

**ESTRATEGIA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA LAS VÁLVULAS DE
SECCIONAMIENTO Y BLOQUEO DEL OLEODUCTO CAÑO LIMON COVEÑAS
BASADOS EN UN PROCESO DE ANÁLISIS DE CONDICIÓN DE ACTIVOS Y
CRITERIOS DE COSTO-RIESGO-BENEFICIO**

**FAUSTO ADRIAN MESA MARQUEZ
FREDY ALBERTO RODRIGUEZ PULIDO
HENRY ERNESTO ESLAVA LARA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA
2015**

ESTRATEGIA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA LAS VÁLVULAS DE SECCIONAMIENTO Y BLOQUEO DEL OLEODUCTO CAÑO LIMON COVEÑAS BASADOS EN UN PROCESO DE ANÁLISIS DE CONDICIÓN DE ACTIVOS Y CRITERIOS DE COSTO-RIESGO-BENEFICIO.

**FAUSTO ADRIAN MESA MARQUEZ
FREDY ALBERTO RODRIGUEZ PULIDO
HENRY ERNESTO ESLAVA LARA**

Monografía de Grado presentada como requisito para optar el título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director: **CAMILO ELIECER TORRES CASTRO**
Ingeniero Metalúrgico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA
2015**

AGRADECIMIENTOS

A mis hijos Isabel Sofía y Daniel Jose y a mi esposa Sandra Paola quienes han sido el motor constante de mi vida para emprender cualquier proyecto y me han prestado su tiempo para realizar esta especialización.

A mis padres y hermanos que siempre me han apoyado y acompañado en las diferentes etapas de mi vida.

Fausto Adrian Mesa Marquez

A Dios, a la vida y a mi familia gracias totales. A mis padres, hermanos y sobrinos por ser la motivación de trazar retos cada vez mayores, a mis amigos y compañeros por el apoyo incondicional y a todos los que hecho parte de mi vida.

Fredy Alberto Rodriguez Pulido

Son muchas las personas especiales a las que me gustaría agradecerles, por su compañía en las diferentes etapas de mi vida. Sin importar en donde estén o si alguna vez lleguen a leer esta dedicatoria, quiero agradecer por formar parte de mi vida, por todo lo que me han brindado y por todo su apoyo y bendiciones.

Agradezco en especial a mis padres y hermanos, tíos y amigos, por siempre estar a mi lado, apoyándome en todas las situaciones de mi vida y creer en mí. Este logro quiero compartirlo con ustedes.

Henry Ernesto Eslava Lara

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	124
1. OBJETIVOS	15
1.1. OBJETIVO GENERAL	15
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	15
2. GENERALIDADES	16
2.1. LOCALIZACIÓN	16
2.2. VALVULAS OLEODUCTO CAÑO LIMÓN - COVEÑAS	18
2.2.1. Conceptos generales de válvulas para ductos de transporte de hidrocarburos líquidos	18
2.2.1.1. Contenedor del fluido	18
2.2.1.2. Obturador o elemento de cierre	19
2.2.1.3. Asientos	19
2.2.1.4. Operador de Apertura o Cierre	20
2.2.1.5. Principio de sellado	20
2.2.2. Clasificación Del Tipo de Válvulas para ductos de transporte de hidrocarburos líquidos	21
2.2.2.1. Válvulas de compuerta de paso completo y continuo	21
2.2.2.2. Válvulas de bola	23
2.2.3. Clasificación de Válvulas de acuerdo a su función	24
2.2.3.1. Válvulas Manuales	24
2.2.3.2. Válvulas de Accionamiento Remoto	25
2.2.3.3. Válvulas de Retención de Apertura Completa (Tipo Cheque)	26
3. GESTION DE ACTIVOS	27
3.1. PROCESO DE GESTIÓN DE ACTIVOS INDUSTRIALES EN ECOPEPETROL	27
3.2. ETAPAS DEL CICLO DE VIDA	27
3.2.1. Incorporación de Activos Industriales	27
3.2.2. Operación y Mantenimiento	27

3.2.3.	Operación Estructurada	27
3.2.4.	Optimización del Desempeño de Activos	27
3.2.5.	Desincorporación de Activos Industriales	28
3.3.	ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN DEL ACTIVO	28
3.3.1.	Interrelaciones Estratégicas	29
3.3.2.	Elementos Claves del Proceso	29
3.3.2.1.	Recopilación de Información	30
3.3.2.2.	Evaluar la Información	31
3.3.2.3.	Soportar técnicamente las actividades de optimización	33
3.3.3.	Informe de Análisis	33
3.4.	GESTIÓN DE RIESGOS	34
3.4.1.	Modelo de Riesgos	34
4.	PLANTEAMIENTO DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	37
4.1.	ESTADO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO DE VALVULAS	37
4.1.1.	Mantenimiento Rutinario	38
4.1.2.	Mantenimiento en caso de falla	38
4.1.3.	Cumplimiento de Órdenes de Trabajo	39
4.2.	RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN	40
4.2.1.	Obtención de Información	40
4.2.1.1.	Válvulas instaladas en el oleoducto caño limón Coveñas	40
4.2.1.2.	Válvulas de compuerta manuales	44
4.2.1.3.	Válvulas con operación remota	45
4.2.1.4.	Válvulas de retención (Tipo Cheques)	47
4.2.1.5.	Actualización de la Información	47
4.2.1.6.	Información de Mantenimiento	49
4.2.2.	Organización de la Información	49
4.3.	ANÁLISIS, ESTADO Y DIAGNÓSTICO	52
4.3.1.	Análisis de Costos	52
4.3.1.1.	Cálculo de Lucro Cesante	52
4.3.1.2.	Costos por drenajes	53
4.3.1.3.	Costos de Mantenimiento Rutinario	54

4.3.1.4. Costos de Mantenimiento Correctivo	57
4.3.1.5. Análisis de costos por falla	58
4.3.2. Análisis de Riesgos	59
4.3.3. Análisis de condición	60
4.4. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS	63
4.4.1. Causas y Modos de falla para las válvulas del OCLC	63
4.4.2. Análisis de Inventarios	65
4.4.3. Plan de Mantenimiento Rutinario	66
4.4.3.1. Inspección Visual	66
4.4.3.2. Pruebas Funcionales	67
4.4.3.3. Lubricación	69
4.4.3.4. Mantenimiento del Sistema Eléctrico de Válvulas Automatizadas	71
4.4.3.5. Mantenimiento a la instrumentación de válvulas automatizadas	72
4.4.4. Mantenimiento No Rutinario (Por solicitud)	73
4.4.4.1. Ultrasonido en Válvulas	73
4.4.4.2. Termografía al Sistema Eléctrico	74
4.4.4.3. Reparación o aplicación de Recubrimientos	74
4.4.5. Reparación de Válvulas	75
4.4.6. Implementación en SAP-PM	75
4.4.7. Mantenimiento Predictivo	77
4.4.7.1. Termografía	77
4.4.7.2. Análisis de Aceite	80
4.5. INDICADORES PLANTEADOS	82
4.5.1. Indicador de Gestión	82
4.5.2. Indicador de Seguimiento	83
4.5.3. Indicador de Costos	84
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
BIBLIOGRAFIA	87

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Oleoducto Caño Limón – Coveñas de Ecopetrol S.A.	16
Figura 2. Perfil topográfico del Oleoducto Caño Limón – Coveñas	18
Figura 3. Contenedores de válvulas	19
Figura 4. Obturadores de válvulas	19
Figura 5. Asientos de válvulas	20
Figura 6. Actuadores de válvulas	20
Figura 7. Principio de Sellado	21
Figura 8. Configuraciones de la Válvula de Compuerta Slab	22
Figura 9. Configuraciones de la Válvula de Compuerta Doble Expansión	22
Figura 10. Válvula de bola trunnion top entry	23
Figura 11. Válvula de bola de entrada lateral de 2 y 3 piezas	24
Figura 12. Válvula de bola completamente soldada	24
Figura 13. Válvula manuales de bola y compuerta	25
Figura 14. Actuadores Manuales	25
Figura 15. Ejemplo de válvulas de accionamiento remoto con actuador eléctrico o electrohidráulico	26
Figura 16. Válvula de retención de apertura completa API 6d	26
Figura 17. Mapa de Proceso Gestión de Activos Industriales	28
Figura 18. Elementos del Proceso de Análisis de Condición del Activo	29
Figura 19. Esquema de la Evaluar información de la condición	31
Figura 20. Esquema del Soporte técnico de las actividades	33
Figura 21. Matriz RAM Probabilidad por Consecuencia	35
Figura 22. Cumplimiento plan de mantenimiento Válvulas Automatizadas 2014	39
Figura 23. Cumplimiento al plan de mantenimiento Válvulas Manuales 2014	40
Figura 24. Clasificación de acuerdo al tipo de válvulas	44
Figura 25. Clasificación de acuerdo al tamaño de las válvulas:	44
Figura 26. Disposición de Válvulas de compuerta manual OCLC	45
Figura 27. Disposición de Válvulas con operación remota OCLC	46
Figura 28. Disposición de Válvulas de Retención OCLC	47
Figura 29. Formato de registro de actualización de equipos - Válvula	48
Figura 30. Registro en el CMMIS (Ellipse). Orden de Trabajo	49
Figura 31. Taxonomía de Equipos	50
Figura 32. Clasificación SAP. Jerarquía de Equipos en SAP PM Válvulas OCLC.	52
Figura 33. Costos Mantenimiento Rutinario por Válvula Automatizada	55
Figura 34. Costos Mantenimiento Rutinario por Especialidad	55
Figura 35. Costos Mantenimiento Rutinario por Equipo	56
Figura 36. Años de servicio de válvulas del OCLC	60
Figura 37. Modos de falla válvulas del OCLC	61
Figura 38. Relación de modos de falla y año de instalación válvulas del	

OCLC	62
Figura 39. Niveles de Inventario	65
Figura 40. Medición de Concentricidad de una Junta Bridada	66
Figura 41. Medición Desalineamiento de una Junta Bridada	67
Figura 42. Medición por Ultrasonido – Detección de Fugas	73
Figura 43. Plan de Mantenimiento válvulas OCLC- SAP-PM	76
Figura 44. Imágenes por Termografía	78
Figura 45. Transformador Monitoreado	81

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Distribución de estaciones de bombeo OCLC	17
Tabla 2. Elementos claves del proceso de Análisis de condición del activo.	30
Tabla 3. Clasificación de Amenazas de Integridad para Ductos	34
Tabla 4. Listado de válvulas Oleoducto Caño Limón - Coveñas	41
Tabla 5. Clasificación de Niveles Proceso de Mantenimiento	50
Tabla 6. Tarifas de Transporte Cenit 2014-2015	53
Tabla 7. Cálculo de Lucro Cesante OCLC	53
Tabla 8. Costos promedio por drenaje	53
Tabla 9. Costos Mantenimiento Rutinario por válvula automatizada	54
Tabla 10. Costos Mantenimiento Rutinario por Especialidad.	54
Tabla 11. Costos Mantenimiento Rutinario por Equipo.	54
Tabla 12. Costos Mantenimiento Rutinario Válvulas Manuales	56
Tabla 13. Costos Total de Mantenimiento Rutinario	57
Tabla 14. Recursos asociados a Mantenimiento Correctivo	57
Tabla 15. Costos Mantenimiento Correctivo	58
Tabla 16. Costos asociados a una falla de una válvula	58
Tabla 17. Resultados de riesgo OCLC Diciembre 2014	59
Tabla 18. Tabla de Causas y Modos de Falla – Válvulas OCLC	64
Tabla 19. Costos de Mantenimiento	77
Tabla 20. Clasificación de fallas eléctricas	78
Tabla 21. Resultados de Inspección por Termografía	80
Tabla 22. Estándar para pruebas a aceites dieléctricos en operación.	81
Tabla 23. Registro de pruebas de análisis de aceite.	82

RESUMEN

TITULO:

ESTRATEGIA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA LAS VÁLVULAS DE SECCIONAMIENTO Y BLOQUEO DEL OLEODUCTO CAÑO LIMON COVEÑAS BASADOS EN UN PROCESO DE ANÁLISIS DE CONDICIÓN DE ACTIVOS Y CRITERIOS DE COSTO-RIESGO-BENEFICIO*

AUTORES

FAUSTO ADRIAN MESA MARQUEZ, FREDY ALBERTO RODRIGUEZ PULIDO, HENRY ERNESTO ESLAVA LARA**

PALABRAS CLAVE:

MANTENIMIENTO, VALVULAS, ANALISIS DE CONDICIÓN, MODOS DE FALLA, COSTO-RIESGO-BENEFICIO

CONTENIDO:

Esta monografía muestra el planteamiento de una estrategia de mantenimiento para las válvulas seccionamiento y bloqueo del oleoducto Caño Limón – Coveñas de acuerdo con la estrategia de gerenciamiento de activos de Ecopetrol S.A., buscando la optimización de recursos, la atención oportuna, la disminución de fallas y los paros no programados para una operación segura y confiable de las válvulas del oleoducto.

El proceso de gestión, busca asegurar todo el ciclo de vida de los activos industriales dentro de los cuales se incluyen las válvulas del oleoducto en todas sus etapas desde la incorporación, operación, optimización y desincorporación incluyendo el análisis de condición y la gestión de riesgos.

La metodología se planteó a partir del estado actual del programa de mantenimiento para los diferentes tipos de válvulas y su función, la obtención y organización de información, el análisis, estado y diagnóstico, el planteamiento de alternativas, recomendaciones e indicadores de gestión y resultado alineados con la estrategia corporativa.

Dentro de las alternativas y recomendaciones, se realizó un análisis de inventarios para determinar el stock mínimo requerido de reposición de válvulas, un análisis de causas y modos de fallas y la definición de un plan de mantenimiento rutinario, No rutinario, de reparaciones y reposición.

Con la estrategia de mantenimiento planteada, se busca contribuir con la gestión del riesgo y la mitigación de consecuencia asegurando la disponibilidad y funcionalidad de las válvulas dentro de una operación segura y confiable que asegure la rentabilidad y sostenibilidad de la empresa.

* Monografía de grado

** Facultad de ingenierías Físico – Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Camilo Eliecer Torres, Ingeniero Metalúrgico

SUMMARY

TITLE:

MAINTENANCE MANAGEMENT STRATEGY FOR THE ISOLATING AND LOCKING VALVES OF CAÑO LIMON COVEÑAS PIPELINE BASED IN A PROCESS OF ASSETS CONDITION ANALYSIS AND COST-RISK-PROFIT CRITERIA *

AUTORS

FAUSTO ADRIAN MESA MARQUEZ, FREDY ALBERTO RODRIGUEZ PULIDO, HENRY ERNESTO ESLAVA LARA**

KEYWORDS:

MAINTENANCE, VALVES, CONDITION ASSESSMENT, FAILURE MODES, COST-RISK-PROFIT

DESCRIPTION:

This paper shows the approach of a maintenance strategy for isolating and locking valves of Caño Limón - Coveñas pipeline according to the asset management strategy of Ecopetrol SA, seeking to optimize resources, timely care, the decrease of faults and unscheduled shutdowns for safe and reliable operation of the valves of the pipeline.

The management process aims to ensure the entire life cycle of industrial assets within which the valves of the pipeline are included in all stages from the incorporation, operation, optimization and divestiture including analysis of status and risk management.

The methodology was raised from the current state of the maintenance program for different types of valves and their function, obtaining and organizing information, analysis, status and diagnostic approach of alternatives, recommendations and management indicators and aligned result with corporate strategy.

Among the alternatives and recommendations inventory analysis was performed to determine the minimum required stock replacement valves, an analysis of causes and failure modes and definition of a routine maintenance plan, not routine, repair and replacement.

With the raised maintenance strategy, we seek to contribute to risk management and mitigation of consequences ensuring the availability and functionality of the valves in a safe and reliable operation to ensure the profitability and sustainability of the company.

* Monograph

** School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization
Director: Camilo Eliecer Torres, Metallurgical Engineer.

INTRODUCCION

En las última décadas, la gestión del mantenimiento ha tenido cambios en su enfoque, pasando de ser únicamente una actividad basada en el reacondicionamiento o sustitución de componentes por frecuencia, con los altos costos asociados a la inversión para la ejecución e indisponibilidad productiva de los activos, a una actividad de ingeniería de mantenimiento y confiabilidad, en un factor estratégico de oportunidad que debe tenerse en cuenta para lograr los objetivos corporativos de las unidades de negocio.

Ecopetrol S.A, ha venido implementando una estrategia de gerenciamiento de activos, basado en la reducción de niveles de riesgo presentes sobre la infraestructura, cuya metodología y análisis de integridad, confiabilidad y riesgos son parte fundamental de los procesos de calidad y gerenciamiento de los activos, definiéndose como elementos que permiten maximizar los resultados del negocio y toma de decisiones sobre la utilización de los mismos.

Debido a los diferentes acontecimientos de orden geotécnico, climático, social y de orden público que se han presentado en los últimos años en la infraestructura del oleoducto Caño Limón – Coveñas de gran importancia estratégica para el transporte de hidrocarburos en el País, es necesario analizar y definir nuevas acciones enfocadas a reducir los riesgos con la mitigación de las consecuencias en situaciones de contingencia; por lo cual se decide proponer una nueva estrategia aplicada a las válvulas de este oleoducto que son componentes principales del sistema, con el fin de tener una adecuada gestión dentro del proceso de mantenimiento, riesgos y criterios de costo beneficio.

Con el planteamiento de la estrategia de mantenimiento, se busca definir una metodología integral aplicada a las válvulas de bloqueo y seccionamiento del oleoducto Caño Limón – Coveñas enmarcada dentro de procesos corporativos de optimización de activos industriales y ciclo de vida de los equipos, integrando diversas metodologías de análisis de condición, valoración de riesgo y toma de decisiones bajo criterios de costo – beneficio que aporten a la optimización de recursos, los tiempos de atención, la disminución de fallas y la operación segura y confiable del oleoducto.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer la estrategia para la gestión de mantenimiento de las válvulas de seccionamiento y bloqueo del oleoducto Caño Limón - Coveñas basados en un proceso de análisis de condición de activos y criterios de costo-riesgo-beneficio.

1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Identificar el estado actual del mantenimiento de las válvulas del Oleoducto Caño Limón – Coveñas mediante un análisis sistémico de la información, con el fin de determinar las brechas existentes con respecto al modelo de Gestión de Activos de Ecopetrol.

- ✓ Definir la estrategia mediante la aplicación e integración de diferentes metodologías de análisis de condición del activo, valoración de riesgo y análisis de costos.

- ✓ Priorización las actividades dentro del plan de gestión de mantenimiento de acuerdo al resultado de los análisis realizados incluyendo conceptos de riesgo – costo – beneficio de las actividades propuestas.

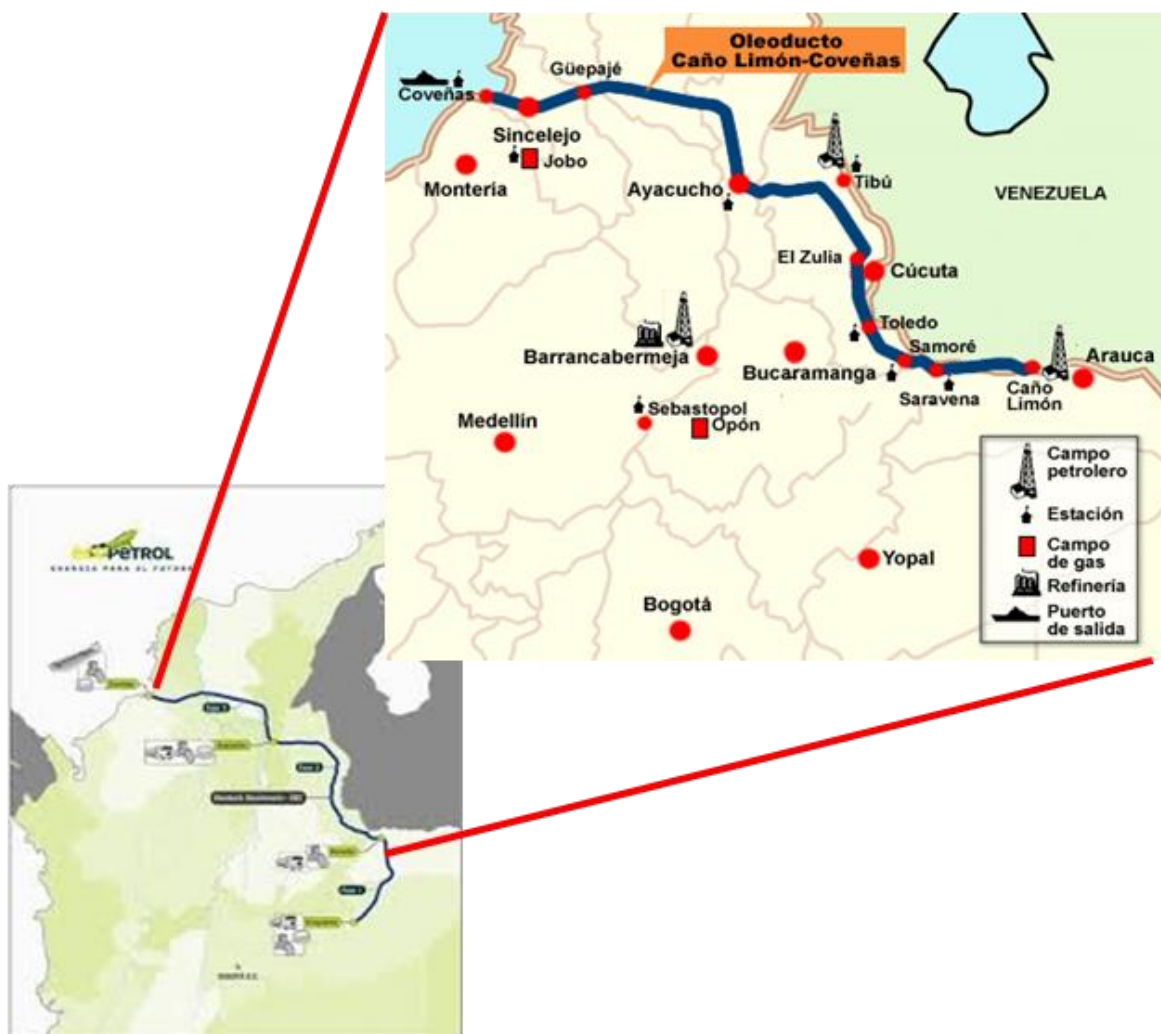
- ✓ Definir los indicadores que permitan medir la gestión en cada etapa del proceso y el cumplimiento de la estrategia propuesta.

2. GENERALIDADES

2.1. LOCALIZACIÓN

El Oleoducto Caño Limón – Coveñas (OCLC), hace parte de la red de oleoductos Operados y Mantenidos por la Vicepresidencia de Transporte de Ecopetrol, tiene una longitud de 770,6 kilómetros, inicia en el campo Caño Limón y termina en el Terminal Marítimo de Coveñas, atravesando los departamentos de Arauca, Boyacá, Norte de Santander, Cesar, Magdalena, Bolívar y Sucre.

Figura 2. Oleoducto Caño Limón – Coveñas de Ecopetrol S.A.



Fuente. ECOPETROL 2015

El oleoducto tiene capacidad de transporte de acuerdo al diseño de 220000 BPDC, cuenta con 6 estaciones de bombeo: Caño Limón, Banadía, Samoré, Toledo, Orú, Ayacucho y recibo en Coveñas, un ducto que las une en diferentes diámetros que oscilan entre 18”, 20” y 24” y 87 válvulas instaladas en toda su longitud para el seccionamiento automático y bloqueo de algún segmento del oleoducto en situaciones donde se requiera mitigar las consecuencias por un derrame o por la ejecución de actividades de mantenimiento. En la tabla 1 se relaciona la ubicación de las estaciones de bombeo con sus principales características.

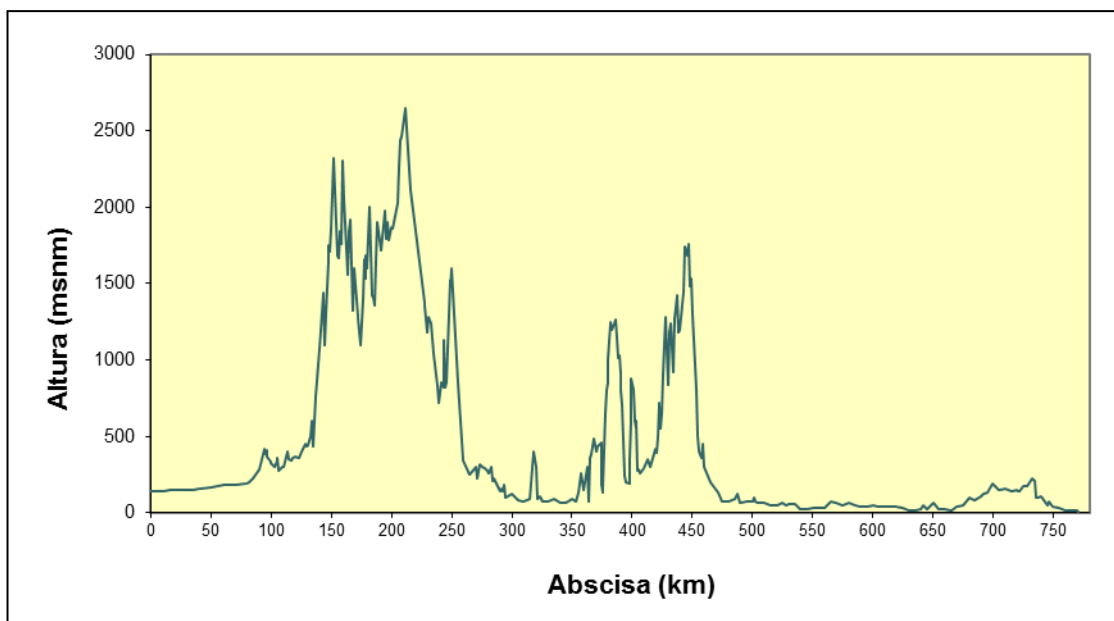
Tabla 1. Distribución de estaciones de bombeo OCLC

ESTACIÓN	UBICACIÓN	No. de Unidades de bombeo	Configuración Hidráulica
Caño Limón	Km 000+000	4	Paralelo
Banadía	Km 078+460	4	Serie
Samoré	Km 137+190	5	Paralelo
Toledo	Km 191+250	3	Serie
Orú	Km 376+040	3	Serie
Ayacucho	Km 472+258	3	Paralelo
Coveñas	Km 770+600	0	Almacenamiento

Fuente. ECOPETROL 2015

Dada la longitud del oleoducto y la topografía de nuestro país y especialmente de las zonas por donde atraviesa el ducto, presenta un perfil topográfico variable que oscila desde los 10 msnm hasta 2500 lo cual hace más relevante el manejo de válvulas. En la figura 2 se observa el perfil topográfico de la longitud completa del oleoducto.

Figura 2. Perfil topográfico del Oleoducto Caño Limón – Coveñas



Fuente. ECOPEPETROL 2015

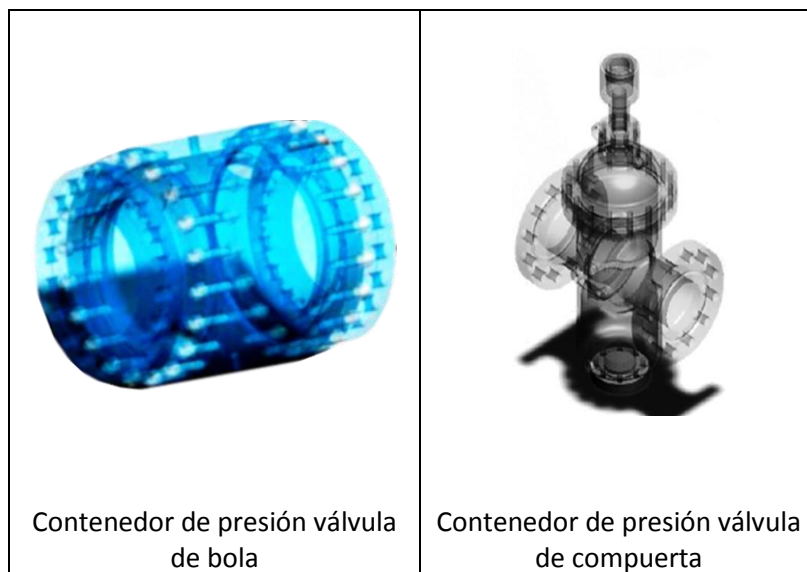
2.2. VALVULAS OLEODUCTO CAÑO LIMÓN - COVEÑAS

Una válvula es un accesorio diseñado para la manipulación de los fluidos transportados por un ducto con dos características en común, tienen un conducto en el cuerpo a través del cual pasa el líquido y una parte móvil que se mueve en el conducto para abrir, cerrar o cambiar el tamaño del conducto.

2.2.1. Conceptos generales de válvulas para ductos de transporte de hidrocarburos líquidos. Toda válvula cuenta con 4 partes fundamentales: El contenedor de fluido, el obturador o elemento de cierre, los asientos y el operador de apertura o cierre. Además toda válvula debe cumplir el principio de sello o sellado.

2.2.1.1. Contenedor del fluido. Está constituido por cuerpo, bonete, vástago, empaques y tornillos, lo cual constituye un conjunto diseñado para contener la presión del fluido del ducto. En la figura 3 se puede observar dos tipos de contenedores de válvulas.

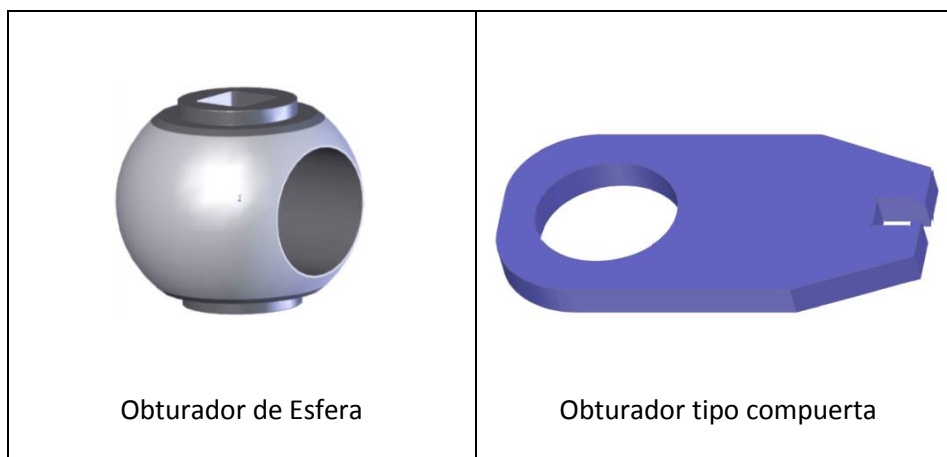
Figura 3. Contenedores de válvulas



Fuente: Catálogos proveedores de Ecopetrol.

2.2.1.2. Obturador o elemento de cierre. Elemento de la válvula que se posiciona en la corriente de la línea, para permitir o detener el flujo. En la figura 4 se puede observar dos tipos de obturadores.

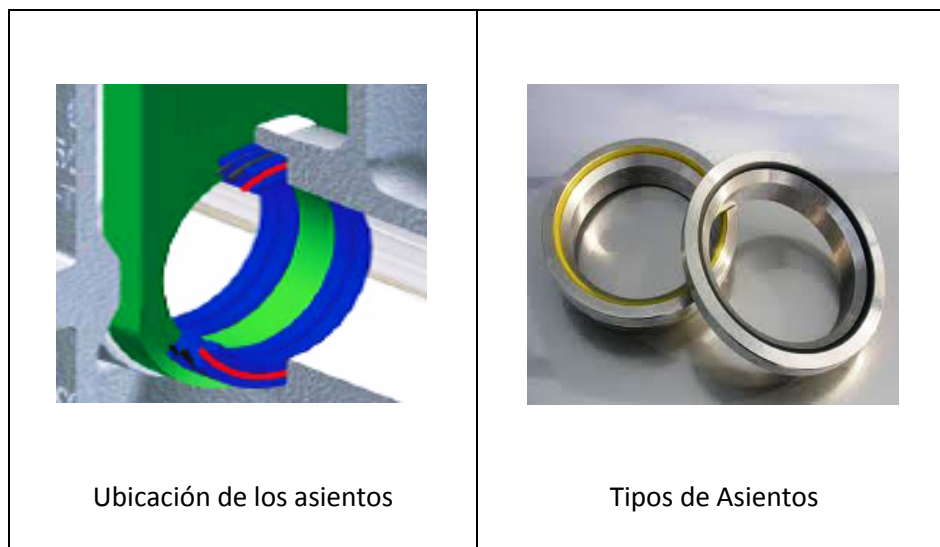
Figura 4. Obturadores de válvulas



Fuente: Catálogos proveedores de Ecopetrol.

2.2.1.3. Asientos. Son las partes de la válvula que al entrar en contacto con el obturador logran establecer sello, cerrando el paso del fluido. Figura 5

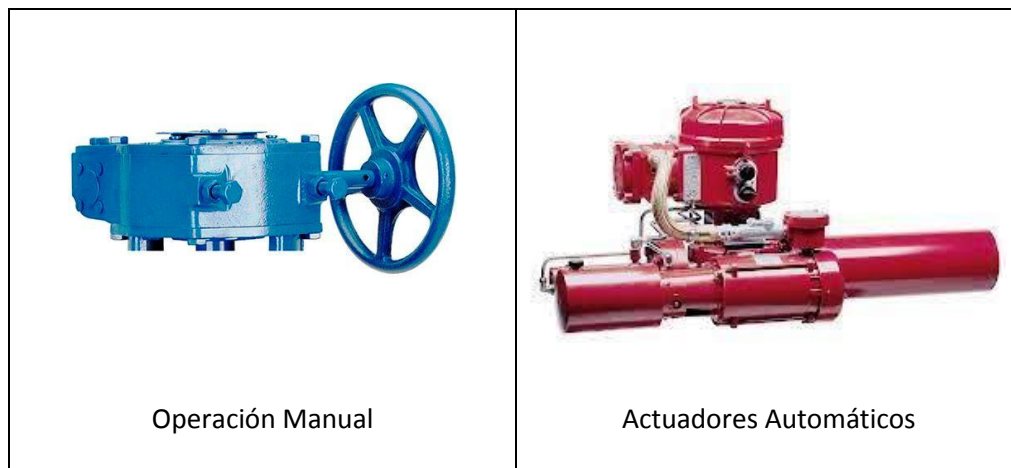
Figura 5. Asientos de válvulas



Fuente: Catálogos proveedores de Ecopetrol.

2.2.1.4. Operador de Apertura o Cierre. Este componente puede ser manual o automático, va conectado al vástago y mediante su manipulación se ejerce la apertura o cierre de la válvula. Figura 6.

Figura 6. Actuadores de válvulas

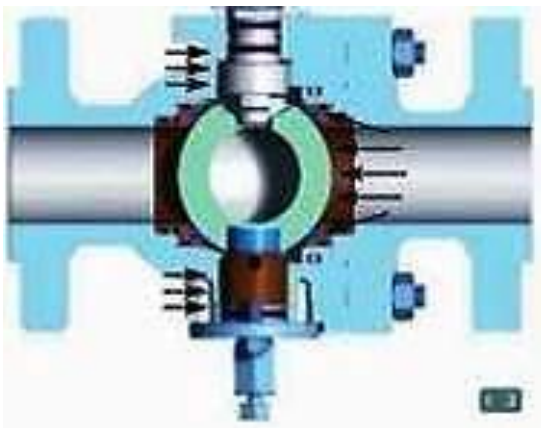


Fuente: Catálogos proveedores de Ecopetrol.

2.2.1.5. Principio de sellado. El asiento dinámico depende de la presión del fluido para cumplir la función de sello, quien cierra es el obturador y quien sella es el asiento cuando el obturador se desplaza a la posición de cierre, el asiento se ve empujado hacia él, generando sello en el momento en que el inserto del asiento

entra en contacto con el obturador. En la figura 7 se observa cómo se produce el principio de sellado.

Figura 7. Principio de Sellado



Fuente: Catálogos proveedores de Ecopetrol.

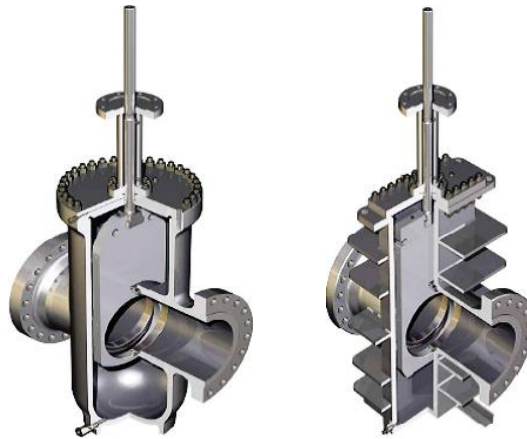
2.2.2. Clasificación Del Tipo de Válvulas para ductos de transporte de hidrocarburos líquidos

2.2.2.1. Válvulas de compuerta de paso completo y continuo. Son válvulas de múltiples vueltas, al girar el vástago la compuerta se desplaza de forma vertical hasta que el conducto a través de la compuerta queda alineado con el conducto que pasa por el cuerpo de la válvula, el cual tiene el mismo diámetro interno de la tubería, proporcionando en ese momento el paso completo de fluido.

Se contemplan dos tipos de válvulas:

a. Válvulas de compuerta sólida con caras paralelas (Slab Gate): Es la válvula cuyo elemento obturador es de una sola pieza de caras paralelas el cual se mueve en el plano perpendicular al flujo. El diseño de los asientos es dinámico, por lo que su sellado depende exclusivamente de la presión del fluido, el cuerpo está formado por una pieza fundida o forjada, tiene acceso por la parte superior o bonete, hacia los elementos internos de la misma, sus extremos pueden ser bridados o para soldar. En la figura 8 se observa las configuraciones más comunes de este tipo de válvulas.

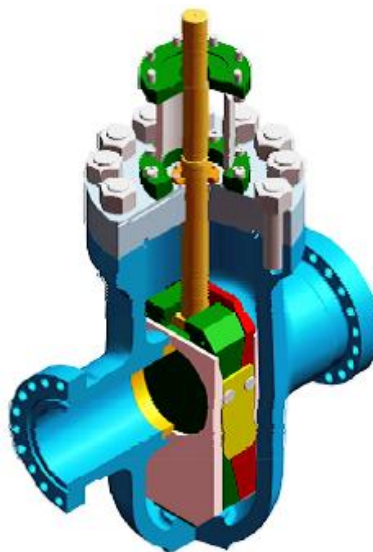
Figura 8. Configuraciones de la Válvula de Compuerta Slab



Fuente: Catálogos proveedores de Ecopetrol.

b. Válvulas de compuerta de doble expansión (Double expanding gate): En este tipo de válvula la compuerta está formada por dos piezas que se deslizan entre sí al entrar en contacto con unos topes existentes en la parte superior e inferior, expandiéndose en ese momento el conjunto para entrar en contacto con sus superficies de asiento formando un sello hermético. Figura 9.

Figura 9. Configuraciones de la Válvula de Compuerta doble expansión



Fuente: Catálogos proveedores de Ecopetrol.

2.2.2.2. Válvulas de bola. Es una válvula de $\frac{1}{4}$ de vuelta, al girar la esfera 90° , el flujo de fluido que pasa en ese momento por la línea se detiene, aumentando la presión en el lado aguas arriba de la válvula, motivo por el cual el asiento se ve forzado a entrar en contacto con la esfera ocasionando el sello. En este caso se define el concepto de asiento dinámico, en este tipo de válvula, quien cierra es la esfera y quien sella es el asiento al girar la esfera a la posición de cierre. Para ductos de transporte también se emplean válvulas de bola montadas sobre muñón y de apertura completa (Trunnion Full Bore).

Para este tipo de válvulas, se contemplan tres tipos de acuerdo a la configuración del cuerpo:

a. Válvula de bola de entrada superior (Top entry): El cuerpo está formado por una pieza fundida o forjada y tiene acceso por la parte superior o bonete, hacia los elementos internos de la misma, sus extremos pueden ser bridados o para soldar. Figura 10

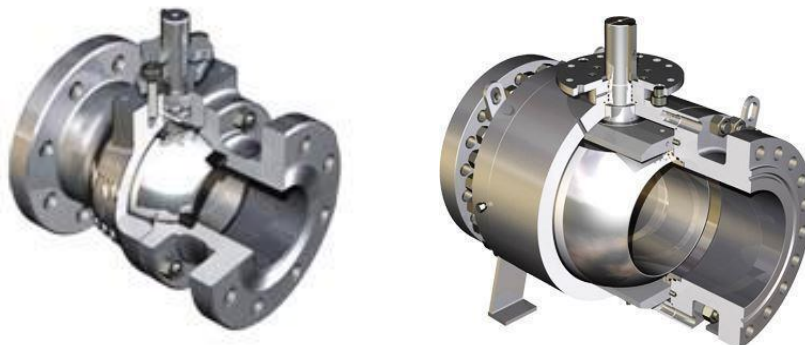
Figura 10. Válvula de bola trunnion top entry



Fuente: Catálogos proveedores de Ecopetrol.

b. Válvula de bola de entrada lateral (Side entry): El cuerpo puede estar formado por 2 o 3 partes, el acceso a los internos se da por la parte lateral, sus extremos pueden ser bridados o para soldar. Figura 11

Figura 11. Válvula de bola de entrada lateral de 2 y 3 piezas



Fuente: Catálogos proveedores de Ecopetrol.

c. Válvula de bola de cuerpo completamente soldado (Fully welded): Esta válvula tiene el cuerpo totalmente soldado, para acceder a los internos es necesario cortarla en taller. Figura 12.

Figura 12. Válvula de bola completamente soldada



Fuente: Catálogos proveedores de Ecopetrol.

2.2.3. Clasificación de Válvulas de acuerdo a su función

2.2.3.1. Válvulas Manuales. Su función principal es bloquear el paso de fluido proporcionando un cierre hermético, viene equipada con actuador manual para su operación. Figura 13.

Figura 13. Válvula manuales de bola y compuerta



Fuente: Ecopetrol.

Los actuadores manuales, básicamente son cajas de engranajes concebidas para facilitar la operación de las válvulas, proporcionando el torque que requiere la válvula. Figura 14.

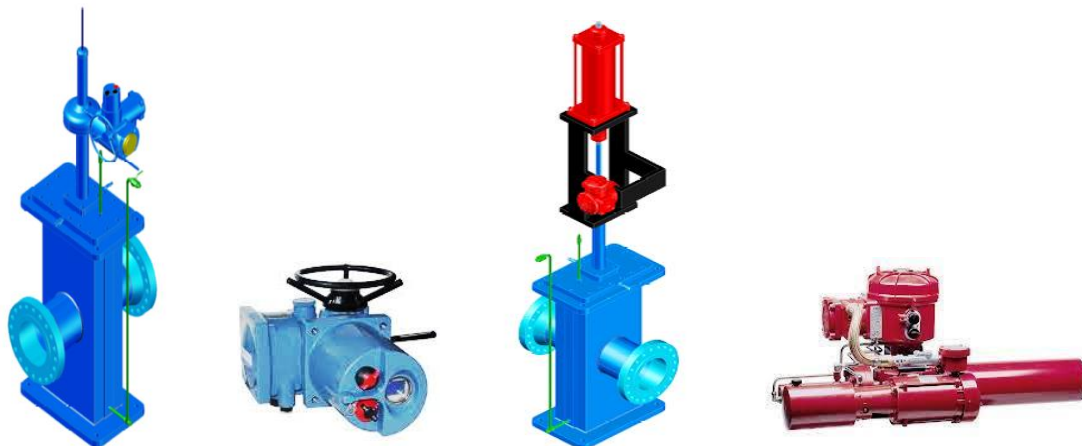
Figura 14. Actuadores Manuales



Fuente: Catálogos proveedores de Ecopetrol.

2.2.3.2. Válvulas de Accionamiento Remoto. Estas válvulas se pueden operar a través de un actuador eléctrico o electrohidráulico, de forma remota o local con la activación de un pulsador desde la consola de la sala de operaciones. En la figura 15 se pueden observar algunos ejemplos de válvulas de accionamiento remoto y sus actuadores.

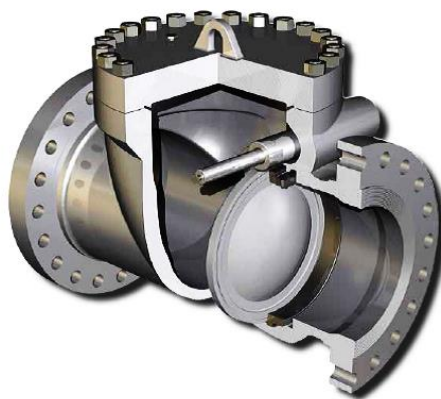
Figura 15. Ejemplo de válvulas de accionamiento remoto con actuador eléctrico o electrohidráulico



Fuente: Catálogos proveedores de Ecopetrol.

2.2.3.3. Válvulas de Retención de Apertura Completa (Tipo Cheque). Son válvulas integrales que están destinadas a impedir la inversión de flujo en el ducto, se mantiene en posición abierta por la presión del fluido y solo se cierra por efecto de contrapresión cuando se invierte el flujo. La válvula de retención de clapeta oscilante y apertura completa es la apta para ductos de transporte de hidrocarburos líquidos. Figura 16.

Figura 16. Válvula de retención de apertura completa API 6d



Fuente: Catálogos proveedores de Ecopetrol.

3. GESTION DE ACTIVOS

3.1. PROCESO DE GESTIÓN DE ACTIVOS INDUSTRIALES EN ECOPETROL

La gestión de activos industriales de Ecopetrol, es el proceso por medio del cual se realiza la gestión del ciclo de vida de todos los activos industriales, entendiendo como activo industrial el bien físico o tangible que posee la organización¹ y por medio del cual se desarrollan sus procesos y servicios dentro de los cuales se encuentra el transporte y logística de hidrocarburos.

Están constituidos por máquinas, equipos, infraestructura de automatización de procesos e infraestructura industrial e incluye diversas etapas para la gestión de todo su ciclo de vida.

3.2. ETAPAS DEL CICLO DE VIDA¹

A continuación se relaciona las etapas que hacen parte del proceso de gestión de activos y con los cuales se gestiona todo el ciclo de vida de los activos:

3.2.1. Incorporación de Activos Industriales. Acciones requeridas para la adquisición, creación y/o modificación de activos industriales que apalancan la estrategia organizacional a través de la toma de decisiones asegurando la selección de la mejor alternativa que agrega valor en la gestión integral de activos; incluye diseño, compra activos, construcción y arranque.

3.2.2. Operación y Mantenimiento. Acciones técnicas y administrativas de planeación, programación y ejecución; encaminadas a mantener los componentes de los activos industriales o a restaurarlos a un estado en el cuál pueda realizar la función requerida.

3.2.3. Operación Estructurada. Proceso sistemático y organizado que se desarrolla en todas las áreas operativas mediante la ejecución de mejores prácticas en seguridad, comunicación, confiabilidad, documentación, análisis , seguimiento, aprendizaje y optimización de la operación que nos permite controlar, asegurar y mejorar los procesos operativos logrando una operación segura, confiable, estandarizada y rentable.

3.2.4. Optimización del Desempeño de Activos. Secuencia de actividades que permiten mediante el análisis de la información de operación y mantenimiento y la generación de recomendaciones, a través de los procesos de eliminación de defectos y administración de mejora de los activos, la optimización de los planes

¹ ARIS. Herramienta Informática de Gestion de Procesos

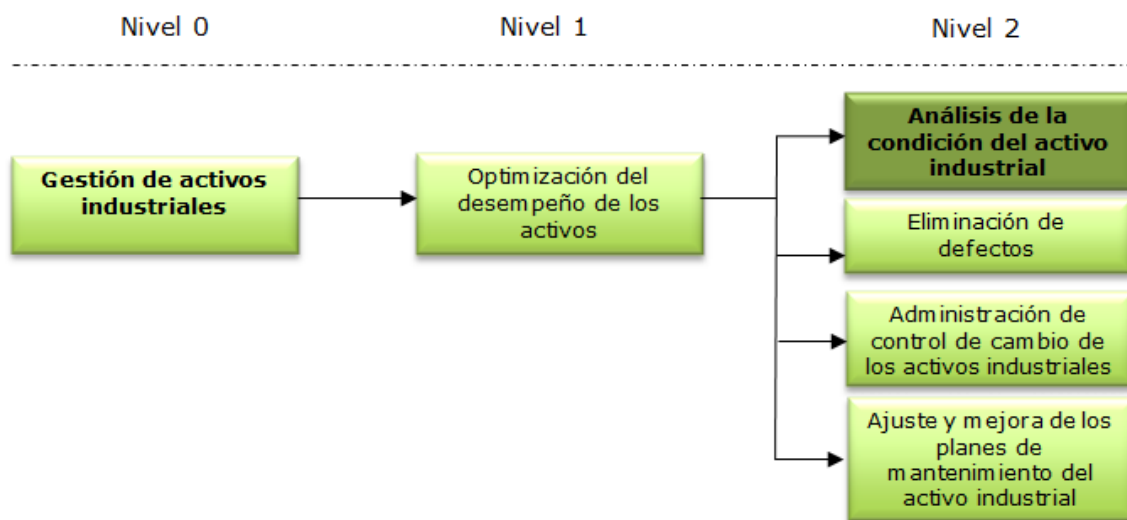
de mantenimiento, el ajuste de variables operativas y de integridad, que garanticen el óptimo desempeño del activo

3.2.5. Desincorporación de Activos Industriales. Consiste en las actividades necesarias para poner fuera de funcionamiento las facilidades asociadas a los procesos de operación y su correspondiente retiro cuando aplique. (Exploración, Desarrollo de Campos, Producción, Refinación y Petroquímica y Transporte).

3.3. ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN DEL ACTIVO²

De acuerdo a la estrategia de Gestión de Activos Industriales de Ecopetrol, el análisis de condición del activo hace parte de un proceso de optimización del desempeño de activos. En la figura 17, se muestra el mapa general de procesos con el cual se busca materializar las estrategias de mantenimiento y confiabilidad de la Gestión de Activos Industriales de Ecopetrol.

Figura 17. Mapa de Proceso Gestión de Activos Industriales



Fuente. ECOPETROL. Mapa de Procesos Industriales

El análisis de condición del activo, está enfocado principalmente al análisis de variables operativas, de integridad y el seguimiento del desempeño que facilitan la generación de recomendaciones y acciones para garantizar la operación segura, confiable y sostenible en Ecopetrol S.A.

² GAC-G-003 Guía de Análisis de la Condición del Activo de Ecopetrol

3.3.1. Interrelaciones Estratégicas. El proceso de Análisis de Condición del Activo, se interrelaciona con otros procesos y subproceso de Ecopetrol entre los cuales se encuentran:

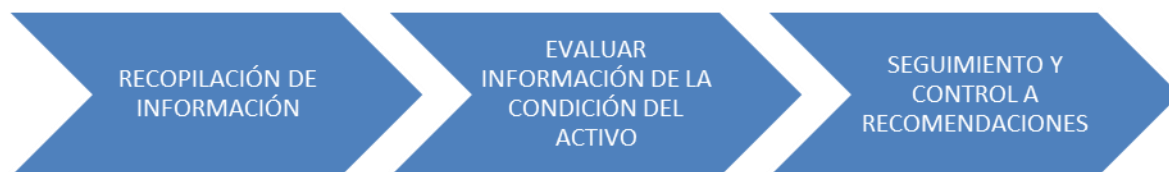
- ✓ Abastecimiento
- ✓ Operación Estructurada
- ✓ Mantenimiento Mayor y Rutinario
- ✓ Control de Cambios
- ✓ Eliminación de Defectos
- ✓ Desincorporación de Activos Industriales
- ✓ Talento Humano

Con esta interrelación, se busca estructurar y asegurar los planes de desarrollo y mejoramiento de competencias del personal, gestión de compras de equipos, materiales y servicios, actividades de cuidados de equipos, actividades de mantenimiento mayor y en servicio, gestión del cambio, modificaciones de diseño, análisis de causa raíz, entre otras y apoyar la toma de decisiones durante todo el ciclo de vida de los activos.

3.3.2. Elementos Claves del Proceso. El proceso de Análisis de Condición del Activo, se basa en metodologías de mantenimiento y confiabilidad de la compañía donde se definen las actividades requeridas para asegurar la disponibilidad de los activos y lograr una operación segura y confiable.

Este proceso está conformado por tres fases principales como se muestra en la figura 18

Figura 18. Elementos del Proceso de Análisis de Condición del Activo



Fuente: ECOPEPETROL.

En la Tabla 2 se resumen los requerimientos y elementos claves para cada etapa y bajo la cual se desarrolla el trabajo.

Tabla 2. Elementos claves del proceso de Análisis de condición del activo.

	ACTIVIDADES	ELEMENTO CLAVE
Análisis condición activo industrial	1. Recopilar información	1.1 Obtener información de las fuentes
		1.2 Organizar Información
	2. Evaluar información	2.1 Realizar análisis de la información
		2.2 Conclusión del estado y emisión de diagnóstico
		2.3 Planteamiento de Alternativas de corrección y análisis de la decisión
		2.4 Generar recomendación
	3. Seguimiento y control a recomendaciones	3.1 Revisar cumplimiento de recomendaciones
		3.2 Ejecutar controles de calidad

Fuente: Ecopetrol

3.3.2.1. Recopilación de Información. Para esta etapa del proceso de tienen dos actividades principalmente

a. Obtener información de las Fuentes: Los datos requeridos para realizar los análisis de condición de los activos industriales se obtienen de los sistemas de información corporativos. La información necesaria es se lista a continuación:

- ✓ Información de monitoreo:
- ✓ Orden de trabajo de mantenimiento:
- ✓ Estrategias de confiabilidad:
- ✓ Informe final de taller post-ejecución:
- ✓ Datos de control:
- ✓ Datos de planeación de producción:
- ✓ Información de incidentes y fallas de control:
- ✓ Ventana operativa:

b. Organizar información. Algunas recomendaciones para asegurar la confiabilidad de la información:

- ✓ Diferenciar los datos obtenidos directamente de los sistemas de información corporativos de los datos calculados a partir de ellos.
- ✓ Indicar en todos los reportes la fuente de la cual fueron consultados los datos.
- ✓ Generar documentos concretos y ordenados que permitan posteriormente su análisis.
- ✓ En todos los reportes se debe indicar la fecha y el cargo responsable de su elaboración.

- ✓ Asegurar que los reportes elaborados se almacenen en repositorios corporativos.

3.3.2.2. Evaluar la Información. Consiste en analizar la información recopilada, comparándola con las guías de control establecidas y estándares para identificar las desviaciones, mediante el uso de técnicas de diagnóstico, herramientas estadísticas de confiabilidad (Weibull, Montecarlo, entre otras) y el análisis del costo del ciclo de vida del activo industrial que permiten recomendar las acciones que garanticen la confiabilidad requerida del activo industrial o su desincorporación.

Figura 19. Esquema de la Evaluar información de la condición



Fuente: ECOPETROL.

Las principales características de cada etapa se enuncian a continuación:

a. Realizar análisis de la información de la condición del activo industrial.

Consiste en determinar las correlaciones de variables y tendencia del desempeño del activo industrial y proceso, mediante el análisis de registros históricos de las variables de interés, las cuales están orientadas a la búsqueda de oportunidades de mejora. Las variables a analizar entre otras son:

- ✓ Variables de operación y calidad.
- ✓ Variables de condición de los activos industriales.
- ✓ Históricos de ejecución de mantenimiento de equipos.

b. Identificar causas de desviación. Para la identificación de las causas se requiere el cálculo de Indicadores de gestión, tales como MTBF, MTTR, Tasa de fallas, entre otros. Como resultado del análisis de los indicadores se deben identificar las desviaciones del desempeño esperado.

De acuerdo con las desviaciones identificadas se debe determinar la capacidad funcional del activo industrial en diferentes aspectos (energético, operativo, calidad y seguridad), así como las causas que las generaron, teniendo en cuenta si son eventos de falla funcional o desviaciones de las variables de control monitoreadas. El entregable principal de esta etapa es la emisión del diagnóstico o identificación

del problema o mecanismo que genera el comportamiento anormal del equipo o el sistema.

Para llegar al diagnóstico se utilizan herramientas de monitoreo predictivo, inferencia estadística de los datos capturados, análisis de laboratorio, pruebas de capacidad, entre otras.

c. Establecer acciones correctivas o de mejora para garantizar la confiabilidad del activo. El objetivo de la decisión y el análisis termina con una recomendación explícita para corregir la desviación del equipo o sistema, las cuales pueden estar referenciadas a:

- ✓ Realizar Intervenciones de Mantenimiento.
- ✓ Solicitud de ajuste a los planes de mantenimiento.
- ✓ Solicitud de proyectos de inversión.
- ✓ Solicitud de Proyectos de continuidad operativa.
- ✓ Plantear Desarrollo o cambios de procedimientos.
- ✓ Realizar Cierre de brechas de competencias.
- ✓ Plantear Modificación en el diseño.
- ✓ Plantear Modificación de rondas estructuradas.
- ✓ Plantear Ajustes a las guías de control y ventanas operativas.

Las acciones correctivas o de mejora planteadas deben lograr:

- ✓ Maximizar la disponibilidad y confiabilidad del activo.
- ✓ Obtener una mayor Relación costo beneficio.
- ✓ Operar bajo estándares de calidad y seguridad.
- ✓ Asegurar la integridad del activo.
- ✓ Detectar en forma temprana patrones de falla.

d. Generar recomendación. Los requisitos mínimos que debe tener una recomendación son los siguientes:

- ✓ Presentar el diagnóstico del problema y la causa identificada.
- ✓ Describir las diferentes opciones analizadas y el proceso de decisión
- ✓ Presentar la evaluación del riesgo asociado a la no ejecución de la recomendación.
- ✓ Definir el alcance, responsable y fecha de las acciones recomendadas a implementar.
- ✓ Plantear un costo aproximado de la intervención o la implementación de la recomendación

- ✓ Definir las acciones de mitigación y/o controles requeridos para mantener la función hasta la implementación de la acción requerida.
- ✓ Indicar los controles de calidad asociados a las acciones recomendadas.
- ✓ Registrar las acciones recomendadas en una herramienta que permita realizar seguimiento a la ejecución de las mismas.

Las recomendaciones se deben divulgar a todos interesados (mantenimiento, operaciones, abastecimiento, proyectos, entre otros).

3.3.2.3. Soportar técnicamente las actividades de optimización. Consiste en verificar la ejecución de las actividades propuestas en los procesos de la optimización de los activos industriales, mediante el seguimiento del cumplimiento de recomendaciones y de controles de calidad. Las principales actividades se listan en la figura 20.

Figura 20. Esquema del Soporte técnico de las actividades



Fuente: ECOPELROL.

a. Revisar cumplimiento de recomendaciones. Realizar seguimiento al cumplimiento de las recomendaciones ejecutadas, en cuanto a calidad y oportunidad. Se debe informar al área técnica responsable de las recomendaciones que están a su cargo y que no se han ejecutado en el plazo requerido.

b. Ejecutar controles de calidad. Realizar seguimiento al cumplimiento de los controles de calidad establecidos en las recomendaciones. Se debe informar al área técnica responsable en caso de encontrar alguna anomalía o incumplimiento en los controles de calidad.

3.3.3. Informe de Análisis. Como producto de este proceso se deben emitir recomendaciones encaminadas a la solución de los hallazgos y posteriormente generar un informe gerencial, con una frecuencia definida por el negocio, con el siguiente contenido:

- ✓ Resultado de indicadores de desempeño del proceso de gestión de activos industriales con análisis de tendencias y desviaciones.
- ✓ Listado de Malos Actores (eventos de falla, costos operacionales).
- ✓ Avance y efectividad de las recomendaciones emitidas.

- ✓ Violación de ventanas operativas.
- ✓ Plan de intervenciones – acciones correctivas/preventivas claves del próximo periodo.

3.4. GESTIÓN DE RIESGOS

La gestión de los riesgos se entiende como la definición e implementación de acciones estratégicas de diagnóstico, prevención, monitoreo y mitigación de riesgos de manera sostenible y responsable con personas, comunidades y medio ambiente.

La aplicación de diferentes modelos de valoración de riesgos, permite determinar la probabilidad de falla y el nivel de consecuencias asociado a cada activo que pueda potencializarse en una falla o evento no deseado.

3.4.1. Modelo de Riesgos. La metodología para la identificación de los riesgos está basada en la práctica recomendada por el Instituto Americano del Petróleo para la gestión de activos de ductos de transporte, la norma API 1160³ que incluye el proceso de valoración y gestión del riesgo de cualquier activo físico involucrado en el transporte de hidrocarburos.

La identificación de riesgos se realiza según su naturaleza, desarrollo y relación con el tiempo y el entorno, los riesgos operacionales potenciales que pueden afectar la integridad y confiabilidad del ducto los cuales se clasifican como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de Amenazas de Integridad para Ductos

CLASIFICACIÓN	AMENAZAS
Dependientes del tiempo	Corrosión Interna
	Corrosión Interna
	SCC (Stress Corrosion Cracking)
Estables en el tiempo	Defectos de Fabricación
	Defectos de construcción y/o soldadura
	Fallas en Equipos
Independientes del tiempo	Daños ocasionados por terceros
	Operaciones incorrectas
	Relacionadas con el Clima y Fuerzas Externas

Fuente: API 1160.

³ API 1160 “Managing System Integrity for Hazardous Liquid Pipelines”

Dentro del modelo de gestión de activos de Ecopetrol, la Vicepresidencia de Transporte, ha desarrollado una metodología para la valoración de riesgos a través de un modelo semi-cuantitativo con dos módulos de medición, uno corresponde al módulo de probabilidad de falla y el otro al módulo de consecuencias.

Para la evaluación de la probabilidad de falla, se subdivide en las amenazas a la integridad nombradas en la tabla 3 y se tienen en cuenta factores de daño que potencializan la amenaza y factores de mitigación que reducen la probabilidad de falla por cada una de las amenazas. Para la evaluación de consecuencias, se contemplan todas aquellas de tipo económico, a personas, al medio ambiente, infraestructura e imagen de la compañía.

Los resultados del análisis son clasificados de acuerdo a la Matriz RAM (*Risk Assessment Matrix*) de probabilidad por consecuencia como se observa en la figura 21. Esta clasificación, permite la identificación, priorización y direccionamiento de los recursos apropiados para determinar un plan de acción encaminado a conservar la integridad de los activos.

Figura 21. Matriz RAM Probabilidad por Consecuencia

		PROBABILIDAD				
		A	B	C	D	E
		No ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Unidad, Superintendencia o Departamento
CONSECUENCIA	5	M ●	M ●	H ●	H ●	VH ●
	4	L ●	M ●	M ●	H ●	H ●
	3	N ●	L ●	M ●	M ●	H ●
	2	N ●	N ●	L ●	L ●	M ●
	1	N ●	N ●	N ●	L ●	L ●

Fuente: Proceso de Análisis de Riesgo Ecopetrol

La clasificación del riesgo de acuerdo a la matriz RAM, se da en 5 niveles que van desde Nulo (N), Bajo (L), Medio (M), Alto (H) y Muy Alto (VH).

Dentro del modelo actual para la valoración de riesgos de ductos de Ecopetrol, las válvulas que hacen parte del ducto, son evaluadas dentro de la amenaza de Equipos, el modelo se basa en factores que pueden potencializar los daños y factores que mitigan o reducen la probabilidad de falla. El nivel de consecuencias para estas válvulas es determinado con base en los volúmenes de derrame, la afectación a las áreas de influencia entre las cuales contempla el impacto a personas, medio ambiente, la operación y los activos de la compañía bajo diferentes escenarios de fuga o ruptura típicos para cada tipo de amenaza.

4. PLANTEAMIENTO DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

En los últimos años la Vicepresidencia de Transporte de Ecopetrol, como parte de sus buenas prácticas, ha venido implementando una estrategia de gerenciamiento de activos basado en la reducción de niveles de riesgo presentes sobre la infraestructura, lo cual busca tener un punto de referencia común en torno a las acciones que se deben implementar como parte de ésta estrategia. Las metodologías y análisis de integridad, confiabilidad y riesgos son parte fundamental de los procesos de calidad y gerenciamiento de activos y se definen como elementos que permiten maximizar los resultados del negocio y tomar decisiones sobre la utilización de los activos para obtener las metas a corto, mediano y largo plazo.

Debido a los diferentes acontecimientos de orden climático, social y de orden público que ha sufrido en los últimos años la infraestructura del oleoducto Caño Limón – Coveñas, se requiere definir nuevas acciones enfocadas a reducción de riesgos y mitigación de consecuencias en situaciones donde se pueda materializar un evento asociado a los factores anteriormente nombrados, por lo cual se decide proponer una nueva estrategia aplicada a las válvulas del sistema con el fin de tener una adecuada gestión dentro del proceso de mantenimiento y gestión de riesgos.

El plan de trabajo se definió de acuerdo a la estrategia de gestión de activos y el análisis de condición de Ecopetrol explicado en el capítulo 3.

Las principales fases desarrolladas fueron:

- ✓ Estado actual del mantenimiento de válvulas del oleoducto
- ✓ Recopilación de información
- ✓ Análisis, Estado y diagnóstico
- ✓ Planteamiento de Alternativas y recomendaciones

4.1. ESTADO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO DE VALVULAS

Como parte inicial del trabajo se realizó un diagnóstico inicial del mantenimiento actual para las válvulas de seccionamiento y bloqueo del OCLC encontrando que en los últimos dos años se ha venido trabajando en planes de mantenimiento rutinario y acciones correctivas en caso de falla encontrando algunas falencias las cuáles se relacionan a continuación:

4.1.1. Mantenimiento Rutinario

- ✓ Programa de mantenimiento realizado de acuerdo a la experiencia del personal técnico. Actualmente no está de acuerdo a un análisis de modos y causas de falla.
- ✓ Por cada componente de las válvulas automatizadas se están disparando una orden de trabajo (OT), las cuales genera gran número de OT y demanda mayor número de recursos en ejecución y documentación.
- ✓ La ejecución de las OT, se realiza con cuadrillas independientes por especialidad en diferentes momentos de tiempo lo cual genera mayor demanda de recursos.
- ✓ Actualmente no se tiene implementado un plan de diagnóstico predictivo.
- ✓ Las válvulas de operación manual no tienen rutinas de inspección y no están incluidas en el sistema de mantenimiento por lo cual no se tiene trazabilidad sobre los mantenimientos ejecutados.
- ✓ En la zona existen problemas de atentados, seguridad física y logística que dificultan la ejecución de las actividades de mantenimiento

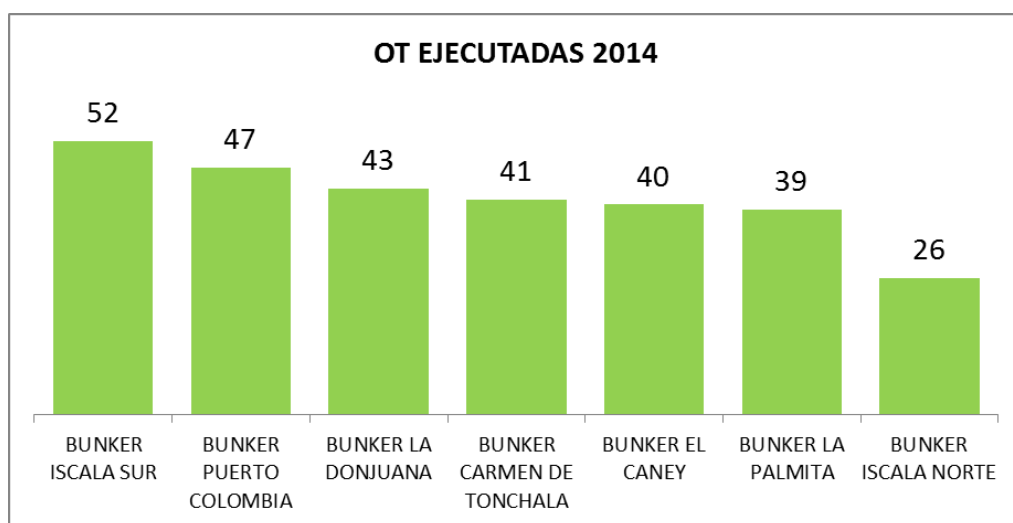
4.1.2. Mantenimiento en caso de falla

- ✓ Actualmente no se tiene definido un esquema de reposición para las válvulas.
- ✓ No se tiene definido un esquema contractual o acuerdos de servicio con proveedores para minimizar tiempos de reposición.
- ✓ Procedimientos de reparación subestandar lo cual genera paradas posteriores para reparaciones definitivas que cumplan los criterios de calidad y confiabilidad de las válvulas.
- ✓ Falta de aseguramiento técnico y documentación para las reparaciones que se han ejecutado.
- ✓ La mayoría de las válvulas instaladas tienen más de 20 años de servicio.
- ✓ Falta de aseguramiento del control de cambios y reposiciones que se han realizado en las válvulas.

- ✓ En la zona existen problemas de atentados, seguridad física y logística que dificultan la ejecución de las actividades de mantenimiento

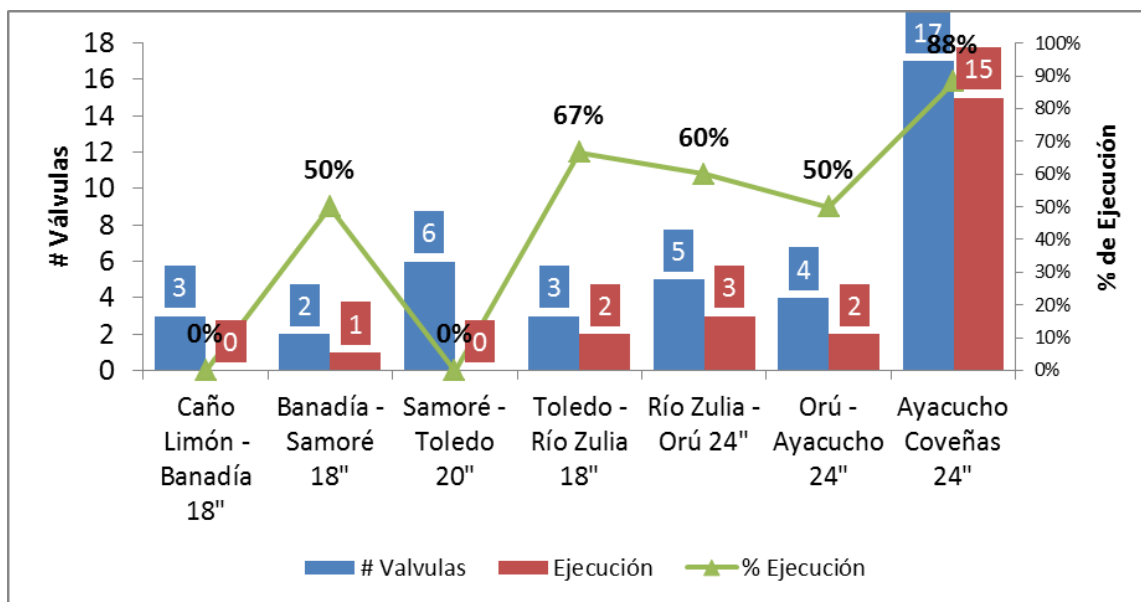
4.1.3. Cumplimiento de Órdenes de Trabajo. Actualmente se tiene un plan básico de mantenimiento para válvulas automatizadas del OCLC, se realizó el análisis de cumplimiento de la ejecución de las órdenes de trabajo para el año 2014. En la figura 22, se muestra el cumplimiento de para las válvulas automatizadas y en la figura 23 el cumplimiento para las válvulas manuales para el año 2014

Figura 22. Cumplimiento plan de mantenimiento Válvulas Automatizadas 2014



Se ha dado cumplimiento en la ejecución con corte a Noviembre del 95% incluyendo actividades de las especialidades mecánica, eléctrica de instrumentación y control, se finalizara lo planeado en noviembre y diciembre.

Figura 23. Cumplimiento al plan de mantenimiento Válvulas Manuales 2014



Se presentan atrasos en la ejecución de actividades de mantenimiento en las válvulas el sector de Caño Limón – Toledo debido principalmente a aspectos de Seguridad Física en la zona por lo cual las cuadrillas de mantenimiento no han podido llegar a las válvulas.

En el sector Toledo Orú debido al accidente de mina antipersonal ocurrido el 9 de julio de 2014 en la vereda La Pajulla, se suspendieron todas las actividades que se encuentran dentro del Derecho de Vía del OCLC y por ende no se puede acceder al sitio de las válvulas.

4.2. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

4.2.1. Obtención de Información. Las principales fuentes de información identificadas fueron el sistema de gestión de mantenimiento antiguo CMMIS “Elipse”, la ficha técnica del Oleoducto y los informes de mantenimiento ejecutados por contratistas.

Se realizó el levantamiento y la organización de la información.

4.2.1.1. Válvulas instaladas en el oleoducto caño limón Coveñas. El Oleoducto Caño Limón Coveñas cuenta con 87 válvulas a lo largo de todo el oleoducto partiendo de la estación de producción en Caño Limón (Arauca) y finalizando en la planta de Coveñas (Sucre, golfo de morrosquillo) pasando por los

municipios de Arauquita, Saravena, Cubará, Toledo, Chinácota, Duranía, Cúcuta, Sardinata, Tibú, El tarra, Teorama, El Carmen, La Gloria, Pailitas, Chimichagua, Guamal, San Sebastian, Santa Ana, Pinto, Magangué, Córdoba, San Pedro, Betulia, Corozal, Sincelejo y Coveñas. En la tabla 4, se relaciona el listado general de las válvulas en toda la longitud del oleoducto.

Tabla 4. Listado de válvulas Oleoducto Caño Limón - Coveñas

SISTEMA OPERACIONAL	TRAMO	ABSCISA	DESCRIPCIÓN VÁLVULA
Caño Limón - Coveñas	Caño Limón - Banadía 18"	000+000	Caño Limón Despacho Raspadores MOV 133
Caño Limón - Coveñas	Caño Limón - Banadía 18"	000+347	Caño Limón Después de la Malla
Caño Limón - Coveñas	Caño Limón - Banadía 18"	028+588	El Troncal
Caño Limón - Coveñas	Caño Limón - Banadía 18"	041+800	La Brasilia
Caño Limón - Coveñas	Caño Limón - Banadía 18"	056+611	La Esmeralda
Caño Limón - Coveñas	Caño Limón - Banadía 18"	078+460	Banadía Recibo MOV 101
Caño Limón - Coveñas	Caño Limón - Banadía 18"	078+495	Banadía Despacho MOV 110
Caño Limón - Coveñas	Caño Limón - Banadía 18"	078+552	Banadía Salida
Caño Limón - Coveñas	Caño Limón - Banadía 18"	085+795	El Consuelo
Caño Limón - Coveñas	Banadía - Samoré 18"	116+510	Rio Cobaria
Caño Limón - Coveñas	Banadía - Samoré 18"	117+861	La Pista
Caño Limón - Coveñas	Banadía - Samoré 18"	130+900	Troya
Caño Limón - Coveñas	Banadía - Samoré 18"	137+200	Samoré Recibo MOV 101
Caño Limón - Coveñas	Samoré - Toledo 20"	137+235	Samoré Despacho MOV 110
Caño Limón - Coveñas	Samoré - Toledo 20"	137+364	Salida Samoré - Patio de Tubería
Caño Limón - Coveñas	Samoré - Toledo 20"	147+610	Alto de Palmas
Caño Limón - Coveñas	Samoré - Toledo 20"	149+250	Lado sur Quebrada La Piazzola
Caño Limón - Coveñas	Samoré - Toledo 20"	149+909	Lado Norte Quebrada la Piazzola
Caño Limón - Coveñas	Samoré - Toledo 20"	149+918	Lado Norte Quebrada la Piazzola
Caño Limón - Coveñas	Samoré - Toledo 20"	172+102	El Limoncito
Caño Limón - Coveñas	Samoré - Toledo 20"	174+045	Támara
Caño Limón - Coveñas	Samoré - Toledo 20"	174+295	S. Bernardo de Zambrano
Caño Limón - Coveñas	Samoré - Toledo 20"	191+140	Toledo Recibo MOV 100
Caño Limón - Coveñas	Toledo - Río Zulia 18"	191+245	Toledo Despacho MOV 109

Tabla 4. (Continuación)

SISTEMA OPERACIONAL	TRAMO	ABSCISA	DESCRIPCIÓN VÁLVULA
Caño Limón - Coveñas	Toledo - Río Zulia 18"	200+583	San José del Pedregal
Caño Limón - Coveñas	Toledo - Río Zulia 18"	215+360	Iscalá sur
Caño Limón - Coveñas	Toledo - Río Zulia 18"	221+540	Iscala Norte
Caño Limón - Coveñas	Toledo - Río Zulia 18"	226+610	Puerto Colombia
Caño Limón - Coveñas	Toledo - Río Zulia 18"	234+850	El Caney
Caño Limón - Coveñas	Toledo - Río Zulia 18"	238+797	La Donjuana
Caño Limón - Coveñas	Toledo - Río Zulia 18"	239+453	La Donjuana
Caño Limón - Coveñas	Toledo - Río Zulia 18"	245+420	Llanadas / La Selva
Caño Limón - Coveñas	Toledo - Río Zulia 18"	255+185	La Palmita
Caño Limón - Coveñas	Toledo - Río Zulia 18"	259+709	Carmen de Tonchala
Caño Limón - Coveñas	Toledo - Río Zulia 18"	283+646	Oripaya antes de la estación
Caño Limón - Coveñas	Toledo - Río Zulia 18"	284+105	Oripaya Recibo HV 101
Caño Limón - Coveñas	Río Zulia - Orú 24"	283+979	Oripaya Despacho MOV 104
Caño Limón - Coveñas	Río Zulia - Orú 24"	304+236	Las Arroceras
Caño Limón - Coveñas	Río Zulia - Orú 24"	312+800	Monteverde
Caño Limón - Coveñas	Río Zulia - Orú 24"	313+980	Cerromono
Caño Limón - Coveñas	Río Zulia - Orú 24"	316+800	Monteverde / Cerromono
Caño Limón - Coveñas	Río Zulia - Orú 24"	328+511	La Llana
Caño Limón - Coveñas	Río Zulia - Orú 24"	333+117	Miraflores / La Paz
Caño Limón - Coveñas	Río Zulia - Orú 24"	340+000	Campo Giles
Caño Limón - Coveñas	Río Zulia - Orú 24"	343+983	Brisas del Nuevo Presidente
Caño Limón - Coveñas	Río Zulia - Orú 24"	349+100	La Selva
Caño Limón - Coveñas	Río Zulia - Orú 24"	349+171	Cerro Madera / La Selva
Caño Limón - Coveñas	Río Zulia - Orú 24"	363+020	Campo Seis / Río Tibú
Caño Limón - Coveñas	Río Zulia - Orú 24"	364+430	Campo seis / Río Tibú 1
Caño Limón - Coveñas	Río Zulia - Orú 24"	365+400	Campo seis / Río Tibú 2
Caño Limón - Coveñas	Río Zulia - Orú 24"	375+850	Orú Recibo MOV 106
Caño Limón - Coveñas	Orú - Ayacucho 24"	375+870	Orú Despacho MOV 103
Caño Limón - Coveñas	Orú - Ayacucho 24"	378+495	Tres Aguas 1
Caño Limón - Coveñas	Orú - Ayacucho 24"	380+040	Tres Aguas 2
Caño Limón - Coveñas	Orú - Ayacucho 24"	397+940	Los Balsos
Caño Limón - Coveñas	Orú - Ayacucho 24"	397+960	Los Balsos
Caño Limón - Coveñas	Orú - Ayacucho 24"	399+260	La Campana
Caño Limón - Coveñas	Orú - Ayacucho 24"	406+298	Vegas de San Carlos

Tabla 4. (Continuación)

SISTEMA OPERACIONAL	TRAMO	ABSCISA	DESCRIPCIÓN VÁLVULA
Caño Limón - Coveñas	Orú - Ayacucho 24"	406+500	El Paso
Caño Limón - Coveñas	Orú - Ayacucho 24"	409+500	Villanueva
Caño Limón - Coveñas	Orú - Ayacucho 24"	417+400	El Aserrío
Caño Limón - Coveñas	Orú - Ayacucho 24"	420+000	Guaduas / Los Cocos
Caño Limón - Coveñas	Orú - Ayacucho 24"	425+790	Llana Baja
Caño Limón - Coveñas	Orú - Ayacucho 24"	427+480	Llana Alta
Caño Limón - Coveñas	Orú - Ayacucho 24"	434+000	Carrizal
Caño Limón - Coveñas	Orú - Ayacucho 24"	436+897	Mesa Rica
Caño Limón - Coveñas	Orú - Ayacucho 24"	441+500	El Loro
Caño Limón - Coveñas	Orú - Ayacucho 24"	443+250	El Lorito
Caño Limón - Coveñas	Orú - Ayacucho 24"	445+500	Torre Chapinero
Caño Limón - Coveñas	Orú - Ayacucho 24"	458+750	Villanueva
Caño Limón - Coveñas	Ayacucho Coveñas 24"	472+258	Ayacucho Recibo MOV 112
Caño Limón - Coveñas	Ayacucho Coveñas 24"	518+570	Zapatoza (Pailitas)
Caño Limón - Coveñas	Ayacucho Coveñas 24"	539+380	Saloa (Chimichagua)
Caño Limón - Coveñas	Ayacucho Coveñas 24"	549+240	Placeres (Chimichagua)
Caño Limón - Coveñas	Ayacucho Coveñas 24"	571+250	Cuatro Esquinas
Caño Limón - Coveñas	Ayacucho Coveñas 24"	588+860	Aguada de Moreno
Caño Limón - Coveñas	Ayacucho Coveñas 24"	609+700	La Lucha (Pijiño)
Caño Limón - Coveñas	Ayacucho Coveñas 24"	629+040	El Reposo (Santa Ana)
Caño Limón - Coveñas	Ayacucho Coveñas 24"	649+300	La Lucha (Pijiño)
Caño Limón - Coveñas	Ayacucho Coveñas 24"	657+005	La Lucha (Pijiño)
Caño Limón - Coveñas	Ayacucho Coveñas 24"	660+245	La Lucha (Pijiño)
Caño Limón - Coveñas	Ayacucho Coveñas 24"	675+780	Santa Lucia (Córdoba)
Caño Limón - Coveñas	Ayacucho Coveñas 24"	682+710	No te pases (Buenavista)
Caño Limón - Coveñas	Ayacucho Coveñas 24"	692+700	San Pedro
Caño Limón - Coveñas	Ayacucho Coveñas 24"	711+000	Villa Rosiris
Caño Limón - Coveñas	Ayacucho Coveñas 24"	726+610	Las Tinis (Corozal)
Caño Limón - Coveñas	Ayacucho Coveñas 24"	738+615	Sierra Flor (Sincelejo)

De acuerdo al listado anterior, se clasificó la información de acuerdo al tipo y tamaño de las válvulas como se presenta en la figura 24 y figura 25.

Figura 24. Clasificación de acuerdo al tipo de válvulas

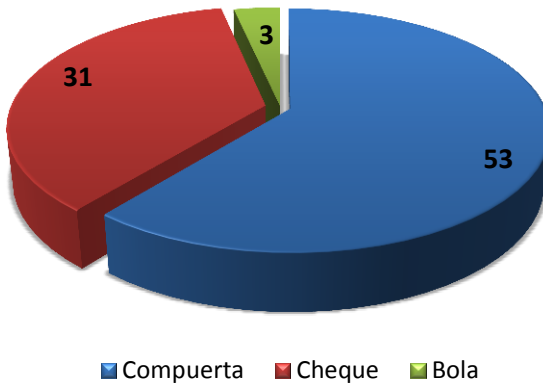
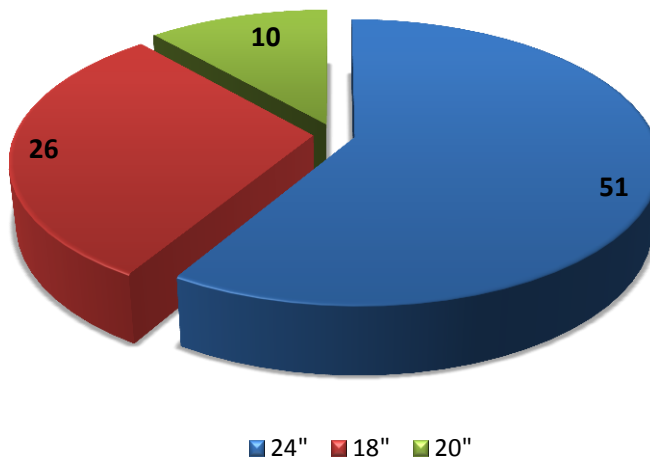


Figura 25. Clasificación de acuerdo al tamaño de las válvulas:



4.2.1.2. Válvulas de compuerta manuales. Son válvulas instaladas dentro de un foso de concreto reforzado, para acceder a ellas es necesario levantar la tapa por medio de un camión grúa o retroexcavadora, existen en diferentes diámetros: 18", 20" y 24", su operación es manual y se requiere de aproximadamente 2400 vueltas para cerrarlas completamente en un tiempo aproximado de 3 horas. Su función principal es seccionar un tramo de tubería cuando se va a realizar una intervención. Figura 26.

Figura 26. Disposición de Válvulas de compuerta manual OCLC



4.2.1.3. Válvulas con operación remota. Son válvulas instaladas dentro de un bunker de concreto reforzado, su instalación la conforman equipos y accesorios mecánicos, eléctricos, de instrumentación, control y comunicaciones. Su operación se hace desde cuartos de control ubicados en plantas de rebombeo que hacen parte del oleoducto y se puede hacer de forma remota, local y/o manual. Su función principal es hacer un cierre rápido en caso de un evento inesperado en el ducto que pueda ocasionar una pérdida considerable de producto y afectar a las comunidades y medioambiente aledaño a su ubicación. La función secundaria es seccionar un tramo de tubería cuando se va a realizar una intervención de mantenimiento al ducto. Figura 27.

Figura 27. Disposición de Válvulas con operación remota OCLC




4.2.1.4. Válvulas de retención (Tipo Cheques). Son válvulas instaladas dentro de un foso de concreto reforzado, para acceder a ellas es necesario levantar la tapa por medio de un camión grúa o retroexcavadora, existen en diferentes diámetros: 18”, 20” y 24”. Su función principal es permitir el paso del fluido en un solo sentido y hacer la contención del mismo cuando pueda existir un contraflujo de producto. Figura 28.

Figura 28. Disposición de Válvulas de Retención OCLC



4.2.1.5. Actualización de la Información. Con base a la información técnica recolectada inicialmente se programa una actualización y levantamiento técnico en sitio, para ésta actividad se definen sitios de fácil acceso y se programa con el departamento de operación y mantenimiento de la zona, registrando la información en los formatos de registro de novedad de activos como se muestra en la Figura 29. Registro de actualización de información técnica de una válvula.

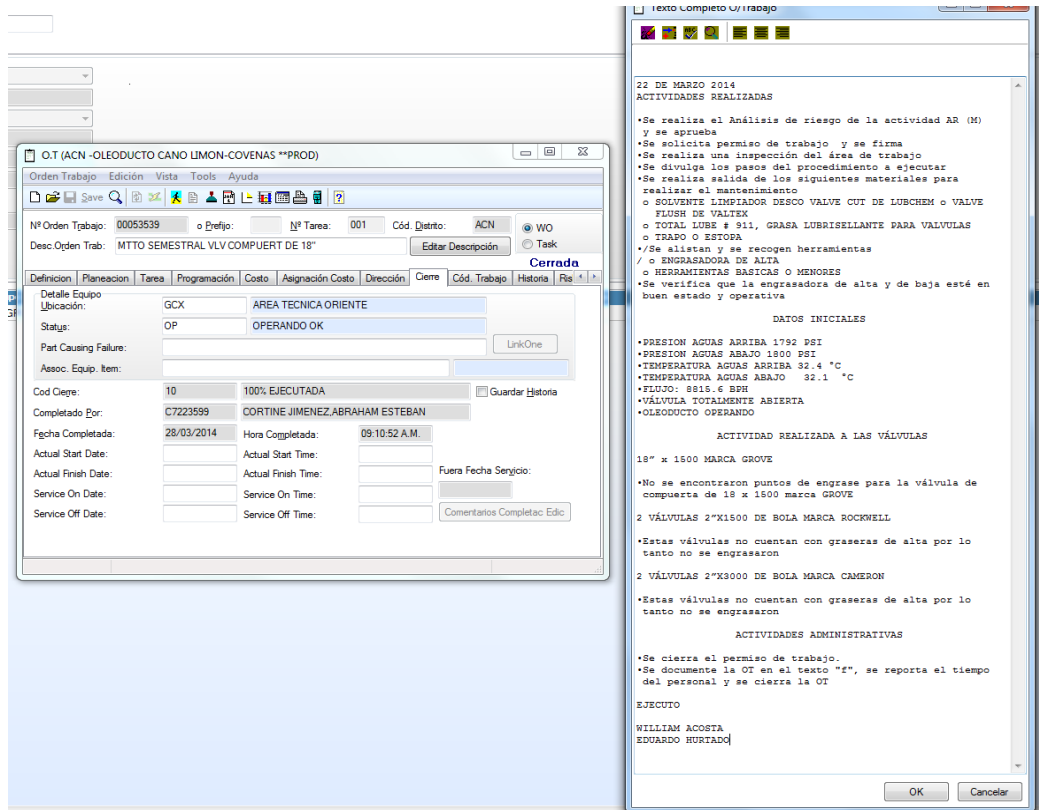
Figura 29. Formato de registro de actualización de equipos - Válvula

REGISTRO DE NOVEDAD DE ACTIVOS			
CONSERVACIÓN Y PROYECCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA GERENCIA TÉCNICA DE TRANSPORTE			
CODIGO	15/05/2014	Versión: 1	
MONTAJE <input type="radio"/>	REEMPLAZO / ACTUALIZACIÓN <input checked="" type="radio"/>	TRASLADO <input type="radio"/>	ELIMINACIÓN <input type="radio"/>
AVISO IMPORTANTE: NO MODIFIQUE NINGUNA ETIQUETA U OPCIÓN DE LISTA DE ESTE FORMATO.			
Departamento de O&M	PCL		
Estación/Planta	LINEA CAÑO LIMÓN - COVENAS 18		
Sistema Operacional	TH050		
Número de Equipo		No tiene	
Id de Componente		No tiene	
DESCRIPCIÓN 1			
DESCRIPCIÓN 2	V. COMPUERTA PV 18"X900 Unión WExWE		
Cargo Contable	MTR0293		
Cod. De Componente	MVCO		
Modificador de Comp.			
CLASE EQUIPO	VL	No. PARTE	
TIPO EQUIPO	Pendiente	ESPECIALIDAD	ME - ESP. MECANICA
FABRICANTE / MARCA	PV	FECHA DE INSTALACIÓN	
MODELO	PV	POPULAR 1 TAG	POR DEFINIR
NUMERO DE SERIE	ND	POPULAR 2 # INV.	
AÑO FABRICACION	ND		
DATOS TÉCNICOS ADICIONALES O COMPLEMENTARIOS DE PLACA			
Abscisa definitiva		Coordenadas	
Norma aplicable	API 6D	Material Cuerpo	WCB
Función operativa	CORTE	Tamaño nominal	18
Presión máxima de operación	ND	Clase (ANSI)	900
T° máxima de servicio	ND	T° mínima de servicio	ND
Tipo de servicio fluido/gas	LIQUIDO	Composición media del fluido	Crudo
Apertura circular completa?	NA	Tipo de válvula	Compuerta
Diámetro mínimo		Tipo de diseño de la válvula	
Cantidad/Dimensión Pernos Vastago	12 cabeza Allen	Extremos	WE X WE
Cantidad/Clase Tuercas Bonete	8/ -	Dimension Tuercas Bonete	ND
Bola	ND	Asiento	ND
Vastago	ND	Sello	ND

Fuente: Gerencia Técnica de Activos – Ecopetrol

4.2.1.6. Información de Mantenimiento. Se recopilaron los registros de mantenimiento que se llevan en formatos propios del contratista que ejecuta la actividad en válvulas manuales y otros en el CMMIS Ellipse: válvulas de seccionamiento automático. En la figura 30, se muestra, un registro de una orden de trabajo en el CMMIS (Ellipse).

Figura 30. Registro en el CMMIS (Ellipse). Orden de Trabajo

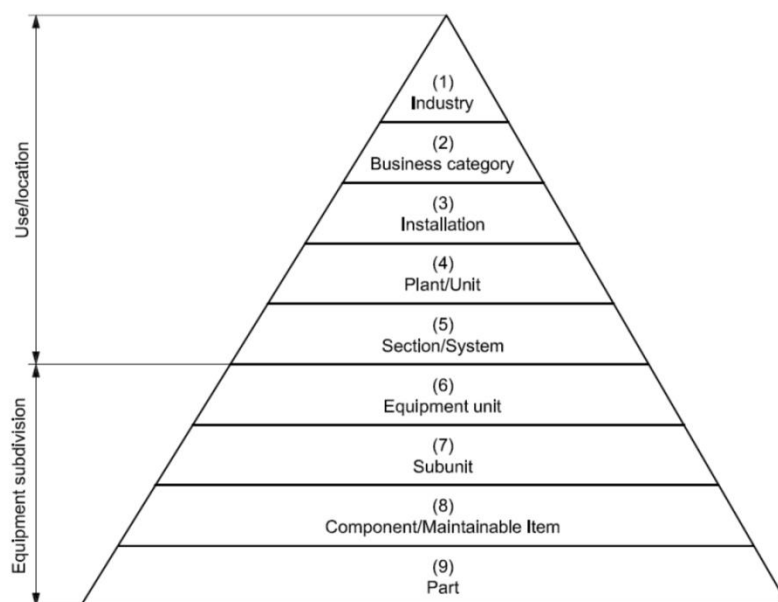


Fuente: CMMIS(Ellipse) Ecopetrol.

4.2.2. Organización de la Información. Para el proceso de organización de la información el negocio de transporte opta por realizar un cambio al sistema de gestión de mantenimiento Ellipse por SAP PM.

Les estructura Taxonomía de equipos se define de acuerdo a la norma ISO 14224. En la figura 31, se muestra la pirámide estructural de acuerdo a la norma.

Figura 31. Taxonomía de Equipos



Fuente: Norma ISO 14224

La clasificación de niveles se realizó en parte como lo muestra la tabla 5 hasta llegar a un nivel 7 de ubicación donde se describe las válvulas asociadas a los ductos de transporte.

Tabla 5. Clasificación de Niveles Proceso de Mantenimiento

COD 1. INDUSTRIA	
O	Petróleo
G	Gas Natural
C	Carbón
E	Energía
P	Petroquímica
COD 2. CATEGORIA NEGOCIO	
E&P	Upstream
MDL	Midstream
DWN	Downstream
PTC	Petrochemicals
G&E	Generación & Energía
COD 3. INSTALACION	
3000	Campos de Producción
3010	Facilidad de Refinación y Petroquímica
3020	Facilidad Offshore oil/gas
Tabla 5. (Continuación)	

3030	Perforación
3040	Sistema de Transporte
COD	4.PLANTA/UNIDAD
4030	Planta / Estación De Bombeo
4040	Planta / Estación De Crudo
4080	Planta / Estación De Rebombeo
4090	Planta / Estación De Recibo
4190	Unidad Hidrotratamiento
COD	5.SECCION/SISTEMA
5000	Sistema De Almacenamiento
5010	Sistema De Bombeo (Despacho)
5040	Sistema De Compresión
5050	Sistema De Distribución
5060	Sistema De Generación
5070	Sistema De Infraestructura De Planta/Ducto
5110	Tramo De Transporte
COD	6.SUBSISTEMA
6010	Agua Industrial
6020	Aire Industrial
6060	Energía Eléctrica
6070	Gas
6080	Hidrocarburos
6090	Solidos
6100	Vapor
COD	7.UBICACIÓN TECNICA
7010	Und Bombeo
7020	Und Bloqueo / Seccionamiento De Tubería De Transporte
7120	Und Cruces Tubería De Transporte
7230	Und Monitoreo Corrosión Interior
7290	Und Protección Catódica
7300	Und Recipiente De Almacenamiento
7310	Und Recipiente De Proceso
7340	Und Sistema Alimentador Eléctrico (Red)
7390	Und Subestación Eléctrica
7410	Segmento Tubería De Proceso
7420	Segmento Tubería De Transporte

Fuente: Gerencia Técnica de Activos Ecopetrol

En la figura 32. Se muestra la estructura final en SAP-PM para las válvulas del Oleoducto Caño Limón – Coveñas.

Figura 32. Clasificación SAP. Jerarquía de Equipos en SAP PM Válvulas OCLC.

TR0	Sistema Transporte
TR0-C060	Corredor Caño Limón - Banadia
TR0-C060-LITR	Tramo Transp Caño Limón - Banadia 18
TR0-C060-LITR-D065	Ruta Transp Caño Limón - Banadia 18
TR0-C060-LITR-D065-SEGM_SGP-01	Und Sgnto Ppal Caño Limón-Ban 18_SGP-01
TR0-C060-LITR-D065-USEC_BLQ-01	Und Bloq Valv Caño Limón Mov 133 _BLQ-01
TR0-C060-LITR-D065-USEC_BLQ-02	Und Bloq Valv Caño Limón Desp _BLQ-02
TR0-C060-LITR-D065-USEC_BLQ-03	Und Bloq Valv El Trocal _BLQ-03
TR0-C060-LITR-D065-USEC_BLQ-04	Und Bloq Valv La Brasilia _BLQ-04
TR0-C060-LITR-D065-USEC_BLQ-05	Und Bloq Valv La Esmeralda _BLQ-05
TR0-C060-SCYS	Sist Ctrl y Sup Caño Limón - Banadia 18
TR0-C060-STAM	Sist T Amb Caño Limón - Banadia 18
TR0-C060-INFR	Sist Infr Caño Limón - Banadia 18
TR0-C065	Corredor Banadia - Samore
TR0-C065-LITR	Tramo Transp Banadia - Samore 18
TR0-C065-LITR-D070	Ruta Transp Banadia - Samore 18
TR0-C065-LITR-D070-SEGM_SGP-01	Und Sgnto Ppal Banadia-Samore 18_SGP-01
TR0-C065-LITR-D070-USEC_BLQ-01	Und Bloq Valv Ban Tm Desp Rasp_BLQ-01
TR0-C065-LITR-D070-USEC_BLQ-02	Und Bloq Valv Salida Est Banadia_BLQ-02
TR0-C065-LITR-D070-USEC_BLQ-03	Und Bloq Valv El Consuelo _BLQ-03
TR0-C065-LITR-D070-USEC_BLQ-04	Und Bloq Valv Rio Cobaria _BLQ-04
TR0-C065-LITR-D070-USEC_BLQ-05	Und Bloq Valv La Pista _BLQ-05
TR0-C065-LITR-D070-USEC_BLQ-06	Und Bloq Valv Troya _BLQ-06
TR0-C065-LITR-D070-USEC_BLQ-07	Und Bloq Valv Sam Tramp Rcbo _BLQ-07

Fuente: SAP Ecopetrol

4.3. ANÁLISIS, ESTADO Y DIAGNÓSTICO

4.3.1. Análisis de Costos

4.3.1.1. Cálculo de Lucro Cesante. Un lucro cesante, hace referencia a las pérdidas generadas por un paro de bombeo. Se realiza el cálculo para dos escenarios: primero cuando exista un paro de bombeo por falla en cualquier válvula con un tiempo de 24 horas y el segundo escenario cuando sea necesario realizar un drenaje del producto de la tubería por indisponibilidad de una válvula.

En el OLCL, existen 3 tramos, las tarifas de transporte son consultadas directamente en la página de CENIT que es la filial de transporte de Ecopetrol. Los datos se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Tarifas de Transporte Cenit 2014-2015

Sistema	Resolución Aprobatoria	Tarifa Julio 1 2013 a Junio 30 de 2014	Tarifa Julio 1 2014 a Junio 30 de 2015	Factor Φ 2014-2015
CAÑO LIMÓN – BANADÍA OCC	124563/2011	1,5364	1,513	0,9847
BANADÍA – AYACUCHO OCC	124559/2011	1,1571	1,1382	0,9836
AYACUCHO – COVEÑAS OCC	124557/2011	0,6933	0,6854	0,9886

Fuente: <https://www.cenit-transporte.com/tarifas-vigentes/>

Para el cálculo del lucro cesante, se toma el volumen transportado en promedio por cada tramo de acuerdo a los datos del oleoducto y se multiplica por el valor del barril transportado. Los resultados se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Cálculo de Lucro Cesante OCLC

Sistema	Volumen Promedio / Día 2015 BPD	Tarifa Julio 1 2014 a Junio 30 de 2015 \$USD/Barril	\$USD/DÍA	\$COP/DÍA
CAÑO LIMÓN – BANADÍA OCC	55689	1,513	\$ 84.257	\$ 202.217.897
BANADÍA – AYACUCHO OCC	165689	1,1382	\$188.587	\$ 452.609.328
AYACUCHO – COVEÑAS OCC	208041	0,6854	\$142.591	\$ 342.219.123

4.3.1.2. Costos por drenajes. En caso de requerir drenar la línea en cualquier segmento, se realizó un análisis de costos para diferentes longitudes y los diámetros del ducto, con un costo promedio de \$2.800 por galón drenado, los resultados se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Costos promedio por drenaje

DIAMETRO NOMINAL	LONGITUD EN METROS / COSTO PROMEDIO (COP)				
	200 m	400 m	600 m	800 m	1000 m
18"	\$ 24,778,230	\$ 49,556,460	\$ 74,334,690	\$ 99,112,919	\$ 123,891,149
20"	\$ 30,589,082	\$ 61,178,165	\$ 91,767,247	\$ 122,356,330	\$ 152,945,412
24"	\$ 44,088,350	\$ 88,176,700	\$ 132,265,050	\$ 176,353,399	\$ 220,441,749

Fuente: Los Autores

4.3.1.3. Costos de Mantenimiento Rutinario. A continuación se relacionan los costos de los últimos tres años de mantenimiento para las 7 válvulas automatizadas instaladas en el oleoducto, se realiza un análisis por válvula, por especialidad y por componente de equipo. Las tablas 9, 10 y 11 hacen referencia a los costos de mantenimiento preventivo.

Tabla 9. Costos Mantenimiento Rutinario por válvula automatizada

BUNKER	2012	2013	2014	Total general
BUNKER ISC NORTE	\$ 7.770.408	\$ 16.272.106	\$ 67.196.012	\$ 91.238.526
BUNKER ISC SUR	\$ 10.481.944	\$ 27.961.669	\$ 13.380.271	\$ 51.823.884
BUNKER PTO COL	\$ 7.988.839	\$ 28.315.582	\$ 12.363.461	\$ 48.667.882
BUNKER EL CANEY	\$ 2.956.892	\$ 10.003.709	\$ 7.523.683	\$ 20.484.284
BUNKER LA PALMITA	\$ 3.035.760	\$ 9.637.099	\$ 4.639.312	\$ 17.312.171
BUNKER LA DONJUANA	\$ 6.252.528	\$ 8.949.544	\$ 1.943.716	\$ 17.145.788
BUNKER CARMEN DE TONCHALA	\$ 2.430.030	\$ 7.196.397	\$ 867.840	\$ 10.494.267
Total general	\$ 40.916.401	\$ 108.336.106	\$ 107.914.295	\$ 257.166.802

Tabla 10. Costos Mantenimiento Rutinario por Especialidad.

ESPECIALIDAD	2012	2013	2014	Total general
ELECTRICIDAD	\$ 23.218.136	\$ 46.860.998	\$ 25.150.356	\$ 95.229.490
SERVICIO ESPECIAL	\$ -	\$ 19.508.210	\$ 56.077.810	\$ 75.586.020
INSTRUMENTACION	\$ 11.393.794	\$ 20.733.794	\$ 13.710.891	\$ 45.838.479
MECANICA	\$ 6.304.471	\$ 21.233.104	\$ 12.975.238	\$ 40.512.813
Total general	\$ 40.916.401	\$ 108.336.106	\$ 107.914.295	\$ 257.166.802

Tabla 11. Costos Mantenimiento Rutinario por Equipo.

EQUIPO	2012	2013	2014	Total general
ADECUACIONES EXTERNAS	\$ -	\$ 19.508.210	\$ 56.077.810	\$ 75.586.020
BANCOS DE BATERIAS	\$ 9.202.310	\$ 18.829.346	\$ 11.287.600	\$ 39.319.256
TRANSFORMADOR	\$ 4.388.794	\$ 11.892.216	\$ 7.074.868	\$ 23.355.878
VALVULA DE SECCIONAMIENTO	\$ 1.555.303	\$ 12.757.940	\$ 8.381.900	\$ 22.695.143
UPS	\$ 4.247.220	\$ 8.211.292	\$ 3.956.408	\$ 16.414.920
INSTRUMENTOS	\$ 3.168.282	\$ 11.698.272	\$ 852.999	\$ 15.719.553
ACTUADOR-EH	\$ 3.964.072	\$ 6.512.404	\$ 2.234.528	\$ 12.711.004
TABLERO DISTRIBUCIÓN	\$ 3.822.498	\$ 6.229.256	\$ 2.548.332	\$ 12.600.086
RTU	\$ 3.411.996	\$ 3.655.710	\$ 5.101.893	\$ 12.169.599
SIRENAS	\$ 4.813.516	\$ 5.379.812		\$ 10.193.328
SIST. DETECCIÓN			\$ 7.755.999	\$ 7.755.999
UPH	\$ 785.096	\$ 1.962.760	\$ 2.358.810	\$ 5.106.666
ALUMBRADO	\$ 1.557.314	\$ 1.698.888	\$ 283.148	\$ 3.539.350
Total general	\$ 40.916.401	\$ 108.336.106	\$ 107.914.295	\$ 257.166.802

En las figura 33, 34 y 35 se encuentra la comparación por válvula, especialidad y equipo.

Figura 33. Costos Mantenimiento Rutinario por Válvula Automatizada

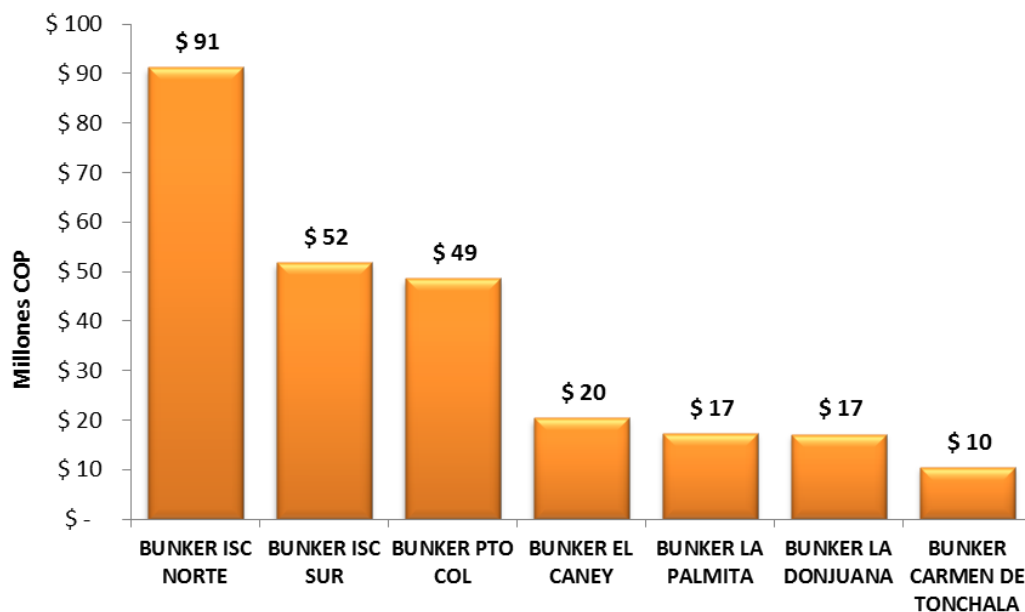
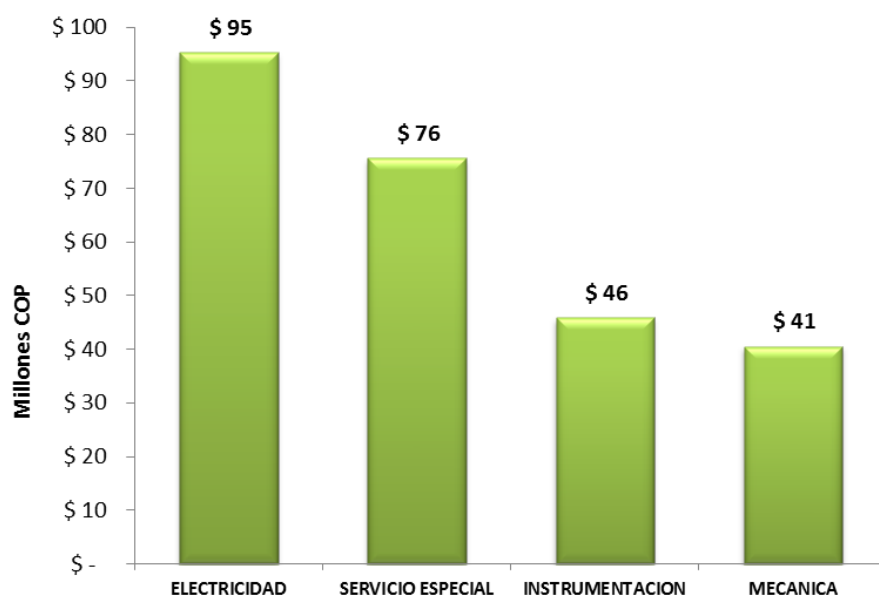
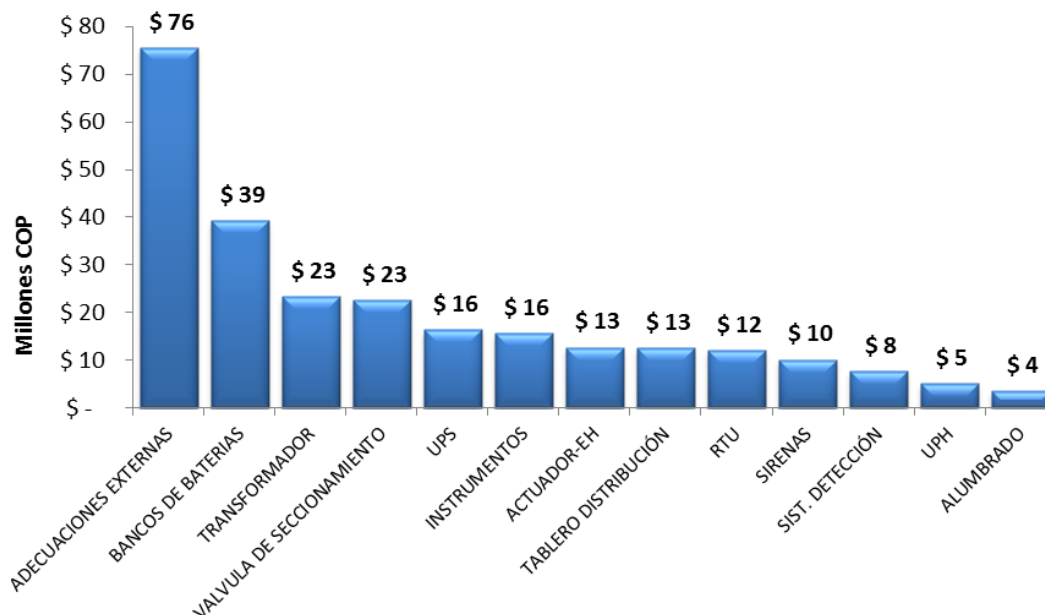


Figura 34. Costos Mantenimiento Rutinario por Especialidad



Fuente: Los Autores

Figura 35. Costos Mantenimiento Rutinario por Equipo



Se puede observar que la especialidad eléctrica, las adecuaciones externas y los bancos de baterías son quienes presentaron los más altos costos de mantenimiento, y la válvula que más ha consumido recursos es la denominada Bunker ISC Norte.

Las válvulas manuales tienen un plan general de mantenimiento rutinario con un costo promedio asociado por cada válvula, para lo cual tomamos y multiplicamos por el número total de válvulas manuales y se obtiene el valor total del costo del mantenimiento rutinario en válvulas manuales como se muestra en la tabla 12.

Tabla 12. Costos Mantenimiento Rutinario Válvulas Manuales

CANTIDAD	VALOR PROMEDIO COP\$	VALOR TOTAL AÑO COP\$
39	\$ 13.625.320	531.387.480

Fuente: Los Autores

Actualmente para las válvulas de retención o válvulas tipo cheque no tienen programado mantenimiento rutinario.

Para el cálculo del costo total de mantenimiento rutinario, sumamos el costo promedio de mantenimiento rutinario de las válvulas automatizadas y el costo promedio de las válvulas manuales. Tabla 13.

Tabla 13. Costos Total Mantenimiento Rutinario

ITEM	VALOR (COP)
Costo Promedio Mantenimiento Rutinario Válvulas Automatizadas	\$ 108,125,201
Costo Promedio Mantenimiento Rutinario Válvulas Manuales	\$ 531,387,480
Costo Total Mantenimiento Rutinario	\$ 639,512,681

4.3.1.4. Costos de Mantenimiento Correctivo. En caso de un mantenimiento correctivo los recursos y costos promedios asociados fueron calculados a partir de la cantidad de recursos empleados para cada orden de trabajo como se muestra en la tabla 14. El tiempo para el personal y las máquinas y herramientas se expresan en días, y los materiales e insumos en canecas (CN), kilogramos (Kg), galones (Gl), metros (m) y unidades (Un), según corresponda.

Tabla 14. Recursos asociados a Mantenimiento Correctivo

CARGOS	CANTIDAD	TIEMPO (Días)
PROFESIONAL JUNIOR	1	2
TECNICO MECÁNICO	2	2
AYUDANTE DE MECÁNICA	3	3
TECNICO ELECTRICO	1	3
OBRERO	3	3
AUXILIAR DE ENFERMERIA	1	3
TECNICO HSE	1	3
MAQUINARIA Y EQUIPOS	CANTIDAD	TIEMPO (Días)
Vehículo 4X4 con conductor	2	2
Buseta 25 pasajeros, con conductor	1	2
Camión grúa 10 Tn con operador	1	4
Herramienta Tipo I	1	2

Tabla 14. (Continuación)

MATERIALES E INSUMOS	UNIDAD	CANTIDAD
Grasa Lubricante	CN	1
Desengrasante	Gl	5
Trapo	Kg	10
Lijas	Un	5
Manilas	m	20
Plastico	m	20

Fuente: Departamento de Operaciones y Mantenimiento OCLC

Se analizaron dos eventos generados en el 2014 y se tomó el costo promedio de estos. Tabla 15

Tabla 15. Costos Mantenimiento Correctivo

ITEM	VALOR (COP)
Evento 1	\$ 88,281,405
Evento 2	\$ 90,393,317
Costo Promedio	\$ 89,337,361

La relación actual entre el mantenimiento rutinario y el mantenimiento correctivo es aproximadamente del 75%

4.3.1.5. Análisis de costos por falla. Con la información anterior, se realiza el análisis para un evento donde se presente una falla de una válvula que origine un paro de bombeo por 24 horas y se tenga que drenar un tramo de 1000 m. Tabla 16.

Tabla 16. Costos asociados a una falla de una válvula

DIAMETRO NOMINAL	LUCRO CESANTE 24 HORAS PARO DE BOMBEO	COSTO PROMEDIO DRENAJE 1000 M	COSTO PROMEDIO MANTENIMIENTO CORRECTIVO	COSTO TOTAL	COSTO PROMEDIO MANTENIMIENTO PREVENTIVO	RELACIÓN COSTOS PREVENTIVO Vs. COSTO FALLA
CAÑO LIMÓN – BANADÍA OCC	\$ 202,217,897	\$ 165,759,437	\$ 89,337,361	\$ 457,314,695	\$ 13,902,450	3%
BANADÍA – AYACUCHO OCC	\$ 452,609,328	\$ 165,759,437	\$ 89,337,361	\$ 707,706,126	\$ 13,902,450	2%
AYACUCHO – COVEÑAS OCC	\$ 342,219,123	\$ 165,759,437	\$ 89,337,361	\$ 597,315,921	\$ 13,902,450	2%

El tramo de mayor impacto es el Banadía – Ayacucho dado que el programa promedio de bombeo es más alto. Esta información es utilizada más adelante para un análisis de inventarios y la relación beneficio - costo

En la tabla 16 también se muestra que el costo promedio de mantenimiento preventivo por válvula es máximo de 3% frente al costo total del mantenimiento correctivo por una falla en cualquier válvula.

4.3.2. Análisis de Riesgos. De acuerdo a la metodología actual de valoración de riesgos descrita en el numeral 3.4, los resultados de valoración de riesgos para la amenaza de equipos del OCLC, en la tabla 17 se muestran los resultados de la valoración de Diciembre 2014.

Tabla 17. Resultados de riesgo OCLC Diciembre 2014

	Sector Caño Limón-Ayacucho	Sector Ayacucho - Coveñas
Nivel de Riesgo	Falla de Equipos	Falla de Equipos
Bajo (Km)	0	0
Medio (Km)	462.31	301.65
Alto (Km)	6.95	0
Muy Alto (Km)	0	0
Total (Km)	469.25	301.65

Fuente: Gerencia Técnica de Activos Ecopetrol

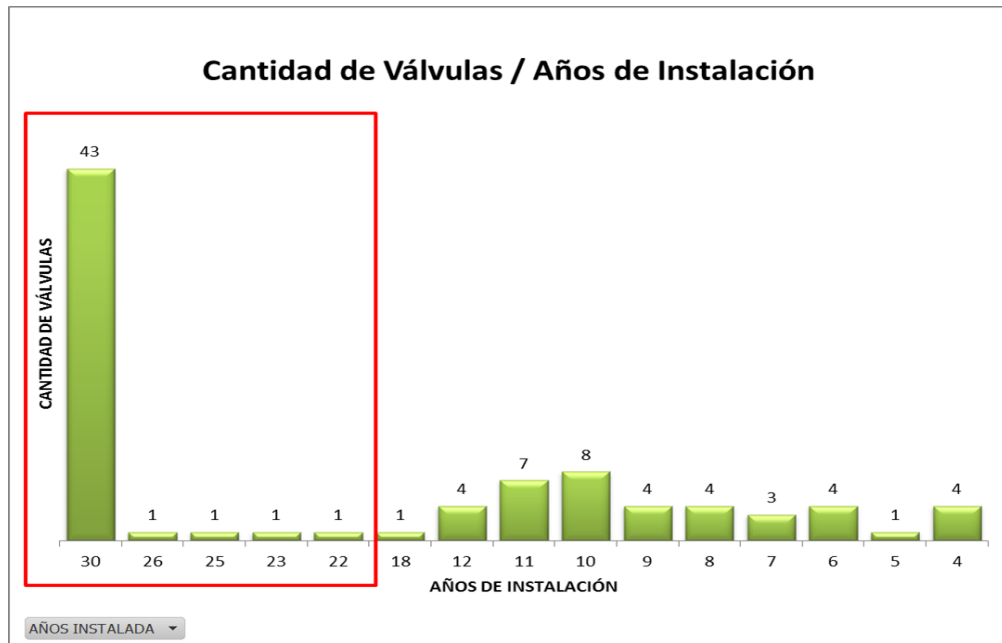
De acuerdo al resultado de la valoración de riesgos, se presenta 6.95 Km en riesgo nivel H asociado a problemas con las válvulas La Don Juana y Carmen de Tonchalá las cuales presentan fuga por el vástago y fuga por el Bonete,

Estas válvulas son automatizadas y su funcionalidad va asociada a la mitigación de consecuencias dado a que pueden ser operadas remotamente, en caso que se presente un evento o falla que ocasione un derrame en el ducto, las consecuencias pueden ser de grandes magnitudes.

Las válvulas son un elemento clave en la mitigación de consecuencias para las demás amenazas y son tenidas en cuenta dentro de un cálculo de volúmenes a derramar de acuerdo a su ubicación, perfil topográfico, funcionalidad y disponibilidad actual.

4.3.3. Análisis de condición. De acuerdo a la información recolectada, se realiza una clasificación por tiempo de servicio de las válvulas del OCLC como se muestra en la figura 36.

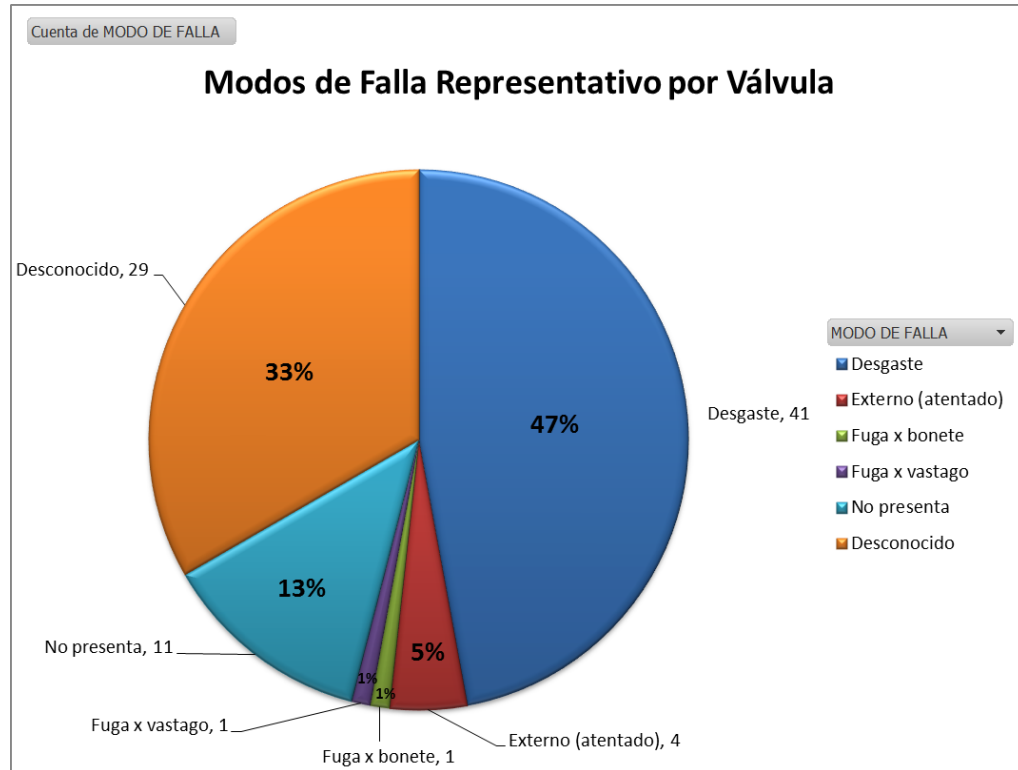
Figura 36. Años de servicio de válvulas del OCLC



En la figura anterior, se evidencia que el 54% (47 Válvulas) de las válvulas instaladas en el Oleoducto tienen más de 20 años de servicio, esto conlleva a plantear una estrategia a mediano plazo para comenzar un esquema de reposición por el posible incremento en la probabilidad de falla debido a la edad de las mismas.

En la figura 37, se presenta la clasificación de los modos de falla más representativos por cada válvula instalada en el oleoducto.

Figura 37. Modos de falla válvulas del OCLC



Los principales modos de falla encontrados es el desgaste el cual se ha presentado en 41 válvulas lo que actualmente representa el 47%, en 29 válvulas se desconoce su modo de fallo dado a falta de información (33%), 11 válvulas no han presentado fallo y 4 han sufrido atentados y 2 válvulas han presentado fugas por el vástago y el bonete.

Las válvulas: la pista, el limoncito, el paso y el aserrío son las válvulas que han sufrido atentados y se han retirado del ducto en los últimos 3 años, dado que no se tiene stock de válvulas, la remediación inmediata del sistema se hace instalando un carrete de las mismas características del ducto mientras se comienza un proceso de contratación para diagnosticar y reponer o desincorporar éstas válvulas de acuerdo a un diagnóstico de condición. Lo anterior, me puede representar altos costos de mantenimiento en situaciones donde se tengan que drenar el ducto.

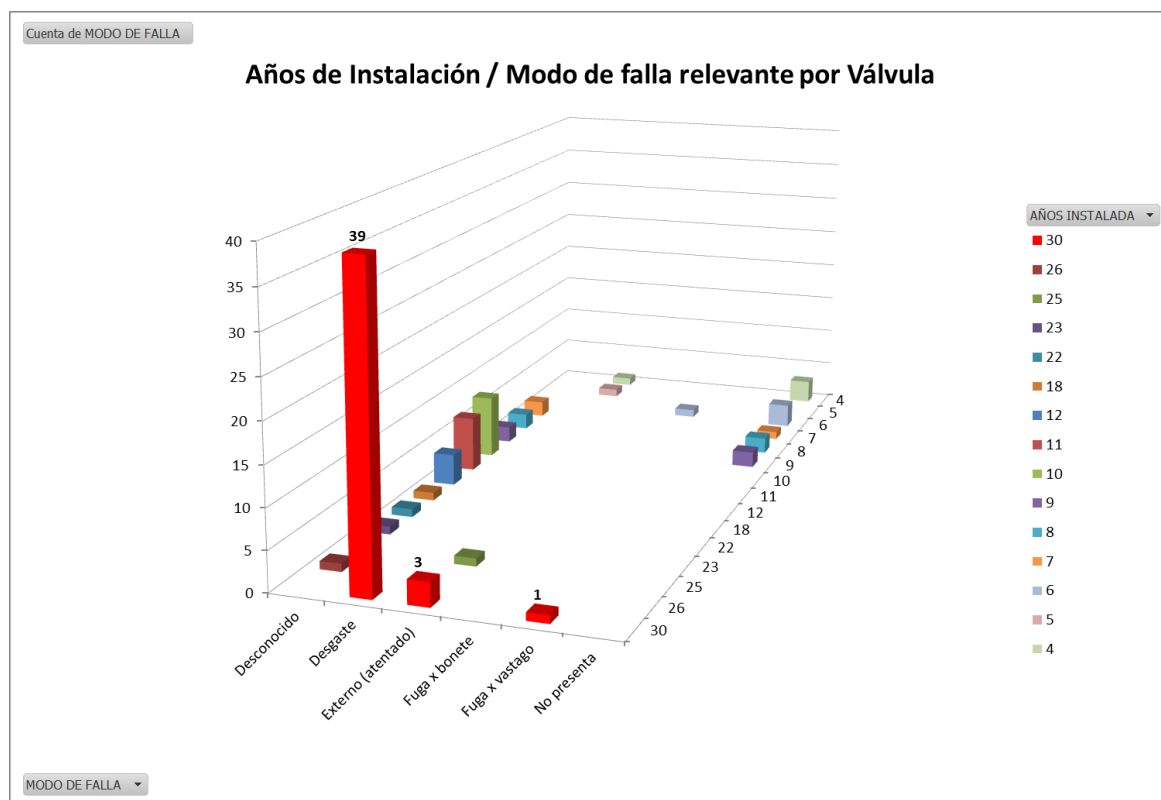
La válvula La Don Juana presenta una condición de fuga por el vástago y la válvula del Carmen de Tonchalá presenta una condición de fuga por el Bonete, éstas válvulas son de automatizadas y su funcionalidad va asociada a la mitigación de consecuencias dado a operación remota, adicionalmente son válvulas muy antiguas y su esquema de reparación actualmente no es lo más

adecuado, por lo tanto se requiere establecer un plan de reposición a corto plazo el cual está planteado dentro de este documento.

Para las válvulas tipo cheque, la mayoría presenta una condición de estado desconocida por tener una estrategia a falla, para estas se realiza un análisis inventario y llegar a determinar el stock mínimo que permita minimizar los tiempos de atención.

Además se realiza la integración de los modos de falla representativos de las válvulas con el año de instalación como se ve en la figura 38.

Figura 38. Relación de modos de falla y año de instalación válvulas del OCLC



Al relacionar el año de instalación y el modo de falla, se evidencia que principalmente, la condición de desgaste se presenta en válvulas de 30 años de servicio, para lo cual se debe profundizar en el diagnóstico y desarrollar un plan de mediano y largo plazo dado que la probabilidad de falla incrementa con la edad y la incertidumbre.

4.4. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

Después de realizar el análisis de la condición actual del plan de mantenimiento y de toda la información recolectada, planteamos algunas alternativas y recomendaciones para el plan de gestión de mantenimiento de las válvulas de OCLC, algunas de las cuales ya se empezaron a implementar y otras serán propuestas para mejorar todo el ciclo de gestión de mantenimiento.




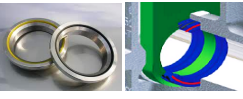
Dentro de las alternativas planteadas están:

- ✓ Realizar el análisis de causas y modos de falla.
- ✓ Realizar el análisis de inventarios y determinar un stock mínimo
- ✓ Generar plan de mantenimiento rutinario, predictivo y correctivo
- ✓ Implementar en la herramienta SAP-PM el plan de mantenimiento para las válvulas del OCLC
- ✓ Mantenimiento Predictivo: Inspección por termografía y análisis de aceite

4.4.1. Causas y Modos de falla para las válvulas del OCLC. Establecer el plan de mantenimiento con base a un análisis de causas y modos de falla es una de las estrategias planteadas, dado que en la condición actual se evidenció que el programa de mantenimiento se realiza de acuerdo a la experiencia del personal técnico.

Aplicando la metodología propia de la Gerencia Técnica basados en un proceso FMECA, se identificaron las causas y modos de falla para las válvulas del OCLC como se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18. Tabla de Causas y Modos de Falla – Válvulas OCLC

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA PARA VALVULAS APTAS PARA DUCTOS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS LÍQUIDOS						
PARTES DE LA VALVULA	IMAGEN	FUNCIONES	FALLAS FUNCIONALES	MODOS DE FALLA	CAUSAS	TAREAS RECOMENDADAS
Obturador o elemento de cierre		En posición abierta, permitir el paso de fluido y herramientas de inspección y limpieza en una tubería de transporte de hidrocarburos. En posición cerrada no permite el paso de fluido.	No abre / cierra al 100%	Obstrucciones en el obtu	Presencia de sedimentos	Drenaje periódico del cuerpo para eliminar partículas extrañas
			En posición cerrada permite el paso de fluido	Fuga interna	Rayaduras en la superficies del obturador o deformación en los alojamientos del asiento	Pruebas de estanqueidad con análisis de falla
			En posición abierta no permite el paso de herramientas de inspección y limpieza.	Herramientas de inspección y limpieza se atascan	Agarrotamiento de partes	Pruebas de apertura y cierre parciales o totales
Actuador		Realiza el accionamiento para que el obturador se desplace: 1/4 de vuelta (válvula de bola) ó múltiples vueltas (válvula de compuerta)	No acciona al obturador / se acciona cuando no se requiere	No hay desplazamiento cuando se acciona o desplazamiento parcial	Partes internas dañadas por falta de lubricación	Inspecciones y lubricación
					Pérdida de fluido hidráulico del actuador	Inspecciones de mangueras, tubing y sus conexiones
					Falta de energía eléctrica	Inspecciones y mantenimiento al sistema eléctrico (Red, Transformador, Cableado, Tableros)
					Falla de comunicaciones	Pruebas de comunicación y mandos remotos
					Mal selección del actuador por diseño	Verificación de las características del actuador de acuerdo a datos de diseño operativos
Partes sometidas a presión: bonete, prensa estopa, vástago, empaques y tornillos		Contener fluido soportando un rango de presión entre 0 y 2220 psi y un rango de temperatura de -29 y 38 °C.	No contiene el fluido a la presión y temperatura de diseño	Fugas	Falsa señal	Verificar lecturas en parámetros de instrumentos con lecturas remotas
					Defectos en el proceso de fabricación	Inspección visual
					Mala manipulación antes o durante el montaje	Ensayos no destructivos
					Sometimiento a fuerzas externas por mal montaje	Inspección visual
					Torque mal aplicado o mal procedimiento de soldadura	Reensamble del sistema
					Mal ensamble prensaestopa	Verificación de aplicación de procedimiento según norma y retorqueo de ser necesario
					Desgaste del material de sello del prensaestopa	Verificación del ensamble
					Desgaste en el vástago	Cambio del material de sello del prensaestopa
					Empaques defectuosos o desgastados	Verificación de defectos en el vástago por fuga
					Falla en la instrumentación	Rectificación del vástago
					Condiciones de operación por fuera de rangos establecidos	Inspección de empaques por fugas
						Cambio de empaques
						Calibración
Asientos		Realiza el sello interno para dar estanqueidad a la válvula y al ducto estando el obturador en posición abierta o cerrada.	Falla por estanqueidad	Pase de producto		Verificación de condiciones de operación actuales e históricas
					Deterioro del asiento por partículas en suspensión	Ultrasonido para determinar pase interno
					Mal selección en los materiales de los asientos	Verificar la recomendación del fabricante para la aplicación en el tipo específico de válvula
					Restricción en el movimiento del asiento por acumulación de partículas en el alojamiento del asiento	De acuerdo al punto anterior aplicación de grasa sellante
					Deformación del alojamiento por defectos en el montaje	Reemplazo de insertos o del asiento completo si es necesario
	Verificación de características de diseño					
	Limpieza interna mediante inyección de limpiador para desplazamiento de partículas					
	Análisis de causas mediante pruebas iniciales con ultrasonido					

4.4.2. Análisis de Inventarios. Este análisis se realizó en una herramienta de la gerencia técnica de transporte la cual tiene en cuenta factores de:

- ✓ Tiempos de entrega por proveedores
- ✓ Pronóstico de Consumo
- ✓ Criticidad de componentes
- ✓ Ecuación de pérdida y otros costos asociados a no tener el componente
- ✓ Nivel de Riesgo
- ✓ Probabilidad de falla
- ✓ Costos de tareas correctivas en caso de no tener

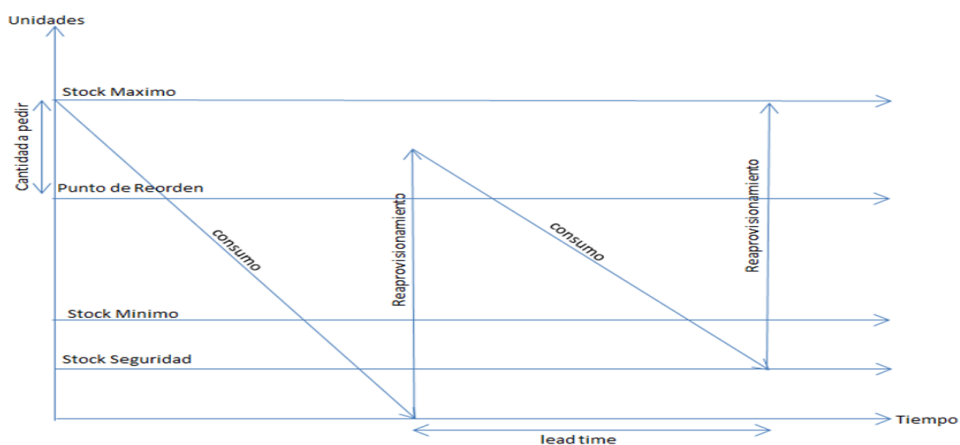
Como resultado del análisis del stock mínimo y de acuerdo a las características de las válvulas instaladas y tomando la válvula completa como un repuesto, nos da como resultado una necesidad inicial de compra de las siguientes válvulas:

- ✓ 1 válvula tipo compuerta 24" ANSI 1500 Costo Aprox. \$460.000.000
- ✓ 1 válvula tipo compuerta 18" ANSI 1500 Costo Aprox. \$203.000.000
- ✓ 1 válvula Cheque 24" ANSI 1500 Costo Aprox. \$215.000.000

El valor aproximado incluye el transporte y la entrega en bodega.

La Figura 39 muestra los parámetros mencionados anteriormente, evidenciando un consumo hipotético con respecto al tiempo y los respectivos niveles de inventario:

Figura 39. Niveles de Inventario



- C** = pronóstico de consumo
- R** = pronóstico de reaprovisionamiento
- Stock Mínimo = **SMI** = **C * R**
- DAP** = desviación estandar (depende de la criticidad del repuesto)
- Stock de Seguridad = **SS** = **SMI * DAP / C**
- Punto de Reorden = **ROP** = **SMI + SS**
- Stock Máximo = **SMA** = **Pronóstico 2 años + SS**
- cantidad a pedir = **ROQ** = **SMA - ROP**

Fuente: Gerencia Técnica de Activos - Ecopetrol

4.4.3. Plan de Mantenimiento Rutinario. El plan propuesto se enmarca dentro un documento corporativo bajo estándares de disciplina operativa y el cual actualmente ya fue generado y se encuentra en aprobación de la gerencia técnica de transporte de Ecopetrol. El documento contempla las actividades de mantenimiento rutinario que se describen a continuación

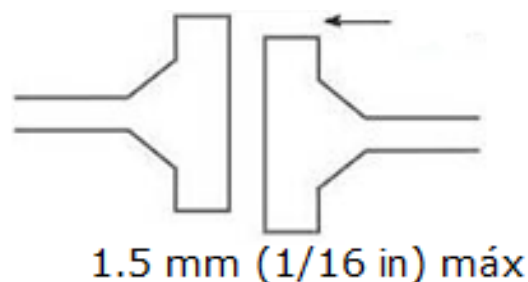
4.4.3.1. Inspección Visual. Realizar las actividades que apliquen de acuerdo a la clasificación de equipos y consignar la información en el formato correspondiente. El formato debe contener:

1. Localización Ubicación, Coordenadas, PK, infraestructura, etc.
2. Características técnicas: Descripción del componente, Tipo, Rating, Marca, Modelo, etc.
3. Condición general de todos los componentes de la válvula: Actuador, vástago, cuerpo, acá se debe relacionar el estado general del recubrimiento, venteos, graseras, accesorios, empaques, presencia de fugas, etc.
4. Condiciones locativas: Inundaciones, estado general de la infraestructura civil, etc.

Cuando existan juntas o conexiones bridadas, se debe inspeccionar con los siguientes parámetros:

1. Concentricidad: La medición se debe realizar a través de un nivel de gota colocado sobre las dos caras externas de las bridas y medir la diferencia de altura entre las dos y registrar esta medición. Figura 40.

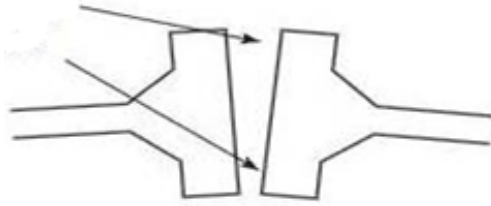
Figura 40. Medición de Concentricidad de una Junta Bridada



Fuente: Gerencia Técnica de Activos - Ecopetrol

2. Desalineamiento perpendicular entre caras: Se debe emplear un calibrador pie de rey tomando la separación de las caras internas de la brida en cuatro puntos simétricos y registrar estas mediciones. Figura 41.

Figura 41. Medición Desalineamiento de una Junta Bridada



0.8 mm (1/32 in) diferencia máx

Fuente: Gerencia Técnica de Activos - Ecopetrol

3. Comprobación de integridad: Se debe comprobar la ausencia de fugas en toda la periferia de la unión, mediante una inspección visual a la presión de operación del sistema por un periodo por lo menos de 30 minutos.
4. Estado de espárragos y tuercas: Para determinar el estado de los espárragos y las tuercas, se debe verificar la cantidad de hilos por fuera de la tuerca, el estado de los hilos salientes (pintados, oxidados, lubricados, limpios), el estado de las caras de las tuercas (pintadas, oxidadas, limpios), espárragos y tuercas libres (por medio de movimiento manual)
5. Inspección visual de equipos auxiliares de válvulas o sobre el ducto (si aplica): Verificar estado general de componentes como:
 - ✓ Equipo mecánico: Válvulas de venteo, válvulas en trampas, drenajes, by pass, bloqueo de instrumentos.
 - ✓ Equipo eléctrico: Red de Media Tensión, cortacircuitos, transformador, cableado de potencia, tableros, UPS, cargador, bancos de baterías, sistemas de apantallamiento y puesta a tierra, iluminación.
 - ✓ Equipo de instrumentación y control: Transmisores, Medidores, RTU, equipo de comunicaciones, UPS.

4.4.3.2. Pruebas Funcionales. Estas pruebas buscan asegurar el funcionamiento y la integridad mecánica de las válvulas.

Para la ejecución de las siguientes pruebas se debe coordinar con operaciones para evitar inconvenientes en el proceso.

a. Pruebas de cierre parcial (Partial Stroke Testing):

Objetivo: Verificar que todos los elementos que intervienen en la operación de la válvula están respondiendo de forma adecuada.

Para las válvulas automatizadas se debe verificar como está configurada la programación en el actuador y se deben seguir las instrucciones propias del fabricante.

Para válvulas no automatizadas realizar la prueba de forma manual.

1. Cierre el obturador de la válvula al 10%,
2. Verifique que la prueba se realiza dentro de los tiempos normales definidos.
3. Verifique que todos los componentes están funcionando correctamente.
4. Dejar la válvula en posición inicial 100% abierta.

b. Pruebas de cierre total (Full Stroke Testing):

Objetivo: Verificar que todos los elementos que intervienen en la operación de la válvula están respondiendo de forma adecuada.

Verificar integridad de los elementos de sello de la válvula.

1. Cierre el obturador de la válvula al 100%,
2. Verifique que la prueba se realiza dentro de los tiempos normales definidos.
3. Verifique que todos los componentes están funcionando correctamente.
4. Verificar la hermeticidad en el sellado interno de la válvula mediante facilidades propias instaladas en el sistema o utilizando técnicas con equipos especializados. (Ver actividades de Integridad de sellos)
5. Dejar la válvula en posición inicial 100% abierta.

c. Integridad de sellos y drenado de la válvula:

Objetivo: Verificar la hermeticidad en el sellado interno de la válvula.

Se deben eliminar sedimentos depositados en la parte inferior del cuerpo de válvula

Esta prueba se puede realizar generalmente con la válvula en posición 100% abierta o 100% cerrada de acuerdo al tipo de válvula y marca. Antes de realizarla considerar las recomendaciones propias del fabricante.

1. Con la válvula en posición 100% abierta o 100% cerrada, realizar un alivio de la presión interna del cuerpo a través de la válvula de venteo o la válvula de drenaje.
2. Si el alivio de presión lo realiza a través del punto de drenaje, disponer de forma adecuada el producto y sedimentos que se extraen del cuerpo de la válvula.
3. Si la presión disminuye a cero, significa que los sellos se encuentran en buen estado, de lo contrario la válvula presenta pase interno en alguno de sus asientos o puede ser un error en la calibración de la posición de apertura total.

Se debe verificar que el punto por el cual se va a hacer ésta operación cuente con los elementos necesarios para realizar la actividad de forma segura con el fin de controlar el producto que se va a liberar. Si el punto no cuenta con la válvula sino únicamente con un tapón, la operación no se debe realizar.

Al finalizar las pruebas se debe asegurar que la válvula quede en posición totalmente abierta (100%) mediante indicadores de posición u otros indicadores auxiliares que tenga la válvula, de no ser así, es necesario realizar una nueva calibración.

4.4.3.3. Lubricación. Los componentes a principales a lubricar son las válvulas principales y auxiliares, sellado de emergencia

Antes de realizar la actividad de lubricación se debe tener en cuenta:

- ✓ Las graseras deben estar en buenas condiciones y ser las adecuadas para el orificio de lubricación de la válvula.
- ✓ Asegurar que se cuenta con los accesorios adecuados para realizar el trabajo de manera segura.
- ✓ Verificar que los conductos de inyección no estén obstruidos.
- ✓ Se cuente con el limpiador, lubricante, grasa sellante, accesorios y equipos adecuados para la actividad a realizar.
- ✓

a. Lubricación rutinaria en anillos de asiento:

Objetivo: Mantener protegidos, libres de obstrucción e impurezas los anillos de asiento

- ✓ Para las válvulas que no han tenido una rutina periódica de lubricación o han tenido una aplicación con grasa no adecuada se debe aplicar una grasa limpiadora para desplazar el producto antiguo.

- ✓ Suministrar grasa lubricante en los puntos que posee la válvula para éste fin mediante equipos inyectoros adecuados para el tipo y tamaño de la válvula.

b. Sellado de emergencia en la válvula y el vástago:

Objetivo: Garantizar un sellado de emergencia a la válvula y al vástago mediante grasa sellante y empaque especial para vástago cuando la hermeticidad se ha perdido.

- ✓ Suministrar grasa sellante en los puntos de lubricación cuando se ha identificado que existe pase interno por alguno de los asientos de la válvula.
- ✓ Suministrar empaque sellante en los puntos de inyección el vástago cuando se ha identificado que existe fuga.

Esta práctica se emplea solo en caso de emergencia. Después de ésta práctica se debe analizar la magnitud de la falla para programar el retiro y reparación de las partes afectadas.

c. Cantidad de lubricante/sellador a inyectar:

- ✓ Para válvulas de Bola se debe inyectar 1 onza por pulgada de dimensión nominal de la válvula por cada anillo de asiento.
- ✓ Para válvulas de Compuerta se debe inyectar entre 0,5 y 0,75 onzas por pulgada de dimensión por cada anillo de asiento de acuerdo al sistema de sellado propio de la válvula.

Para una adecuada distribución del lubricante se debe ciclar parcialmente la válvula varias veces.

d. Lubricación de Actuador Manual:

- ✓ Realizar apertura del actuador, retirar la grasa contenida en la caja de engranajes, limpiar con productos adecuados, aplicar grasa nueva EP2 multipropósito y cubrir adecuadamente la totalidad de las piezas involucradas.
- ✓ Girar parcialmente el actuador con el fin de distribuir adecuadamente el lubricante.

e. Lubricación de válvulas auxiliares (Tapón)

- ✓ Verificar el movimiento del vástago, si se encuentra forzado, girar el tornillo inferior para dar ajuste, inyectar lubricante por las graseras, manipular el vástago para distribuir el lubricante por la superficie de contacto.

4.4.3.4. Mantenimiento del Sistema Eléctrico de Válvulas Automatizadas.

Este procedimiento se debe efectuar de acuerdo con recomendaciones en base a la norma NFPA 70B⁴.

Se debe realizar inspección general a los componentes eléctricos del sistema incluyendo:

a. Red de Media Tensión:

- ✓ Realizar inspección a todos los elementos desde la derivación principal a cargo del Operador de Red que incluya: conductores, aisladores, cortacircuitos, DPS, crucetas, diagonales, aisladores, abrazaderas, templete, tornillería estructuras etc. Reparar anomalías y registrar en OT.

b. Transformador (Poste o tipo pedestal):

- ✓ Verificar estado general armazón, puertas, tapas, fugas, nivel de aceite, temperatura, operación del cambia tap, bujes, válvulas, aisladores, pasatapas, puesta a tierra y demás accesorios según corresponda.

c. Tableros, URPC, UPS y Bancos de Baterías:

- ✓ Verificar estado general de las baterías, estado de componentes internos, cables, empalmes y conexiones, verificar que existan planos eléctricos, realizar limpieza interna.

d. Iluminación:

- ✓ Verificar estado general de la iluminación, hacer pruebas de funcionamiento.

e. SPT (Sistema de Puesta a Tierra):

- ✓ Revisión, aprietes y ajustes necesarios, verificar estado de la soldadura exotérmica, revisión de estructuras de anclaje, aisladores y conectores, elementos del sistema de apantallamiento.

Además, se debe realizar la medición de variables y pruebas al sistema de alimentación eléctrica, lo cual contempla:

⁴ NFPA 70B. Práctica Recomendada para mantenimiento de equipo eléctrico. Ed. 2013

f. Transformador:

- ✓ Medición de V, I: Tomar lecturas de tensión y corriente a la salida del transformador y verificar posición del conmutador.
- ✓ Medición de Resistencia de aislamiento Fase-Fase; Fase-Tierra
- ✓ Toma de muestra y análisis de aceite dieléctrico.

g. Cables de potencia:

- ✓ Resistencia de aislamiento: Fase-Tierra

h. Rectificador:

- ✓ Medición de voltaje a la entrada (Vac) y voltaje a la salida (Vdc), corriente de carga suministrada.

i. UPS, Banco de Baterías:

- ✓ Verificación y toma de parámetros del sistema: V_{in} ; V Bypass, V_{out} ; I_{in} ; I_{out} , Voltaje flotación de baterías, Corriente nominal de Baterías, Voltaje neutro-tierra, % de carga del equipo.
- ✓ Pruebas: corte de energía, autonomía de baterías, transferencia de normal a bypass (viceversa), transferencia de normal a baterías (viceversa).
- ✓ Diagnóstico electroquímico a Baterías: Indicadores eléctricos: Voltaje, impedancia; Indicadores químicos: sulfatación, pérdida del electrolito.

j. Sistema de Puesta a Tierra:

- ✓ Medición de resistencia de puesta a tierra
- ✓ Medición de equipotencialización de todos los elementos.

4.4.3.5. Mantenimiento a la instrumentación de válvulas automatizadas.

Realizar pruebas y mantenimiento a la instrumentación que incluyen:

- ✓ Prueba funcional y/o calibración de transmisor de presión.
- ✓ Prueba funcional de swith de nivel.
- ✓ Detector de paso de raspador (donde aplique).
- ✓ Mantenimiento a Indicadores de posición.
- ✓ Mantenimiento calibración e instalación de medidores de flujo-densidad de proceso tipo ultrasónico no intrusivo.
- ✓ Mantenimiento de PLC's y RTU's
- ✓ Mantenimiento sistemas de comunicaciones.
- ✓ Inspección y calibración de un manómetro.

4.4.4. Mantenimiento No Rutinario (Por solicitud)

4.4.4.1. Ultrasonido en Válvulas. Procedimiento efectuado de acuerdo al estándar ASTM E1002-51, Normalmente se aplica la técnica de ultrasonido para la detección de fugas internas en las válvulas, las actividades a desarrollar contemplan:

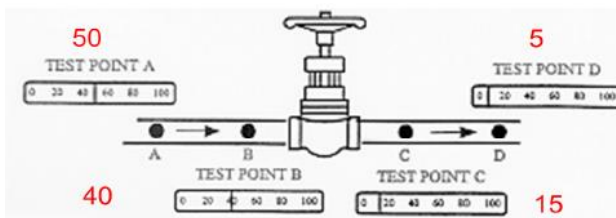
a. Cierre de la válvula:

- ✓ La válvula deberá permanecer cerrada mientras se realiza la inspección, se debe verificar con el centro de operación centralizada la aprobación del cierre de la válvula.
- ✓ Tome los datos de operación del sistema
- ✓ Para que la prueba sea efectiva se requiere una diferencial de presión mínima de 10 PSI.

b. Medición con equipo de ultrasonido:

- ✓ Para el análisis de válvulas con ultrasonido se emplea la técnica ABCD, consiste en tomar dos lecturas aguas arriba de la válvula denominadas A y B, y dos lecturas aguas abajo denominadas C y D. Tome los datos de las lecturas A, B, C, D con la sonda del equipo de Ultrasonido de acuerdo al esquema de la figura 42.

Figura 42. Medición por Ultrasonido – Detección de Fugas



Fuente: Procedimiento Gerencia Técnica de Activos - Ecopetrol

- ✓ Sistema libre de fugas: Tomamos la lectura del punto A como referencia.
 - $B \leq A$, verificación del equipo
 - $C \leq A$, B ruido limpio, sin turbulencia de fugas en el lado de bajo presión o descarga
 - $D \leq C$ No hay fugas en componentes aguas abajo de la válvula

- $D \geq C$ Hay interferencia de ruido por posibles pérdidas en componentes aguas abajo de la válvula
- ✓ Realiza informe indicando la condición de los equipos evaluados.

4.4.4.2. Termografía al Sistema Eléctrico. Procedimiento efectuado de acuerdo al estándar ISO 18434-2008⁵.

Este procedimiento se realiza con cámara infrarroja realizar inspección de elementos eléctricos tomando imágenes térmicas para medir temperaturas a distancia e identificar puntos calientes fuera de parámetros, la inspección incluye:

- ✓ Estructura poste transformador: verificar conexión de aisladores, cortacircuitos, DPS, transformador.
- ✓ Tableros Eléctricos: Celdas, Tableros de distribución.
- ✓ UPS, Cargador, Bancos de Baterías: Verificar componentes internos de la UPS, conexiones en las baterías.
- ✓ Otros componentes donde aplique

4.4.4.3. Reparación o aplicación de Recubrimientos. Procedimiento efectuado de acuerdo a los estándares de NACE⁶ y SSPC⁷. Los cuales son citados dentro de los procedimientos y especificaciones técnicas propias de la empresa.

A continuación se citan algunas de las principales actividades a realizar durante las reparaciones de pintura en superficies metálicas de las válvulas:

a. Preparación de la superficie

- ✓ Eliminar grasa, humedad y otros contaminantes.
- ✓ Lavar la superficie con una mezcla de agua, disolvente y detergente.
- ✓ Limpiar la superficie utilizando limpieza mecánica o limpieza manual. Remover todas las trazas de óxido.
- ✓ Redondear rebabas y extremos cortantes.
- ✓ Obtener perfil de anclaje utilizando lija No. 80 o de grano más basto.
- ✓ Aplicar el anticorrosivo antes que aparezcan indicios de corrosión (puntos de oxidación).

⁵ ISO 18434-2008. Monitoreo de Condición y Diagnóstico de Equipos con Termografía

⁶ NACE. National Association Corrosion Engineers

⁷ SSPC. Steel Structures Painting Council

b. Aplicación de pintura

- ✓ Aplicar la pintura dentro de los límites de temperatura de superficie y ambiente, humedad relativa y otras condiciones requeridas para lograr la adherencia y curado adecuados.
- ✓ Aplicar un sobre-espesor de pintura a todas las soldaduras, bordes y esquinas.
- ✓ Permitir el secado completo antes de aplicar segundas manos o pintura de acabado.

c. Presentación y acabado

- ✓ El acabado final deberá ajustarse con los estándares para asegurar un espesor uniforme de pintura, libre de acumulaciones, hendiduras, burbujas, sobre-rociado, “piel de naranja”, pinholes, grietas y otras imperfecciones.

4.4.5. Reparación de Válvulas. Todo el procedimiento de reparación de válvulas se debe realizar de acuerdo a la norma API RP 6DR, la cual contempla:

- ✓ Preparación para el Transporte para reparación.
- ✓ Control del Equipo
- ✓ Desmontaje y limpieza de las válvulas
- ✓ Evaluación de componentes
- ✓ Reparación o reemplazo de partes
- ✓ Reensamble
- ✓ Pruebas de aceptación
- ✓ Etiquetado del equipo
- ✓ Preparación para el transporte
- ✓ Documentación

4.4.6. Implementación en SAP-PM. Dada la implementación en el módulo SAM-PM de todo el programa de mantenimiento, se incluyó el plan de mantenimiento por especialidad para cada válvula del OCLC como se observa en la figura 43.

Figura 43. Plan de Mantenimiento válvulas OCLC- SAP-PM

Visualizar posición del plan-manten.: Lista de posiciones de manteni																
Posición mantenimiento Planes de mantenimiento preventivo Cálculo de costes																
S	Pos.PM	GP	Cl.orden	AMA	Pl.MantPrv	Descripción posición de mantenimiento	Estr.	Ubicación técnica	Denominación de la ubicación técnica							
	32595	O&M	Z1PM	P01	7552	Mantenimiento Mecanico Valvula	DIASJ1	TR0-C075-LITR-D080-USEC_BLK-10	Und Bloq Valv La Palmita_BLK-10							
	33202	O&M	Z1PM	P01	7552	Mantenimiento Electrico Valvula	DIASJ1	TR0-C075-LITR-D080-USEC_BLK-10	Und Bloq Valv La Palmita_BLK-10							
	33203	O&M	Z1PM	P01	7552	Mantenimiento Instrumentos Valvula	DIASJ1	TR0-C075-LITR-D080-USEC_BLK-10	Und Bloq Valv La Palmita_BLK-10							
GrHRuta USEC Mantenimiento Mecánico KZ Secci ContGrpoHR 12																
Resumen general operación																
Op.	SOp	PstoTbjo	Ce.	Ctrl	Descripción operación	T.	Trabajo	Un.	Nº	Dur.	Un.	C %	DistTrbInt	Fac	ClAct	Civ.mod.
0010		P0070AME	C150	PM01	Alistamiento de Trabajo	<input checked="" type="checkbox"/>	1	H	1	1	H	2 100		1	MMA001	1INICIO
0020		P0070AME	C150	PM01	Retiro de Materiales	<input checked="" type="checkbox"/>	1	H	2	0,5	H	2 100		1	MMA001	2MATER
0030		P0070AME	C150	PM01	Desplazamiento	<input checked="" type="checkbox"/>	4	H	2	2	H	2 100		1	MMA001	4DESPLA
0040		P0070AME	C150	PM01	Inspección General Componentes M	<input type="checkbox"/>	2	H	2	1	H	2 100		1	MMA001	
0050		P0070AME	C150	PM01	Pruebas Funcionales	<input type="checkbox"/>	2	H	2	1	H	2 100		1	MMA001	
0060		P0070AME	C150	PM01	Mantenimiento Mecánico Válvula	<input type="checkbox"/>	2	H	2	1	H	2 100		1	MMA001	
0070		P0070AME	C150	PM01	Mantenimiento Mecánico Actuador	<input type="checkbox"/>	2	H	2	1	H	2 100		1	MMA001	
0080		P0070AME	C150	PM01	Mantenimiento Mecánico Valv. Aux	<input type="checkbox"/>	2	H	2	1	H	2 100		1	MMA001	
0090		P0070AME	C150	PM01	Final	<input checked="" type="checkbox"/>	2	H	2	1	H	2 100		1	MMA001	6FINAL
GrHRuta USEC Mantenimiento Eléctrico KZ Secci ContGrpoHR 13																
Resumen general operación																
Op.	SOp	PstoTbjo	Ce.	Ctrl	Descripción operación	T.	Trabajo	Un.	Nº	Dur.	Un.	C %	DistTrbInt	Fac	ClAct	Civ.mod.
0010		P0070AEL	C150	PM01	Alistamiento de Trabajo	<input checked="" type="checkbox"/>	1	H	1	1	H	2 100		1	MMA002	1INICIO
0020		P0070AEL	C150	PM01	Retiro de Materiales	<input checked="" type="checkbox"/>	0,5	H	1	0,5	H	2 100		1	MMA002	2MATER
0030		P0070AEL	C150	PM01	Desplazamiento	<input checked="" type="checkbox"/>	4	H	2	2	H	2 100		1	MMA002	4DESPLA
0040		P0070AEL	C150	PM01	Aplicar SAES	<input type="checkbox"/>	1	H	1	1	H	2 100		1	MMA002	3ASAES
0050		P0070AEL	C150	PM01	Inspección Red/Componentes Media	<input type="checkbox"/>	2	H	2	1	H	2 100		1	MMA002	
0060		P0070AEL	C150	PM01	Inspección Transformador	<input type="checkbox"/>	2	H	2	1	H	2 100		1	MMA002	
0070		P0070AEL	C150	PM01	Inspección Cableado de Potencia	<input type="checkbox"/>	1	H	2	0,5	H	2 100		1	MMA002	
0080		P0070AEL	C150	PM01	MPV Tableros Electricos	<input type="checkbox"/>	2	H	2	1	H	2 100		1	MMA002	
0090		P0070AEL	C150	PM01	MPV UPS / Cargador / Banco de Ba	<input type="checkbox"/>	2	H	2	1	H	2 100		1	MMA002	
0100		P0070AEL	C150	PM01	Inspección Sistema Iluminación	<input type="checkbox"/>	1	H	2	0,5	H	2 100		1	MMA002	
0110		P0070AEL	C150	PM01	Medida Resistencia / Equipotenci	<input type="checkbox"/>	2	H	2	1	H	2 100		1	MMA002	
0120		P0070AEL	C150	PM01	Retirar SAES	<input type="checkbox"/>	0,5	H	1	0,5	H	2 100		1	MMA002	5RSAES
0130		P0070AEL	C150	PM01	Final	<input checked="" type="checkbox"/>	0,5	H	1	0,5	H	2 100		1	MMA002	6FINAL
GrHRuta USEC Mantenimiento Instrumentación KZ ContGrpoHR 14																
Resumen general operación																
Op.	SOp	PstoTbjo	Ce.	Ctrl	Descripción operación	T.	Trabajo	Un.	Nº	Dur.	Un.	C %	DistTrbInt	Fac	ClAct	Civ.mod.
0010		P0070AIN	C150	PM01	Alistamiento de Trabajo	<input checked="" type="checkbox"/>	0,5	H	1	0,5	H	2 100		1	MMA003	1INICIO
0020		P0070AIN	C150	PM01	Retiro de Materiales	<input checked="" type="checkbox"/>	0,5	H	1	0,5	H	2 100		1	MMA003	2MATER
0030		P0070AIN	C150	PM01	Desplazamiento	<input checked="" type="checkbox"/>	4	H	2	2	H	2 100		1	MMA003	4DESPLA
0040		P0070AIN	C150	PM01	Inspección y Calibración Tx Flujo	<input type="checkbox"/>	2	H	2	1	H	2 100		1	MMA003	
0050		P0070AIN	C150	PM01	Inspección y Calibración Tx Pres	<input type="checkbox"/>	2	H	2	1	H	2 100		1	MMA003	
0060		P0070AIN	C150	PM01	Inspección y Calibración Tx Temp	<input type="checkbox"/>	2	H	2	1	H	2 100		1	MMA003	
0070		P0070AIN	C150	PM01	Inspección y Calibración Tx Nive	<input type="checkbox"/>	2	H	2	1	H	2 100		1	MMA003	
0080		P0070AIN	C150	PM01	Inspección Visual Variables PLC	<input type="checkbox"/>	2	H	2	1	H	2 100		1	MMA003	
0090		P0070AIN	C150	PM01	Final	<input checked="" type="checkbox"/>	2	H	2	1	H	2 100		1	MMA003	6FINAL

Fuente: Gerencia Técnica de Activos - Ecopetrol

El plan de mantenimiento propuesto para las actividades de rutina por año se estima en COP \$ 352.247.039 basado en los costos actuales incluidos en el módulo SAP-PM y dentro del el cual incluye el siguiente recurso humano de acuerdo a los cargos de Ecopetrol para contratistas:

- ✓ Profesionales Junior
- ✓ Tecnicos categoria D9
- ✓ Ayudantes Categoría B4
- ✓ Obreros
- ✓ Ayxiliares de Enfermería
- ✓ Profesionales HSE
- ✓ Retroescavadora (donde aplique)
- ✓ Transporte en camioneta (donde aplique)
- ✓ Factores de multiplicacion para otros transportes
- ✓ Herramienta manual
- ✓ Viaticos
- ✓ Imprevistos
- ✓ Insumos

Con este valor se obtiene una reducción del 45% frente a los costos descritos en el numeral 4.3.1.3 como se observa en la tabla 19.

Tabla 19. Costos de Mantenimiento

PLAN ACTUAL	\$ 639.512.681
PLAN PROPUESTO	\$ 352.274.039
DIFERENCIA	\$ 287.238.642
AHORRO (%)	45 %

4.4.7. Mantenimiento Predictivo. Dentro del análisis de condición, se realizó el análisis por termografía y el análisis de aceites a las válvulas automatizadas del oleoducto.

4.4.7.1. Termografía. Se implementa la primera ronda de termografía a las válvulas automatizadas donde se inspeccionan los diferentes componentes eléctricos, el entregable final contempló aspectos informativos y de diagnóstico como: fecha y hora de la inspección, sección y equipo donde se encuentra el elemento inspeccionado, imagen infrarroja y fotografía del elemento, gráfica de temperatura relacionada con la imagen infrarroja, temperaturas registradas, clasificación de la novedad encontrada. La información se referenció con base a la norma NETA⁸. En la tabla 20 se encuentran consignados los criterios que constituyen una ayuda para determinar el grado de severidad de un problema

⁸ NETA. *National Electric Testing Association*

eléctrico (válida únicamente para mediciones directas de temperatura crítica) y recomendaciones para corregir el problema.

Tabla 20. Clasificación de fallas eléctricas

Tabla de clasificación de fallas eléctricas según NETA (INTERNATIONAL ELECTRIC TESTING ASSOCIATION)			
Nivel	TEMP MEDIDA	Calificación	Acción
1	De 1°C a 10°C O/A ó De 1°C a 3°C O/S	Possible deficiencia	Se requiere más información
2	De 11°C a 20°C O/A ó De 4°C a 15°C O/S	Probable deficiencia	Reparar en la próxima parada disponible
3	De 21°C a 40°C O/A ó >15°C O/S	Deficiencia	Reparar tan pronto como sea posible
4	>40°C O/A ó >15°C O/S	Deficiencia Mayor	REPARAR INMEDIATAMENTE!

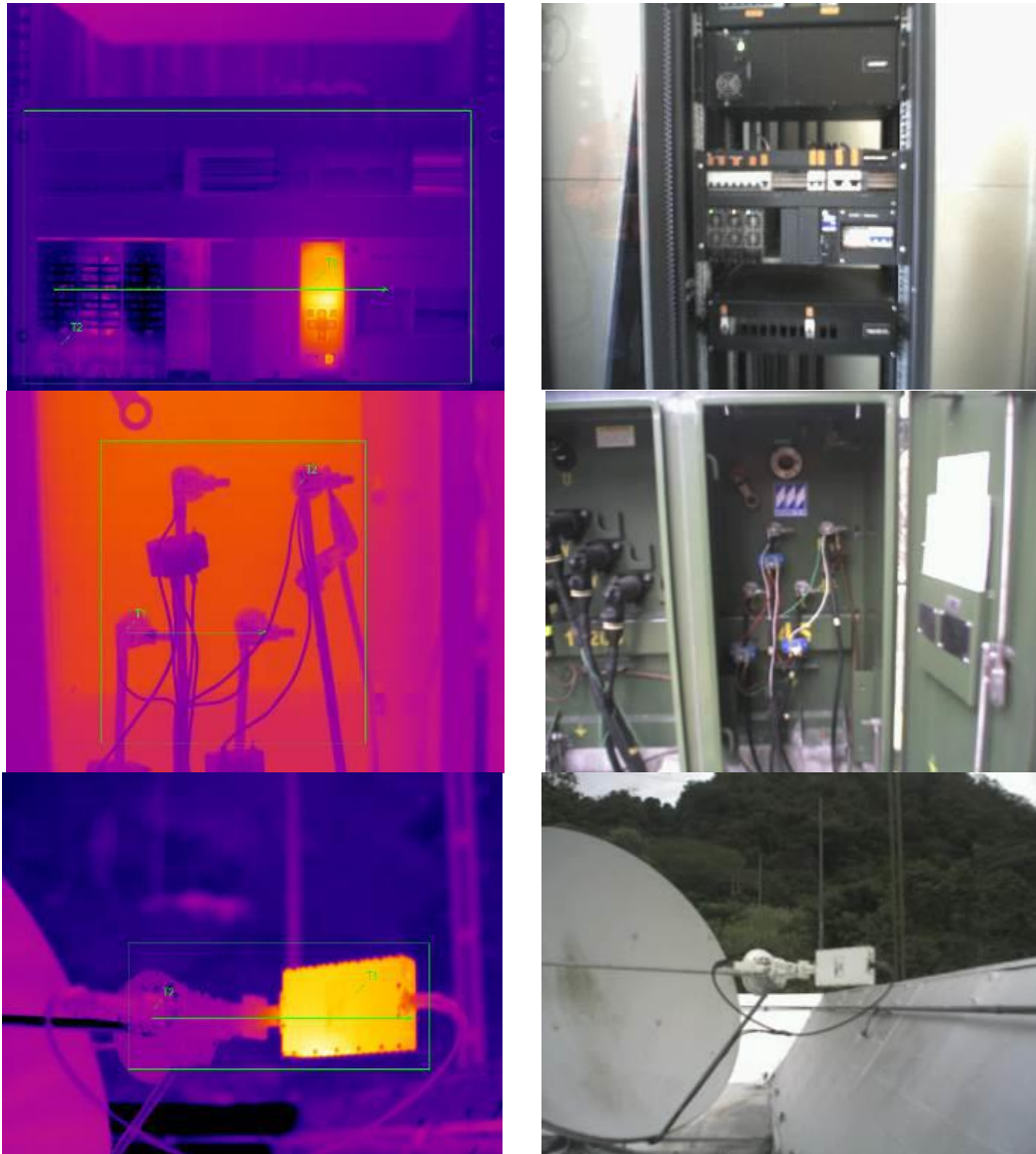
Fuente: Norma NETA

En la figura 44, se encuentran las imágenes del reporte de la inspección por termografía realizado la red eléctrica de media tensión, transformador, cableado de potencia, tableros eléctricos, ups, bancos de baterías y tableros de control.

Figura 44. Imágenes por Termografía



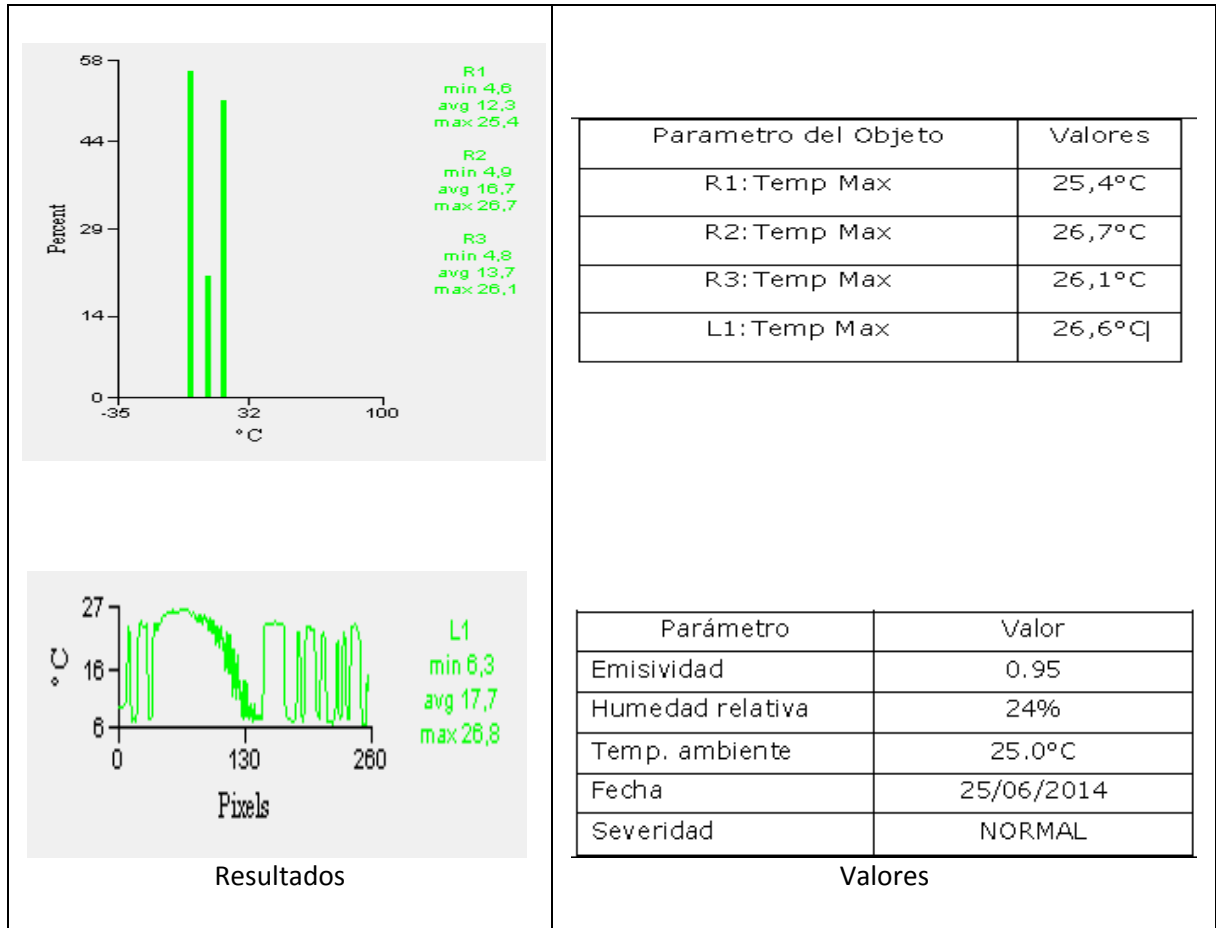
Figura 44. (Continuación)



Fuente: Reporte de Inspección

En la tabla 21 se encuentran un ejemplo de los resultados obtenidos en la inspección por termografía y con los cuales no se encontró ningún parámetro fuera de especificación en ninguna de las válvulas y la recomendación del ejecutor es volver a inspeccionar en dos años.

Tabla 21. Resultados de Inspección por Termografía



Fuente: Reporte de Inspección

4.4.7.2. Análisis de Aceite. Se realiza análisis de aceites dieléctricos a los transformadores de potencia tipo pedestal que hacen parte de las subestación eléctrica de cada instalación de válvula incluyendo los siguientes análisis: físico-químico ADFQ, Cromatografía de gases disueltos, Análisis de Furanos y detección de PCB's. En la figura 45, se observa un transformador monitoreado.

Figura 45. Transformador Monitoreado



Fuente: Reporte de Inspección

Las pruebas y análisis realizados son basadas en normatividad internacional, las normas utilizadas para cada método y prueba se describen en la tabla 22.

Tabla 22. Estándar para pruebas a aceites dieléctricos en operación.

PRUEBAS	ESTANDAR
Rigidez dieléctrica	ASTM D-877:02E
Contenido de agua	ASTM D-1533:00
Numero de neutralización	ASTM D-974:2012
Densidad relativa	ASTM D-1298-2012B
Tensión interfacial	ASTM D-971:2012
Color	ASTM D-1500:2012
Límites de aceptabilidad	IEEE C57.106-2006
Contenido de PCB'S	RES. 0222 DEL 15 DE DICIEMBRE DEL 2011
Cromatografía de gases disueltos	IEEE C57,104-2008

Fuente: Reporte de Inspección

En la tabla 23, se relaciona un reporte de inspección de los aceites analizados y se encuentran en condición normal. El ejecutor de los ensayos, recomienda realizar este análisis mínimo una vez al año.

Tabla 23. Registro de pruebas de análisis de aceite.

DATOS TRANSFORMADOR		PRUEBAS						CONDICIÓN
FECHA DE MUESTRA	UBICACIÓN	Rigidez Dieléctrica (kV/2.54mm) NORMA ASTM-D877:02E	Contenido de agua (ppm) NORMA ASTM D-1533:2012	Número de Neutralización (mgKOH/g) NORMA ASTM D-974:2012	Densidad Relativa NORMA ASTM D-1298:2012B	Tensión Interfacial (mN/m) NORMA ASTM D-971:2012	Color NORMA ASTM D-1500:2012	
02/07/2014	S/E CANEY	40	19	0,0055	0,8798	45,32	< 0,5	N
RANGOS DE ACEPTABILIDAD - ACEITES EN OPERACIÓN ≤ 69 KV / > 69 -<230 KV	ACEPTABLE	≥ 30	< 30	≤ 0,05	0.84-0.91	≥ 32	< 3,6	
	CUESTIONABLE	25-30	30-34,9	0,06-0,1	< 0.84	28-31,9		
	INACEPTABLE	< 25	≥ 35	> 0,1	> 0,91	< 27,9	≥ 3,6	

Normal
 Low
 Medium
 High

Fuente: Reporte de Inspección

4.5. INDICADORES PLANTEADOS

Para el seguimiento de la gestión del plan mantenimiento planteado, inicialmente se propone seguimiento, gestión y costos tomando como referencia las mejores prácticas de métricas de SMRP⁹

4.5.1. Indicador de Gestión. Tiempo Medio Entre Fallos MTBF (*Mean Time Between Failure*)

Este indicador mide la duración media de funcionamiento entre dos fallas de un activo. Se usa para equipos / componentes que sea reparables.

El indicador se usa para cuantificar la confiabilidad del equipo/componente. La confiabilidad se expresa como la probabilidad de que un equipo/componente preste su servicio sin fallar durante el periodo especificado y manteniendo las condiciones definidas para el funcionamiento

$$MTBF = \text{Tiempo de Operación (horas)} / \text{Numero de fallas.}$$

⁹ SMRP. Society for Maintenance and Reliability Professionals

Falla: Estado de un activo cuando no puede ejecutar sus funciones.

Tiempo de funcionamiento: Intervalo de tiempo durante el cual el activo o componente está llevando a cabo su función requerida.

Algunos aspectos a tener en cuenta para el cálculo:

- ✓ Base de tiempo: Depende del equipo
- ✓ Usado para mantenimiento y confiabilidad
- ✓ Se recomienda usar a nivel de Equipo o componente
- ✓ Debe ser una medida para equipos/componentes críticos
- ✓ Puede ser usado para comparar equipos/componente similares
- ✓ Si el MTBF es bajo, se recomienda desarrollar un RCFA o FMEA para identificar las oportunidades de mejoras en la confiabilidad

4.5.2. Indicador de Seguimiento. Trabajo Real Atrasado (*Ready Backlog*).

Es la cantidad de trabajo que se ha preparado completamente para la ejecución pero aún no ha sido ejecutado. Es un trabajo para el que se ha hecho toda la planificación y adquiridos los materiales, pero en espera de asignar mano de obra para ejecutar.

Esta medida métrica de la cantidad de trabajo aún no se lleva a cabo, por asegurar que los recursos de mano de obra se equilibren con el trabajo disponible.

Trabajo Real Atrasado (Ready backlog) = $\frac{\text{Trabajo listos para ejecutar}}{\text{Capacidad disponible de personal}}$

Trabajo Listo para ejecutar: Trabajo que se ha preparado para su ejecución, necesariamente debe estar completamente planeado, los materiales adquiridos y los requisitos de mano de obra han sido estimados.

La capacidad disponible de personal: Es la suma de las horas disponibles del personal de mantenimiento asignada a labores de ejecución de las tareas de mantenimiento. Se excluye los tiempos indirectos (capacitaciones, reuniones, vacaciones, etc.)

Algunos aspectos a tener en cuenta para el cálculo:

- ✓ Periodos de medición: Mensual
- ✓ Se usa para identificación de mejoras, justificación de inversión, optimizar el uso del recurso a nivel de la planta y como en la gestión corporativa.

- ✓ si los recursos disponibles son insuficientes, los trabajadores pueden trabajar horas extras o los contratistas que se puede utilizar como complemento a la fuerza de trabajo a fin de mantener la capacidad de trabajo en equilibrio con la carga de trabajo
- ✓ Si el backlog es menor a dos semanas, se dificulta la creación de un programa semanal para todo el equipo de mantenimiento
- ✓ Si el backlog es mayor a cuatro semana, es factible que existan trabajos que no van a ser realizados de manera oportuna (envejecimiento de ordenes de trabajo).

4.5.3. Indicador de Costos. Costos de Mantenimiento Correctivo (*Corrective Maintenance Cost*)

Costo de mantenimiento correctivo corresponden al porcentaje del total de los costos de mantenimiento que están siendo usadas para restaurar equipos en función de su estado y desarrolladas antes de la falla o cuando la falla es inminente.

Cuantifica el impacto en costos de los mantenimientos correctivos. La tendencia de este indicador, aporta información para evaluar la eficacia de las actividades preventivas.

Costos de Mantenimiento Correctivo = $\frac{\text{Los costos de los mantenimientos correctivos}}{\text{Costo total de mantenimiento}}$

Costos de mantenimiento correctivo: Corresponde a los costos invertidos en trabajo de mantenimiento que llevaron a restaurar un activo antes de la falla o cuando la falla es inminente. Puede incluir costos internos y externas (contratistas).

Costo Total de mantenimiento: Son todos los costos intervenidos en mantenimiento incluyendo los sobre tiempos. Igualmente incluye labores de remplazo de activos por cumplimiento de su ciclo de vida. No debe incluir trabajos de ampliación o mejoramiento.

Algunos aspectos a tener en cuenta para el cálculo:

- ✓ Periodos de medición: Mensual
- ✓ Permite identificar la efectividad de las actividades proactivas.
- ✓ Es muy importante que el sistema de gestión de mantenimiento implementado tenga claramente diferenciado este tipo de mantenimiento y la asignación a cada orden de trabajo sea la apropiada.

- ✓ Los costos de los trabajos ejecutados que hayan sido identificados previamente a la falla, forman parte de los costos de mantenimiento correctivo.
- ✓ Un alto porcentaje de los costos de mantenimiento correctivo, puede ser un indicador de una cultura de trabajo reactivo y pobre confiabilidad en los activos.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Partiendo del análisis del estado actual del programa de mantenimiento y la estrategia planteada, las principales conclusiones y recomendaciones son:

- ✓ La gestión de mantenimiento planteada para las válvulas del oleoducto Caño Limón – Coveñas, debe ser vista desde un esquema de procesos que tenga en cuenta todo el ciclo de vida del activo.
- ✓ El programa de mantenimiento planteado establece unas actividades que conllevan a mejorar la vida útil de las válvulas y disminuir su probabilidad de falla.
- ✓ La estrategia planteada busca mejorar todo el esquema de registro de información en un solo sistema donde se tengan datos técnicos y económicos.
- ✓ El plan de mantenimiento propuesto establece una reducción de un 45% de las actividades de mantenimiento rutinario frente al programa actual.
- ✓ Bajo el análisis de stock mínimo de inventarios se establece un requerimiento inicial de 3 válvulas el cual nos garantiza un esquema de reposición adecuado de acuerdo a la edad de las válvulas y el modo de fallo que han venido presentando.
- ✓ Se debe generar acuerdos de nivel de servicio con los proveedores de marcas aceptadas actualmente con Ecopetrol con el fin de garantizar programas de adquisición con oportunidad y calidad frente a las necesidades que surjan del sistema.
- ✓ La gestión de mantenimiento apalanca la gestión de riesgo dado que ayuda a mitigar las consecuencias y disminuir los niveles de riesgo para todas las amenazas de integridad del oleoducto.
- ✓ Se recomienda seguir implementando acciones de mantenimiento basado en condición para determinar posibles modos de falla que no se logren determinar por actividades rutinarias.

BIBLIOGRAFIA

ANSI/API 6D Specification for Pipeline Valves. April 2008

API 598. Valve Inspection and Testing. September 2009

API 6DR, Recommended Practice for the Repair and Remanufacture of Pipeline Valves. May 2012

ASME B16-34. Valves - Flanged, Threaded and Welding End. 2009

ASME B16-5 Pipeline Transportation Systems for Liquids and Slurries. 2012

ASME B16-5. Pipe Flanges and Flanged Fittings NPS 1/2 Through NPS 24 Metric/Inch Standard. 2013

ASME B31-4. Pipeline Transportation Systems for Liquids and Slurries. 2012
ISO 55000. Gestión de Activos "Asset Management". Información general, principios y terminología. 2014

MORA GUTIERRÉZ, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas de industriales ó de servicios. Medellín: AMG. 2005.

MOUBRAY. Jhon. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc. 1997. 421p.

ORTIZ PLATA, Daniel. Organizaciones del Mantenimiento: Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM. [CD_ROM]. Bucaramanga, 2008. Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

PAS 55. Gestión de Activos "Asset Management". Parte 1: Especificaciones para la gestión optimizada de activos físicos. British Standards. 2008.

SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automotive Engineers, Inc 1999. 30p.