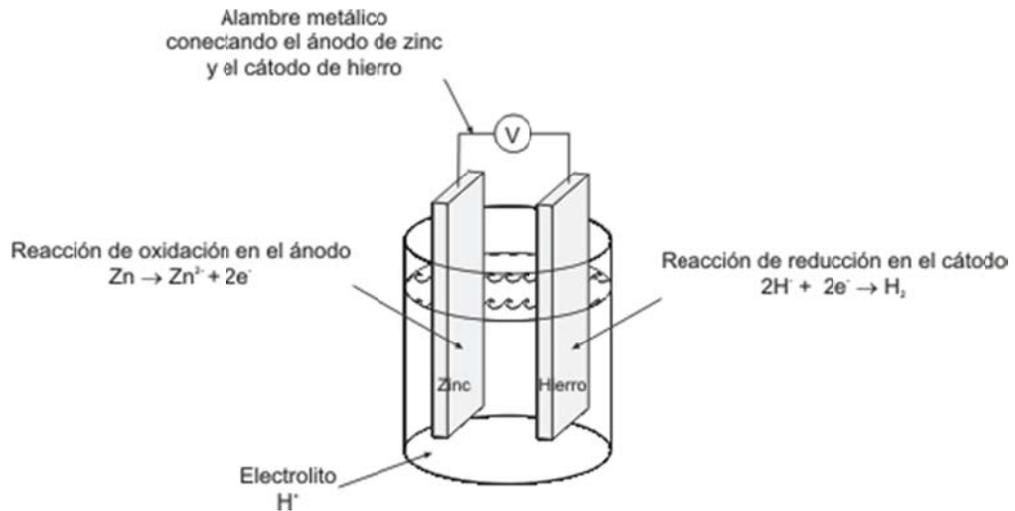
De todas las formas de corrosión, la Atmosférica es la que produce mayor cantidad de daños en el material y en mayor proporción. Grandes cantidades de metal de automóviles, puentes o edificios están expuestas a la atmósfera y por lo mismo se ven atacados por oxígeno y agua. La severidad de esta clase de corrosión se incrementa cuando la sal, los compuestos de sulfuro y otros contaminantes atmosféricos están presentes.

2.2.3. Corrosión Galvánica

La corrosión Galvánica es una de las más comunes que se pueden encontrar. Es una forma de corrosión acelerada que puede ocurrir cuando metales distintos (con distinto par redox) se unen eléctricamente en presencia de un electrolito (por ejemplo, una solución conductiva).

³ CORROSIÓN INDUSTRIAL. Ortega Maizquez, Juan Antonio, (aut.) Marcombo, S.A. 1. ed. (02/1990) 116 páginas 24x17 cm ISBN: 8426707793 ISBN-13: 9788426707796

Figura 3. Corrosión Galvánica



Fuente. <http://www.textoscientificos.com/quimica/corrosion/tipos>

El ataque galvánico puede ser uniforme o localizado en la unión entre aleaciones, dependiendo de las condiciones. La corrosión galvánica puede ser particularmente severa cuando las películas protectoras de corrosión no se forman o son eliminadas por erosión.

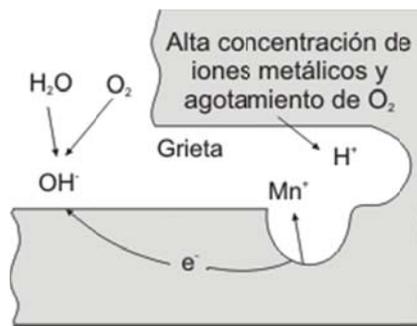
Esta forma de corrosión es la que producen las Celdas Galvánicas. Sucede que cuando la reacción de oxidación del ánodo se va produciendo se van desprendiendo electrones de la superficie del metal que actúa como el polo negativo de la pila (el ánodo) y así se va produciendo el desprendimiento paulatino de material desde la superficie del metal. Este caso ilustra la corrosión en una de sus formas más simples. Quizá la problemática mayor sobre corrosión esté en que al ser este caso bastante común se presente en variadas formas y muy seguido.

2.2.4. Corrosión por Fisuras o “Crevice”

La corrosión por *crevice* o por fisuras es la que se produce en pequeñas cavidades o huecos formados por el contacto entre una pieza de metal igual o diferente a la primera, o más comúnmente con un elemento no- metálico. En las

fisuras de ambos metales, que también pueden ser espacios en la forma del objeto, se deposita la solución que facilita la corrosión de la pieza. Se dice, en estos casos, que es una corrosión con ánodo estancado, ya que esa solución, a menos que sea removida, nunca podrá salir de la fisura. Además, esta cavidad se puede generar de forma natural producto de la interacción iónica entre las partes que constituyen la pieza.

Figura 4. Corrosión por Fisuras



Fuente. <http://www.textoscientificos.com/quimica/corrosion/tipos>

Algunas formas de prevenir esta clase de corrosión son las siguientes:

- ❖ Rediseño del equipo o pieza afectada para eliminar fisuras.
- ❖ Cerrar las fisuras con materiales no-absorbentes o incorporar una barrera para prevenir la humedad.
- ❖ Prevenir o remover la formación de sólidos en la superficie del metal.

2.2.5. Corrosión por Picadura o “Pitting”

Es altamente localizada, se produce en zonas de baja corrosión generalizada y el proceso (reacción) anódico produce unas pequeñas “picaduras” en el cuerpo que

afectan. Puede observarse generalmente en superficies con poca o casi nula corrosión generalizada. Ocurre como un proceso de disolución anódica local donde la pérdida de metal es acelerada por la presencia de un ánodo pequeño y un cátodo mucho mayor.

2.2.6. Corrosión por Fricción o *Fretting*

Es la que se produce por el movimiento relativamente pequeño (como una vibración) de 2 sustancias en contacto, de las que una o ambas son metales. Este movimiento genera una serie de picaduras en la superficie del metal, las que son ocultadas por los productos de la corrosión y sólo son visibles cuando ésta es removida.

2.2.7. Corrosión Selectiva

Es semejante a la llamada Corrosión por Descincado, en donde piezas de cinc se corroen y dejan una capa similar a la aleación primitiva. En este caso, es selectiva porque actúa sólo sobre metales nobles como al Plata-Cobre o Cobre-Oro. Quizá la parte más nociva de esta clase de ataques está en que la corrosión del metal involucrado genera una capa que recubre las picaduras y hace parecer al metal corroído como si no lo estuviera, por lo que es muy fácil que se produzcan daños en el metal al someterlo a una fuerza mecánica.

2.2.8. Corrosión Microbiológica (MIC)

Es aquella corrosión en la cual organismos biológicos son la causa única de la falla o actúan como aceleradores del proceso corrosivo localizado.

La MIC se produce generalmente en medios acuosos en donde los metales están sumergidos o flotantes. Por lo mismo, es una clase común de corrosión.

Los organismos biológicos presentes en el agua actúan en la superficie del metal, acelerando el transporte del oxígeno a la superficie del metal, acelerando o produciendo, en su defecto, el proceso de la corrosión.

2.2.9. Corrosión por rendija

Es una forma de corrosión localizada asociada con espacios confinados o rendijas formadas por ciertas configuraciones geométricas. Es también llamada corrosión por aireación diferencial. Las regiones con diferentes concentraciones de oxígeno se comportan como una cupla de corrosión. Las zonas de baja concentración se dan dentro de la rendija y actúan como ánodos donde el metal se oxida.

2.3. SISTEMAS PRESENTES EN LA LÍNEA DE GAS

2.3.1. GAS NATURAL ⁴

El gas natural es una de las varias e importantes fuentes de energía no renovables formada por una mezcla de gases ligeros que se encuentra en yacimientos de petróleo, disuelto o asociado con el petróleo o en depósitos de carbón. Aunque su composición varía en función del yacimiento del que se saca, está compuesto principalmente por metano en cantidades que comúnmente pueden superar el 90 ó 95% (p. ej., el gas no-asociado del pozo West Sole en el Mar del Norte), y suele contener otros gases como nitrógeno, CO₂, H₂S, helio y mercaptanos. Como ejemplo de contaminantes cabe mencionar el gas no-asociado de Kapuni (NZ) que contiene hasta 49% de CO₂. Como fuentes adicionales de este recurso natural, se están investigando los yacimientos de hidratos de metano que, según estimaciones, pueden suponer una reserva energética muy superiores a las actuales de gas natural. Puede obtenerse también con procesos de descomposición de restos orgánicos (basuras, vegetales - gas de pantanos) en las plantas de tratamiento de estos restos (depuradoras de aguas residuales urbanas, plantas de procesado de basuras, de desechos orgánicos animales, etc.). El gas obtenido así se llama biogás.

⁴ Documento bajado de internet: "Gas natural y sus aplicaciones" disponible en <http://portal.gasnatural.com/servlet/ContentServer>

Algunos de los gases que forman parte del gas natural cuando es extraído se separan de la mezcla porque no tienen capacidad energética (nitrógeno o CO₂) o porque pueden depositarse en las tuberías usadas para su distribución debido a su alto punto de ebullición.

El propano, butano e hidrocarburos más pesados en comparación con el gas natural son extraídos, puesto que su presencia puede causar accidentes durante la combustión del gas natural. El vapor de agua también se elimina por estos motivos y porque a temperaturas cercanas a la temperatura ambiente y presiones altas forma hidratos de metano que pueden obstruir los gasoductos⁴. Los compuestos de azufre son eliminados hasta niveles muy bajos para evitar corrosión y olores perniciosos, así como para reducir las emisiones de compuestos causantes de lluvia ácida. La detección y la medición de H₂S se pueden realizar con los métodos ASTM D2385 o ASTM D 2725.

De allí la importancia del suministro de gas y el tratamiento adecuado, mediante el uso de equipos de ingeniería para lograr un óptimo combustible que no corroa la tubería.

Figura 5. Gasoducto



Fuente. Schulmberger Field Engineers

2.3.2. TRANSPORTE POR TUBERIAS⁵ Y TIPOS

El **transporte por tubería** (o **transporte por ductos**) es un modo de transporte de gases, líquidos, sólidos o multifásico, dirigido en general a través de las tuberías que constituyen una red o un sistema de transporte.

El drenaje por gravedad de efluentes (aguas residuales, aguas lluvias, sistemas de alcantarillado, etc.) y el tránsito de alimentos (cerveza, leche, granos, etc.) por medio de tuberías pueden entrar en esta acepción. Sin embargo, los productos en general descritos como elementos que se transportan por tubería son: petróleo e hidrocarburos líquidos, gas natural y gas para combustibles, sustancias químicas.

Dependiendo del producto transportado, el gasoducto recibe diferentes nombres, así como los reglamentos, las técnicas de construcción y de funcionamiento también varían.

Las tuberías utilizadas para la conducción de gas serán de materiales no atacables por el gas ni por el medio exterior en contacto con ellos o, en caso contrario, estar recubiertas con sustancias que garanticen su protección.

Los materiales autorizados para la construcción de redes de gas son especialmente tuberías de acero al carbón.

Dependiendo del tipo de material del que está constituido el conducto, sus características, ventajas y desventajas variarán en función de su utilidad, de la actividad del suelo, de la climatología y del lugar en el que se coloque.

⁵ www.tuvacol.com

2.3.2.1. Tuberías de hierro dúctil: este material se produce al tratar el hierro fundido con una base de azufre bajo y agregándole magnesio en condiciones estrictamente controladas. El resultado es una tubería más resistente a la tensión, los golpes, los cambios de temperatura y la corrosión.

2.3.2.2. Tuberías de hierro: fue la primera solución por la que se optó a la hora de sustituir los antiguos conductos de plomo. Este material ofrece una gran resistencia, lo que convierte su manipulación en una difícil tarea. Al contrario que el hierro dúctil, ofrece una menor flexibilidad y resistencia.

2.3.2.3. Tuberías de cobre: su proceso de fabricación permite obtener tuberías con paredes lisas y tersas. Además, para la conducción de fluidos sólo es necesario un mínimo de medidas de presión. Éste es uno de los materiales más utilizados por su gran resistencia ante la corrosión, su dureza y su gran flexibilidad.

2.3.2.4. Tuberías de PVC: las hay de todos los tamaños y con muchos complementos y roscas. Estas ventajas unidas al reducido precio con respecto a los de las anteriores, las convierten en el perfecto recambio. El PVC puede adaptarse y colocarse fácilmente en cualquier toma de agua del hogar.

2.3.2.5. Tuberías de polipropileno: es el producto de numerosas investigaciones para conseguir un elemento atóxico y que otorgue las mejores cualidades: resistencia, flexibilidad, manejabilidad.

2.4. NORMAS DE DISEÑO ASME B31-8

2.4.1. Alcance

El presente código^{***} cubre el diseño, adecuación, montaje, inspección y pruebas de instalaciones de ductos usados para el transporte de redes de gas en el sector industrial. Este código también abarca los aspectos de seguridad de la operación y mantenimiento de dichas instalaciones al igual que la selección adecuada de materiales de acero al carbono.

2.4.2. Propósito

Los requerimientos del presente código son adecuados para brindar seguridad bajo las condiciones usuales que se encuentran en la industria del gas. No pueden darse específicamente los requerimientos para cada condición no usual, ni pueden prescribirse todos los detalles de ingeniería y construcción, en consecuencia, las actividades que involucran el diseño, construcción, operación o mantenimiento de líneas de tuberías de transporte de distribución de gas, deberían de emprenderse, trabajando bajo personal de supervisión que tenga experiencia y conocimientos para tomar decisiones adecuadas.

Como un medio de mantener la integridad de su sistema de ductos, cada compañía operadora deberá establecer e implementar procedimientos para la vigilancia periódica de sus instalaciones. Se deberá iniciar estudios y se deberá tomar la acción apropiada cuando ocurran circunstancias inusuales de operación, tales como fallas, historial de fugas, caídas en la eficiencia de flujo debido a la corrosión interna o a cambios importantes en el sector productivo.

^{***} ASME B 31.8 edición 1999 sistemas de tuberías para transporte de gas.

Cuando dichos estudios indiquen que la instalación se halla en condiciones no satisfactorias, se deberá iniciar un plan programado para abandonar, reemplazar o reacondicionar y efectuar una prueba. De aquí la gran importancia en saber seleccionar materiales adecuados que cumplan con los requerimientos del proceso y el análisis posterior para disminuir de manera efectiva el progreso de la corrosión en todas sus formas, mediante el uso de ingeniería (inhibidores, protección catódica, entre otros).

Figura 6. Integración de norma principal ASME B31-8



Fuente. Autor

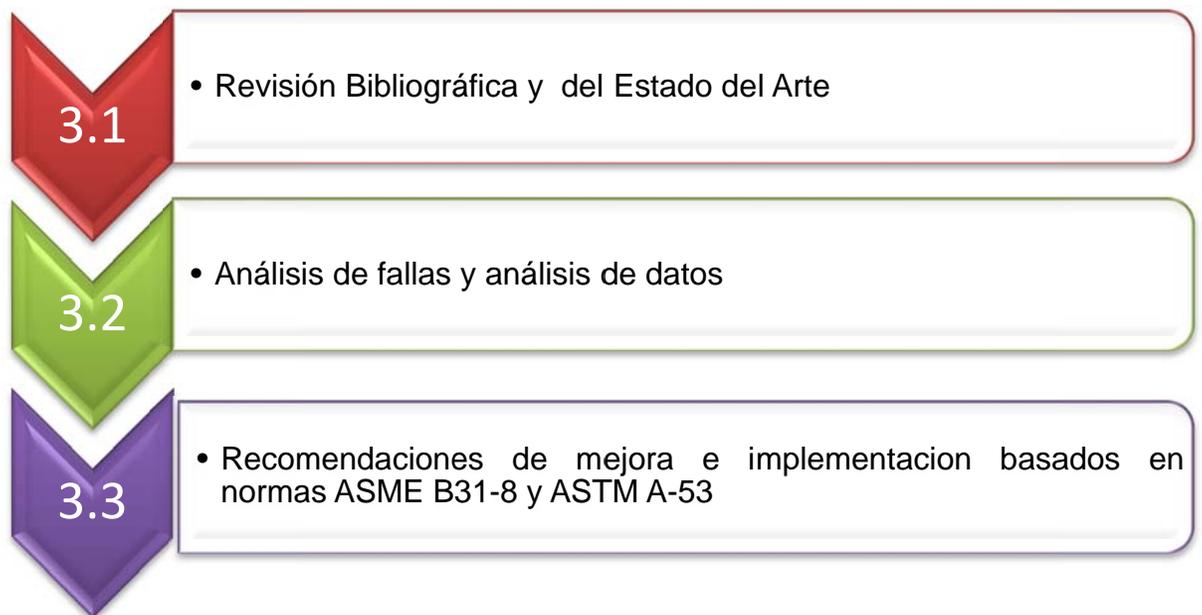
Esta sección del código incluye:

- ❖ Referencias y especificaciones de materiales aceptables y estándares de componentes, incluyendo los requerimientos dimensionales y de propiedades mecánicas.
- ❖ Requerimientos de componentes de diseño y conjuntos de armado, incluye accesorios en general y materiales que cumplan norma ASTM A-53.
- ❖ Requerimientos y evaluación de datos, dirección y movimientos asociados con la presión, cambios de temperatura, dirección de flujos, entre otros.
- ❖ Guía y limitaciones sobre la selección y aplicación de materiales, componentes y métodos de unión.
- ❖ Requerimientos de fabricación, armado e instalado de la tubería.
- ❖ Requerimientos para examinar, inspeccionar y probar tuberías.
- ❖ Procedimientos de operación y mantenimiento que son esenciales para la seguridad pública.
- ❖ Disposiciones para proteger los ductos de corrosión interna y externa.
- ❖ Identificación por código de colores Norma ICONTEC 3458 para señalización de tuberías.

3. METODOLOGIA EMPLEADA

La metodología desarrollada en el presente proyecto consistió en tres actividades ilustradas a continuación.

Figura 7. Esquema general de la metodología empleada



Fuente. Autor

3.1. REVISION BIBLIOGRAFICA Y DEL ESTADO DEL ARTE

En esta etapa del proyecto se llevo a cabo la revisión y selección de material bibliográfico empleado para el desarrollo de este trabajo, como lo son manuales de operación y mantenimiento de calderas pirotubulares DISTRAL – CONTINENTAL, folletos técnicos de instrumentación y control HONEYWELL, normas técnicas de calidad ICONTEC NTC 3458, normas ASME B31-8, fichas técnicas de proveedores del sector industrial en Colombia, documentos relacionados con el proceso de distribución de gas, así como otros documentos proporcionados por FINCA S.A. seccional Bucaramanga.

3.2. ANÁLISIS DE FALLAS Y ANÁLISIS DE DATOS

La línea de generación de vapor de la compañía en estudio opera con una caldera piro tubular Marca Powermaster, modelo 3WBS de tres pasos, serie A-1695, de C.E. HALABY & Co., a una presión de diseño de 150 PSI y potencia de 60 BHP; para el mejor desempeño y eficiencia es fundamental el riguroso control de las variables de operación y mantenimiento para asegurar que la caldera funcione con un mínimo de paradas el cual genera altos costos y paradas de producción. El combustible con el cual opera la caldera es de vital importancia; al tratarse de una caldera dual purpose (Fuel Oil No. 2 - Natural Gas).

Figura 8. Caldera Piro-tubular FINCA S.A. seccional Bucaramanga

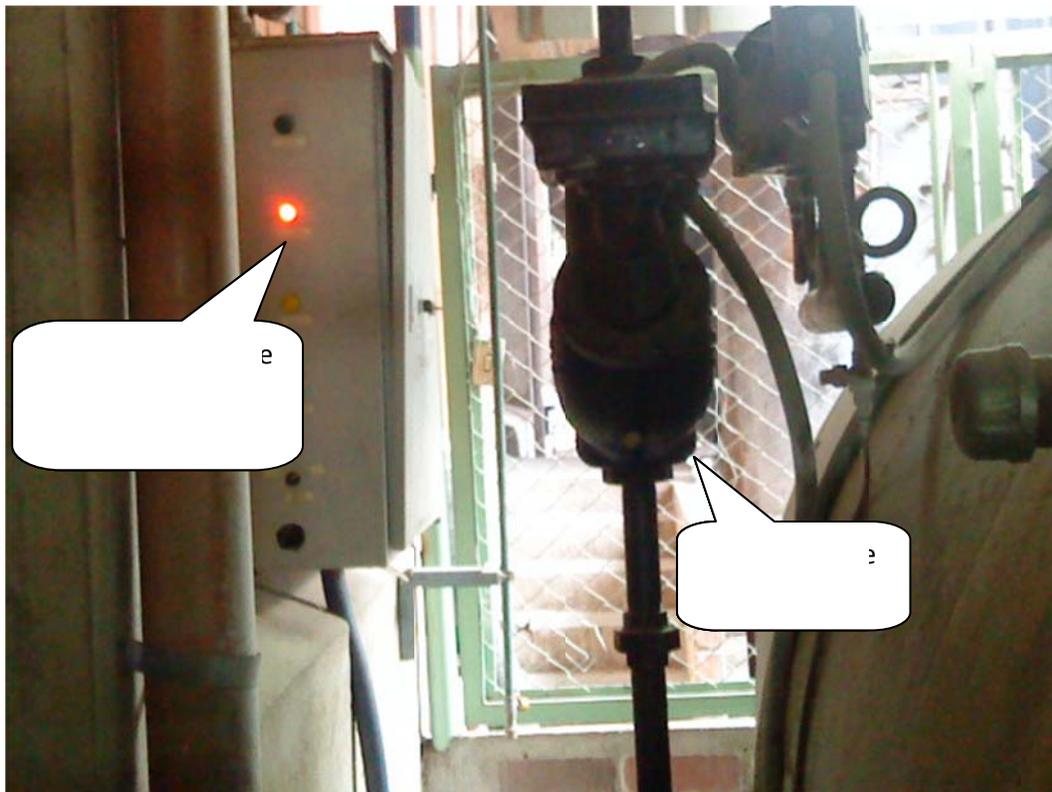


Fuente. Autor

Las tuberías que transportan el gas natural están expuestas al ataque de diferentes tipos de corrosión interna y externa (puede apreciarse un avanzado deterioro debido a los años de servicio y operación sumado a esto factores de intemperie). La **corrosión** es la interacción de un metal con el medio que lo rodea, produciendo el consiguiente deterioro en sus propiedades tanto físicas como químicas.

El Departamento de mantenimiento en sus inspecciones habituales observa una disminución de presión y caudal en las redes de gas aguas arriba⁶ de los equipos de instrumentación y control de la caldera, afectando directamente los sistemas de detección electrónica (lazo de control) de ignición, quemador, controles de presión, tiro y combustión que es manejado por el **PLC HONEYWELL PRESSURETROL**, y que a su vez genera alarmas de diferentes tipos junto con paradas no programadas en la línea de generación de vapor saturado⁷ indispensables en los diferentes procesos de FINCA S.A.

Figura 9. Tablero de control marcha de caldera



Fuente. Autor

⁶ Concepto utilizado en control de procesos el cual toma como base la dirección de flujo señalando un punto de partida

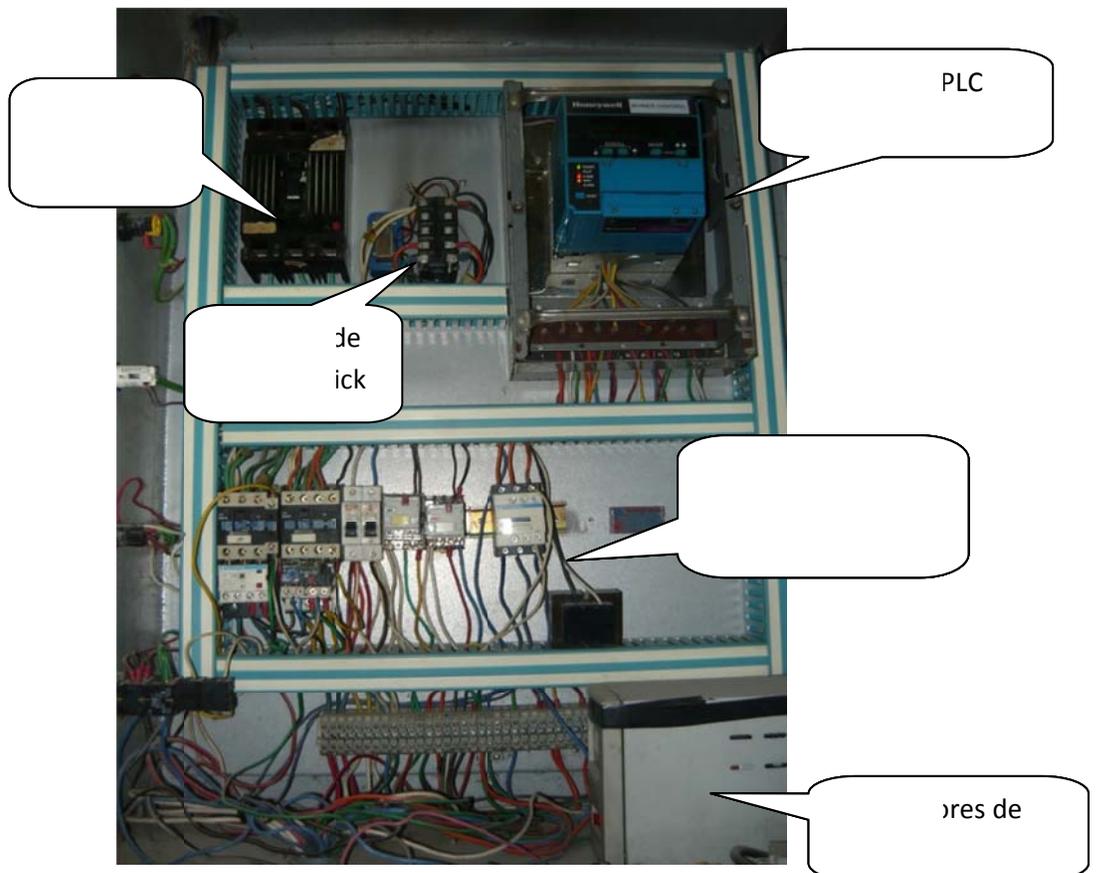
⁷ Es vapor a la temperatura de ebullición del líquido. Es el vapor que se desprende cuando el líquido hierve. Se obtiene en calderas de vapor.

3.2.1. Controlador HONEYWELL Serie 7800 (PLC)

Es un control lógico programable utilizado en el lazo de control y operación de la caldera, es el responsable de:

- ❖ Barrido: limpieza de la cámara de combustión para eliminar posibles gases y generar un ambiente adecuado libre de explosiones.
- ❖ Encendido: generación piloto sensado por foto celda (accionamiento de válvulas principales).
- ❖ Modulación: regulación proporcional de flujo de gas y aire mediante dispositivos móviles y electroválvulas.
- ❖ Tiro: turbina para mejorar la eficiencia en combustión.

Figura 10. Tablero de control y potencia. Caldera en marcha FINCA S.A.

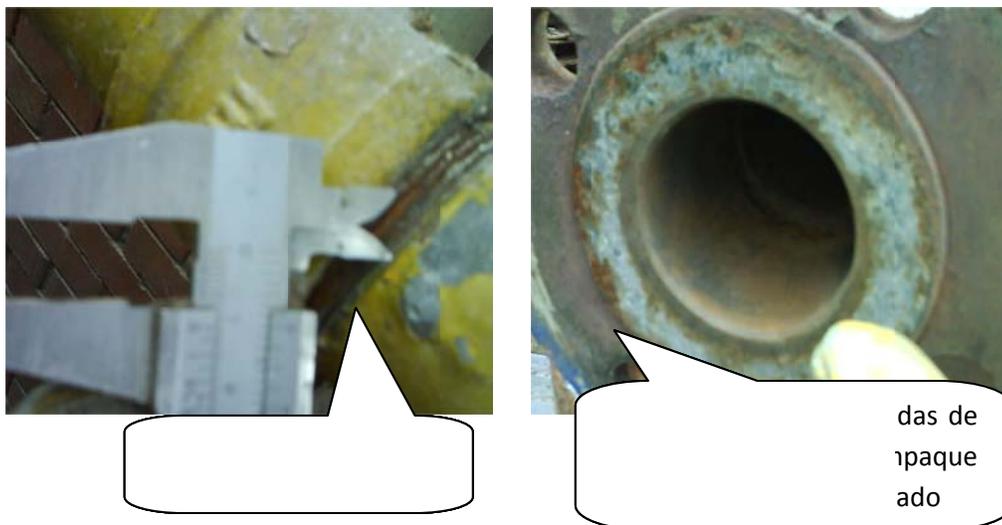


Fuente. Autor

En mantenimientos correctivos efectuados se han encontrado problemas de arrastre de material corroído e incrustaciones que se depositan en los filtros y en los elementos de regulación. Es crítico el estado de la tubería en su interior, ya que pudo apreciarse mediante inspección interna mediante equipo VIDEO BORESCOPE MODEL BR 200 (Tabla 1.)

Las pérdidas locales⁸ en tramos de tubería es aún mayor que las pérdidas por fricción del fluido que en muchos casos es despreciable sin embargo debido a la cantidad de de accesorios roscados encontrados (universales, codos, semicodos, uniones, válvulas no recomendadas para este tipo de red, etc.) se deben prever ya que afecta de manera directa la velocidad del flujo, además se encontró **corrosión galvánica** en el 90% de los casos en el tendido de esta red, puesto que la tubería y los accesorios son de materiales disimiles expuestos a la intemperie.

Figura 11. Accesorios que presentan corrosión galvánica



Fuente. Autor

⁸ Las pérdidas menores son provocadas generalmente por cambios en la velocidad, sea magnitud o dirección. Ocasionadas generalmente por cantidad de accesorios en tuberías.

⁹ Empaques utilizados industrialmente de diferente material para evitar fugas entre uniones de tuberías

Algunos tramos de red se encuentran sobre piso en sectores de constante humedad y contaminación (ventiladores centrífugos los cuales inyectan aire y extraen calor a tanques de almacenamiento). La **corrosión uniforme** está presente a lo largo del tramo, se observa cambio de color a tonos oscuros y formación de costras (herrumbre¹⁰) en la parte baja o base de estos tubos; la norma ASME B31-8 especifica que por diseño la red no debe estar tendida sobre piso mucho menos si personal - equipos y otros transitan por estas áreas.

Figura 12. Corrosión Uniforme



Fuente. Autor

Observando el estado de la red, es probable que no se hubiese tenido en cuenta diseños de ingeniería ni normas técnicas cuando se realizó la adecuación y montaje años atrás; la tubería no cuenta con pinturas anticorrosivas ni inhibidores para protección externa que minimicen la corrosión, solo se observa rastros de pinturas viejas en base aceite que fueron aplicadas sobre la misma, pero no se tiene registro de ello en los archivos de la empresa. La red no es apta para el transporte de gas ya que la tubería de hierro galvanizada tipo pesado con costura se utiliza en la mayoría de casos para transporte de agua en campos donde no se manejan altas presiones ni caudales, la norma ASME B31-8 no reconoce a esta tubería para el transporte de hidrocarburos.

¹⁰ Óxido férrico, rojizo, que se forma en la superficie del hierro expuesto a la humedad

Figura 13. Corrosión por rendijas



Fuente. Autor

3.2.2. Corrosión interna de la tubería

Se utilizó el Video Baroscopio Industrial EXTECH para realizar la inspección interna del trazado de tuberías. Estos instrumentos de mantenimiento preventivo usan un sistema óptico de lentes para transmitir una imagen desde el área de inspección hasta el ojo del usuario y un haz de fibras no coherente para iluminar el objeto o zona detectada. Consta de sondas intercambiables y monitor de cristal líquido que puede independizarse del equipo en campo con una distancia que puede alcanzar los 100 metros. Cuenta con conexiones y puertos USB para el procesamiento de datos, y un puerto de carga opcional para baterías.

¹¹ National Pipe Thread" rosca de tubería cónica nacional usada para el estándar americano de roscas para tubería

Tabla 1. BOROSCOPIO EXTECH INSTRUMENTS

	
ESPECIFICACIONES	
<p>Sensor de imagen</p> <p>Pixeles totales</p> <p>Ángulo de visión horizontal</p> <p>Frecuencia de transmisión</p> <p>Peso</p> <p>Temperatura de operación</p> <p>Pantalla tipo LCD</p> <p>Consumo de corriente</p> <p>Suministro de voltaje externo</p> <p>Sistema de video</p>	<p>CMOS</p> <p>BR200: 712x486; BR250: 640x480</p> <p>BR200: 50 grados</p> <p>BR250: 45 grados</p> <p>2468MHz</p> <p>BR200: 530 g; BR250: 450 g</p> <p>-10°C~+50°C (+14°F~+122°F)</p> <p>3.5" TFT-LCD</p> <p>500mA</p> <p>5V CD</p> <p>PAL/NTSC</p>

Fuente. Autor

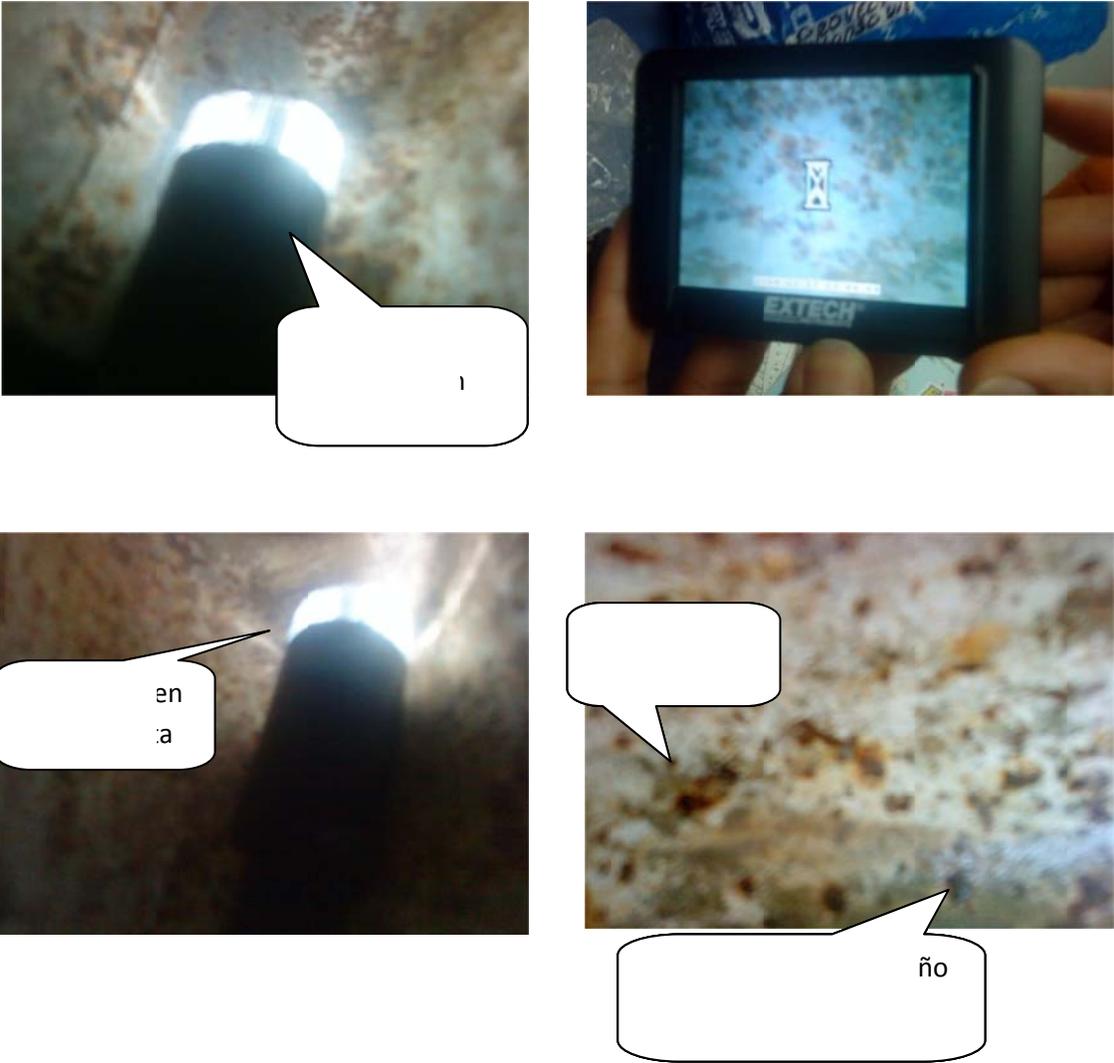
3.2.2.1. Prueba realizada

Se analizo la red de tubería ingresando la sonda del BOROSCOPIO en las secciones las cuales cuentan con adaptadores universales¹², encontrando que

¹² Sistema de acople entre dos secciones de tubería que se desmonta con ajuste manual.

Ésta tubería presenta gran cantidad de material sedimentado y la corrosión localizada es manifiesta en toda su superficie pudiendo apreciarse claramente zonas con picado a lo largo y ancho de los tramos inspeccionados aumentado dramáticamente con el contenido de oxígeno que está presente en este tipo de hidrocarburos, es la causa del problema en el lazo de control del PLC descrito anteriormente.

Figura 14. Inspección interna de la antigua red de gas



Fuente. Autor

3.2.3. ANÁLISIS DE ESPESORES KRAUTKRAMER DM4 SERIES

Los medidores de espesor ultrasónico KRAUTKRAMER permiten llevar a cabo un gran número de tareas, especialmente con mediciones de espesores de pared remanente en componentes sujetos a uso. Adecuados para llevar a cabo la medición de espesores nominal y remanente de pared, susceptible a la corrosión.

Tabla 2. MEDIDOR DE ESPESOR KRAUTKRAMER

	
ESPECIFICACIONES	
<p>Ganancia</p> <p>Corrección de la trayectoria en V</p> <p>Rango de medición</p> <p>Unidades de medición</p> <p>Pantalla</p> <p>Frecuencia para la medición</p> <p>Suministro de poder (corriente)</p> <p>Peso</p>	<p>Automática o manual; HI, MED o LOW</p> <p>Automática</p> <p>Operación estándar: 0.6 mm–500 mm 0.025 pulgadas – 20.0 pulgadas</p> <p>Se pueden seleccionar: mm o pulgadas</p> <p>LCD con 4 dígitos con luz de fondo que puede encenderse o apagarse</p> <p>25 Hz en el modo MIN; 4 Hz modo THK</p> <p>2 baterías (1.5 V tamaño AA)</p> <p>255 gramos / 9 onzas (con baterías)</p>

Fuente. Autor

3.2.3.1. Prueba realizada

El equipo DM 4 fue utilizado mediante calibración para dos puntos con material similar para satisfacer requerimientos de exactitud y operación.

Se utilizó un transductor o palpador DIALOG inteligente DUAL PM-401 para detección de material corroído y propósitos generales que es reconocido automáticamente por el instrumento para ajuste rápido y mejor interpretación de la prueba. Se identificaron 18 puntos en los diferentes tramos (sectorizando A-B- C) que se encuentran a lo largo del trazado de la tubería y se procedió a una limpieza del material para eliminar algunos rastros de pinturas, óxidos y corrosión visible.

Figura 15. Análisis de espesores con equipo KRAUTKRAMER



Fuente. Autor

El equipo identifica estos parámetros y efectúa los cálculos correspondientes para la entrega de resultados precisos. Aplicando el medio acoplante¹³ para instalar el palpador en los puntos se inspecciona dos caras de la misma sección (una opuesta a la otra) y se determino la disminución del espesor de pared patrón.

Tabla 3. Resultados de inspección por ultrasonido

SECCION TOTAL INSPECCIONADA			
(Tubería Trabajo Pesado SCH 3\16" (4.76 mm)			
MUESTRA		TOMA 1	TOMA 2
Tramo A	Muestra 1	3,19	3,20
	Muestra 2	3,15	3,19
	Muestra 3	3,14	3,15
	Muestra 4	3,14	3,19
	Muestra 5	3,15	3,19
	Muestra 6	3,17	3,17
Tramo B	Muestra 7	3,28	3,26
	Muestra 8	3,20	3,20
	Muestra 9	3,28	3,21
	Muestra 10	3,20	3,19
	Muestra 11	3,21	3,21
	Muestra 12	3,19	3,20
Tramo C	Muestra 13	3,16	3,15
	Muestra 14	3,15	3,16
	Muestra 15	3,17	3,14
	Muestra 16	3,18	3,15
	Muestra 17	3,19	3,15
	Muestra 18	3,15	3,15

Fuente. Autor

¹³ Medio por el cual se transporta las señales de ultrasonido de alta frecuencia, generalmente es glicerina o grasa

- Valor promedio de pérdida de espesor 1,68 mm – 1,70 mm.

Velocidad de corrosión: relación en base a 8 años de servicio.

1 in	25,4 mm	
X	1,695 mm	X = 0,067 in

$$0,067 \text{ in por año} / 8 \text{ años de servicio} = 8,37 \text{ E}^{-3} \text{ in}$$

1 in	1000 mm in	
8,37 E ⁻³ in	X	X = 8,37 mpy

3.3. RECOMENDACIONES DE MEJORA E IMPLEMENTACION BASADOS EN NORMAS ASME B31-8 Y ASTM A-53

Posterior al develamiento de las irregularidades en el sistema, se dio paso al montaje y puesta en marcha de la nueva red de gas natural, basados en las normas ya citadas.

Siguiendo las recomendaciones de la norma y teniendo en cuenta los óptimos resultados en el sector industrial se seleccionan tuberías de acero al carbono ASTM A-53 sin costura de 2" SCH 40, de extremos biselados para unión a tres tramos mediante bridas SW de acero al carbono 300psi, minimizando al máximo las pérdidas locales por accesorios y contrarrestando la formación de corrosión galvánica, ya que el tendido de la red posee materiales con potenciales similares.

La red cuenta con las especificaciones de fabricación que garantizan la confianza del montaje ya que esta tubería está diseñada para la conducción de fluidos corrosivos especialmente para transporte de gas.

Tabla 4. Especificaciones Tubería Acero Al Carbono ASTM A53

Diámetro Nominal		Diámetro Exterior		Espesor de Pared		Identificación		Peso del Tubo		Área de La Superficie Exterior en mt2 por metro lineal de tubería
NPS	DN	Real		Pulgadas	Milímetros	Weight Class	Schedule	lb/pie	kg/m	
Pulgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	mm.	(in.)	(mm.)					
1/2	15	0.840	21.3	0.109	2.77	STD	40	0.85	1.27	0.067
				0.147	3.73	XS	80	1.09	1.62	
3/4	20	1.050	26.7	0.113	2.87	STD	40	1.13	1.69	0.084
				0.154	3.91	XS	80	1.47	2.20	
1	25	1.315	33.4	0.133	3.38	STD	40	1.68	2.50	0.105
				0.179	4.55	XS	80	2.17	3.24	
1-1/4	32	1.660	42.2	0.140	3.56	STD	40	2.27	3.39	0.132
				0.191	4.85	XS	80	3.00	4.47	
1-1/2	40	1.900	48.3	0.145	3.68	STD	40	2.72	4.05	0.152
				0.200	5.08	XS	80	3.63	5.41	
2	50	2.375	60.3	0.154	3.91	STD	40	3.65	5.44	0.190
				0.218	5.54	XS	80	5.02	7.48	

Fuente. Grupo VEMACERO C.A

Tabla 5. Composición química Tubería Acero Al Carbono ASTM A53

COMPOSICION QUIMICA		RESISTENCIA A LA TENSION
ELEMENTO	% máx.	48000 PSI
CARBONO	0.25	
AZUFRE	0.045	
COBRE	0.40	
VANADIO	0.08	
MOLIBDENO	0.15	
NIQUEL	0.40	
FOSFORO	0.05	
MANGANESO	0.95	
CROMO	0.40	

Fuente. Grupo VEMACERO C.A

Por normas técnicas la tubería fue instalada por vía aérea a una altura de 2.80 metros demandando seguridad industrial y evitando la formación de zonas propicias de corrosión uniforme por la humedad entre el suelo y la pared externa del tubo con una pendiente de 3° facilitando la evacuación de condensados que se genera en el interior de la red y poder ser purgado. En los sistemas de juntas para estanqueidad¹⁵ entre bridas, válvulas, tornillos de ajuste y elementos de control se utilizó inhibidor de corrosión LOCTITE C5-A y sellante LOCTITE RTV los cuales son de amplia gama en el sector petroquímico.

Tabla 6. Materiales utilizados

	
Tubería ASTM A-53 de 2" SCH 40 - Bridas SW de acero al carbón 300psi	
	
Inhibidor de corrosion, formador de empaques – Pintura anticorrosiva	

Fuente. Autor

¹⁵ Sistemas de obturadores, empaques y sellos utilizados para evitar fugas de fluidos en tramos o tendidos de tuberías

3.3.1. PREPARACIÓN, BISELADO Y SOLDADURA EN PROCESO

Se utilizo proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido SMAW bajo las normas establecidas en el código ASME B 31.8 capítulo II y API 1104 para la soldadura de materiales de acero al carbono.

Los soldadores, quienes son certificados y cuentan con la experiencia requerida de años de trabajo, comienzan con una adecuada limpieza al material pues estos son recubiertos con lubricantes protectores para el embalaje y transporte muchas veces en contenedores por vía marítima.

El biselado de la tubería y niples permitido entre 30° y 45°, el hombro de los dos biseles uniforme con Angulo de chaflán de 60° utilizando un electrodo E-6010¹⁶ de 1/8" para el pase de penetración o de raíz posteriormente realizando una adecuada limpieza de la escoria con la pulidora con grata de acero y acondicionando el área a soldar con pase de relleno con oscilaciones a escogencia del soldador en este caso media luna con electrodo E-7018¹⁷ de 1/8". Durante todo el proceso el soldador mantiene posición 5G¹⁸ (U), la temperatura entre pases alta, controla la velocidad de avance del electrodo y hace ajustes a la fuente de poder (equipo de soldadura de corriente AC-DC 220 VAC) dejando ver una soldadura limpia con buena penetración y excelente acabado de presentación.

¹⁶ Electrodo celulósico de penetración profunda para soldar en todas las posiciones, calidad rayos x, se usa en trabajos estructurales, reparaciones y uniones de tubería.

¹⁷ Electrodo de bajo hidrogeno con polvo de hierro en el revestimiento para soldar en todas posiciones. Tiene excelente propiedades mecánicas y de tracción.

¹⁸ Unión de dos tubos a tope, tubo en posición horizontal y fijo durante la aplicación de la soldadura y esta se aplica con progresión vertical ascendente.

Figura 16. Preparación, biselado y soldadura en proceso



Fuente. Autor

3.3.2. Protección Externa: Pinturas Anticorrosivas

Con el fin de proteger la estructura de los efectos nocivos de la intemperie se eligió a PINTUCO para la protección externa de la red de gas natural.

Pintura anticorrosiva Premium como base inicial por tener excelente adherencia, alto cubrimiento y alta resistencia a la corrosión con tiempo de secado de 8 horas con temperatura de 28° C.

Posteriormente se utiliza una pintura pintu – coat Ref. 5261 de dos componentes: componente A, pintura epoxi pura y un componente B, un catalizador poliamínico.

Al mezclarse produce una película resistente a derivados del petróleo, ácidos débiles, sales, inmersión y ambientes de trabajo severos con tiempo de secado de 2 días a temperatura ambiente.

Luego del secado se procedió a la señalización de la tubería identificando el tipo de fluido y dirección de flujo según norma ICONTEC 3458.

La subestación cuenta con una estructura metálica la cual protege los equipos de distribución, solo el personal de mantenimiento autorizado puede ingresar para realizar las respectivas lecturas e inspecciones bajo órdenes del jefe de Mantenimiento.

Según norma ASME B 31-8 se instalaron válvulas WOG de cierre rápido tipo bola de palanca a 45° aguas debajo de la subestación y antes de los equipos críticos en este caso para la caldera Powermaster para eventos de emergencia; una válvula reguladora de presión Spirax de Sarco con calibración a las condiciones de trabajo e indicadores locales (manómetros) para observar la presión de línea. El registro o medidor de gas electromecánico cuenta con su respectivo bypass para efectos de mantenimiento preventivo.

Figura 17. Pinturas de protección exterior de la red de gas

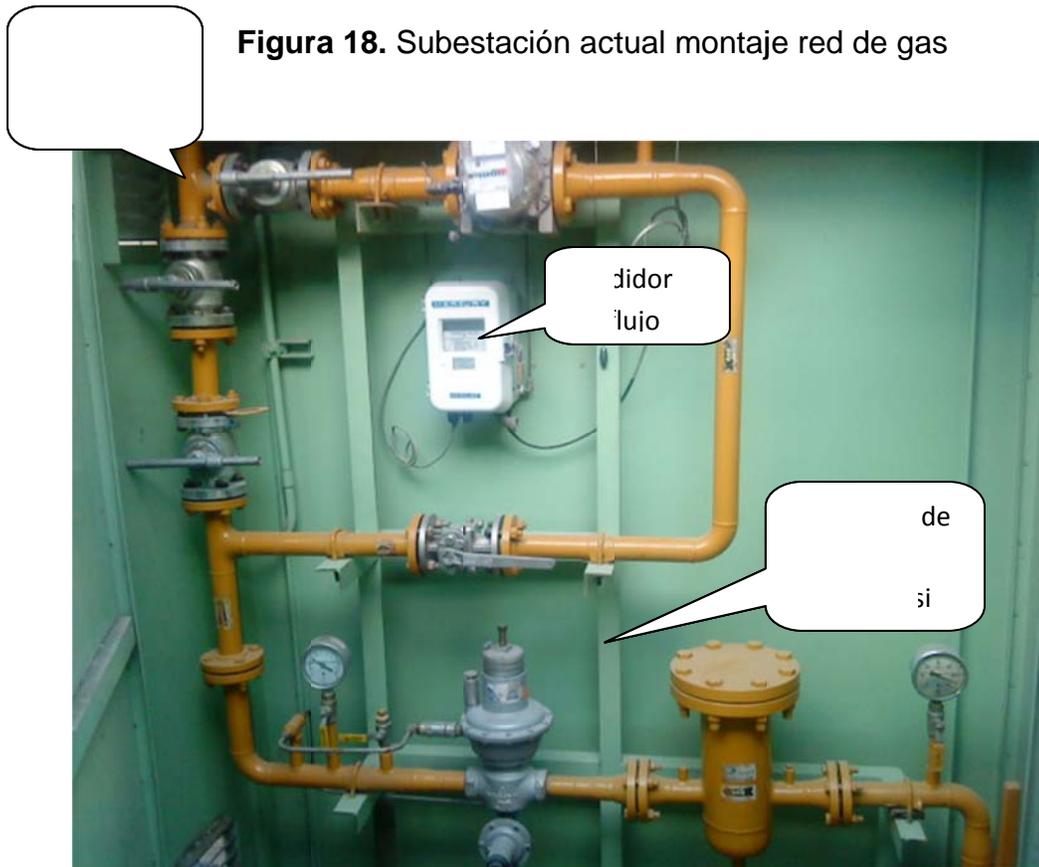


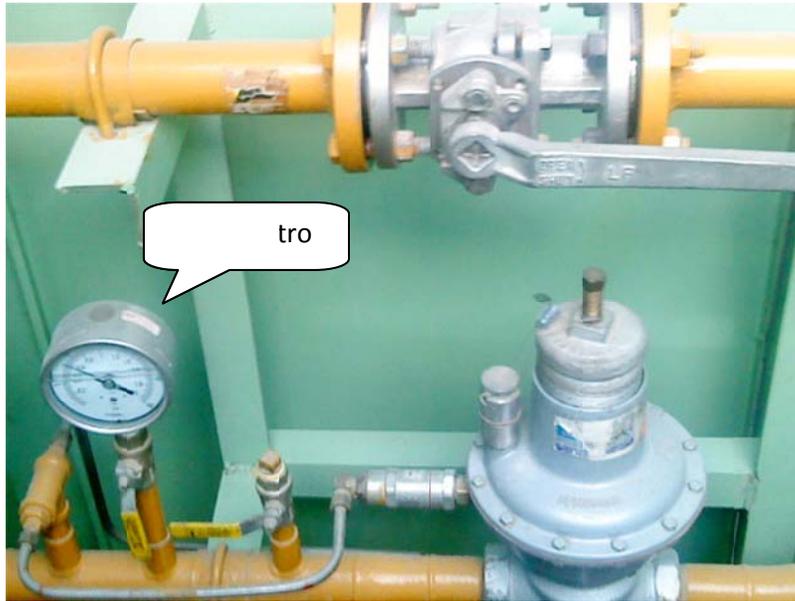
Fuente. Autor

4. RESULTADOS OBTENIDOS

La caldera Powermaster de la empresa FINCA S.A es un equipo de vital importancia en el desarrollo operativo en la producción de la compañía, además es responsable del mayor consumo de combustible y de costos por mantenimiento. Con la implementación y montaje de la nueva red de gas se observa una mejor eficiencia de la maquina térmica; esto se ve reflejado directamente en la vida útil del equipo, en la disminución de paradas de planta ya que el PLC HONEYWELL PRESSURETROL de la caldera opera con el lazo de control en condiciones de trabajo normal sin detectar fallas y posteriores alarmas que se presentaban a menudo, el consumo de gas natural disminuyo teniendo en cuenta que la relación aire-gas se efectúa con modulación adecuada lo cual es rentable para la empresa.

Figura 18. Subestación actual montaje red de gas





Fuente. Autor

Figura 19. Finalización de montaje de la red de gas natural





Fuente. Autor

4.1. IMPACTO AMBIENTAL

Obedeciendo a la necesidad actual del cuidado del medio ambiente y como base el marco legal para reducir la emisión de gases nocivos a la atmosfera el presente proyecto aporta de manera significativa en la disminución del impacto ambiental ya que se reduce la cantidad de combustible utilizado para la operación de la caldera en condiciones normales, además la modulación aire-combustible es más eficiente, se produce una combustión adecuada en la cámara (hogar) disminuyendo el dióxido de carbono (CO₂) emitido al medio.

Figura 20. Responsabilidad ambiental



Fuente. Autor

4.2. SEGURIDAD

Tomando en cuenta la vital importancia que amerita la seguridad industrial y la calidad dentro de la compañía, los procedimientos de puesta en marcha del proyecto en mención garantizan confianza plena en los procedimientos de ingeniería y normatividad vigentes para el sector industrial, asimismo comparte el compromiso de todos en la mejora continua.

CONCLUSIONES

- La integración de las normas técnicas ASME B 31.8 – ASTM A53 API 1104 juegan un papel primordial en la adecuación, montaje y puesta en marcha de la red de gas natural de la empresa FINCA S.A además ofrece seguridad y confiabilidad en los procesos aplicados.
- Diversos factores como la conductividad, el pH, los gases disueltos en los fluidos transportados, la temperatura, la presión intervienen en el proceso natural del daño de la tubería afectando de manera significativa la vida útil de la red.
- Se pudo establecer que la tubería existente no era la adecuada para el transporte de gas natural, además no cuenta con factores de seguridad, montaje y diseño ingenieril vigentes en la norma ASME B31-8.
- Una de las complejidades que podemos encontrar en la corrosión es la variedad de formas en las que se puede presentar al momento de atacar a los materiales, su clasificación la podemos determinar según la naturaleza del medio corrosivo. Se encontró corrosión galvánica en el 80% de accesorios y tubería, además de corrosión por rendijas la cual fue el principal mecanismo de daño de las bridas de hierro existentes.
- En la inspecciones realizadas a la red de tubería antigua se encontraron diferentes tipos de corrosión en los tramos dejando ver claramente que la corrosión por picadura que se presenta en el interior de la red es la más

perjudicial dando como resultado una velocidad de corrosión alta y pérdida del espesor de pared en gran parte durante los años de servicio.

- La corrosión trae consigo un alto costo para la empresa en paradas de planta, en mantenimiento de infraestructura y en estudios para su prevención; el éxito depende si el fenómeno es controlado de forma eficaz, brindando una vida útil a la red de gas natural instalada con la selección apropiada de materiales, diseño de ingeniería y aplicación de inhibidores de corrosión.

BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Metals handbook Heat treatment Vol 4. 5 ed. Marzo 2001.
- CATALOGO, General diámetros nominales, accesorios y Tubería. Distribuido Por CASAVAL S.A.
- CATALOGO, productos y soldaduras OERLIKON. MEGRIWELD S.A. Distribuido Por SOLDESEG LTDA.
- Esquema Caldera Acuotubular. [Artículo de internet] <http://www.limpiezastecnicasindustriales.com/limpiezaquimicadecalderas.html> [Consulta 10 de Junio de 2011]. [Consulta 30 de Mayo de 2011]
- Gas natural y sus aplicaciones. [Artículo de internet] <http://portal.gasnatural.com/servlet/ContentServer>. [Consulta 26 de Mayo de 2011].
- GOMEZ. Moreno, Orlando José. Soldadura de Metales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga 1993
- KOHAN. Anthony Lawrence; MANUAL DE CALDERAS. Principios Operativos de Mantenimiento y normativas. Editorial McGraw-Hill / Interamericana de España, S.A. 1ª edición.
- MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO DISTRAL. Caldera pirotubular Marca Powermaster, modelo 3WBSserie A-1695, C.E. HALABY.

- ORTEGA. Maizquez Juan Antonio; CORROSIÓN INDUSTRIAL. Editorial Marcombo, S.A. 1. Edición 1990 páginas 24- 62 ISBN: 842670779.
- SISTEMAS DE TUBERIA PARA TRANSPORTE Y DISTRIBUCION DE GAS. Codigo Standard Edición de 1999. The American Society Of Mechanical Engineers ASME B 31.8
- STREETER, V.L.; MECÁNICA DE FLUIDOS, 9ª. Edición, Santa Fe de Bogotá Colombia, Mc Graw Hill Interamericana S.A. 2000, 650 p.
- Tipos de corrosión. [Articulo de internet]. <http://www.textoscientificos.com/quimica/corrosion/tipos>. [Consulta 10 de Junio de 2011].
- Tipos de tuberías. [Artículo de internet]. www.tuvacol.com. [Consulta 2 de Junio de 2011]