

**MODELO PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE
PROTECCIÓN CATÓDICA DEL DEPARTAMENTO O&M CASANARE DE
ECOPETROL**

HENRY LEONARDO SANABRIA PINZON

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2014

**MODELO PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE
PROTECCIÓN CATÓDICA DEL DEPARTAMENTO O&M CASANARE DE
ECOPETROL**

HENRY LEONARDO SANABRIA PINZON

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

**Director: JESSICA ACOSTA CÁRDENAS
Ingeniero Electrónico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2014

AGRADECIMIENTOS

A Dios por sobre todas las cosas por brindarme la sabiduría y el conocimiento necesario para culminar una etapa más en mi proceso de formación como profesional, a mi familia, amigos y conocidos que de una u otra manera aportaron parte de sus conocimientos y siempre estuvieron a mi lado.

Contenido

INTRODUCCIÓN	13
1. MARCO CONTEXTUAL	15
1.1. RESEÑA HISTÓRICA	15
1.2. DEPARTAMENTO DE OPERACIONES Y MANTENIMIENTO CASANARE	17
1.3. DEPARTAMENTO DE INTEGRIDAD CASANARE Y PLAN DE ACCIÓN DE INTEGRIDAD	21
1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	23
1.5. OBJETIVOS	24
1.5.1. Objetivo general:	24
1.5.2. Objetivos específicos:	24
1.6. JUSTIFICACIÓN	25
2. MARCO TEÓRICO	26
2.1. MANTENIMIENTO CORRECTIVO	29
2.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO	30
2.3. FUNDAMENTOS DE CORROSIÓN Y SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA	32
2.3.1. Corrosión	32
2.3.2. Protección catódica	33
2.3.3. Unidad rectificadora de protección catódica	36
2.3.4. Ánodos de sacrificio.....	38
2.3.5. Elementos adicionales y complementarios al sistema de protección catódica	40
2.4. MARCO LEGAL Y NORMATIVO.....	43
3. SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA DEPARTAMENTO O&M CASANARE	47
3.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA	47
4. MODELO PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA.	57

4.1.	MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN CICLO PHVA.....	58
4.1.1.	Etapa1 “PLANEAR” (P)	59
4.1.2.	Etapa 2 “HACER” (H).....	60
4.1.3.	Etapa 3 “VERIFICAR” (V)	61
4.1.4.	Etapa 4 “ACTUAR” (A).....	61
4.2.	ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	63
4.3.	RECURSO HUMANO, FORMACIÓN Y COMPETENCIAS	64
4.4.	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO PARA LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA.....	67
4.4.1.	Casetas de rectificadores.....	67
4.4.2.	Estaciones de prueba	68
4.4.3.	Juntas de aislamiento eléctrico y encamisados.....	68
4.4.4.	Recubrimiento	69
4.5.	INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Y BUENAS PRACTICAS DE MANTENIMIENTO 71	
4.6.	MANEJO DE INDICADORES	73
4.6.1.	Indicadores globales de gestión de mantenimiento	74
4.6.2.	Indicadores operacionales.....	75
5.	CONCLUSIONES.....	78
	BIBLIOGRAFÍA.....	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estructura organizacional Ecopetrol S.A.	16
Figura 2: Mapa de infraestructura petrolera VIT.....	17
Figura 3: Organigrama de mantenimiento Ecopetrol Casanare.....	19
Figura 4: Amenazas Plan De Acción de Integridad Ecopetrol	21
Figura 5: Objetivos del mantenimiento diferentes generaciones a través del tiempo	26
Figura 6: Evolución de las técnicas de mantenimiento.....	27
Figura 7: Tipos de fallo y probabilidad de ocurrencia	27
Figura 8: Clasificación típica del mantenimiento preventivo	31
Figura 9 : Proceso de corrosión exterior en metales	33
Figura 10: Esquema de un SPC mediante Ánodos de sacrificio	34
Figura 11: Esquema de un SPC mediante corriente impresa.....	34
Figura 12: Esquema de un SPC mediante otras fuentes de generación de energía	35
Figura 13: Diagrama eléctrico rectificador de media onda y onda completa.....	37
Figura 14: Tipico de una unidad rectificadora de proteccion cadotica	38
Figura 15: Diagrama de junta bridada con kit de aislamiento eléctrico.....	40
Figura 16: Diagrama típico de cruces encamisados.....	41
Figura 17: URPC y estaciones de prueba sistema de protección catódica oleoducto Araguaney – El Porvenir	48
Figura 18: URPC y estaciones de prueba sistema de protección catódica oleoducto Santiago – El Porvenir	48
Figura 19: URPC sistema de protección catódica tanques de almacenamiento planta Altos El Porvenir	49
Figura 20: URPC sistemas de protección catódica tanques TQ 85 01 T TK 3501.....	49
Figura 21: URPC sistemas de protección catódica tanques 01, 02, 03, 04 y TR 05 descargadero Planta Monterrey.....	50
Figura 22 : URPC y estaciones de prueba sistema de protección catódica poliducto	50
Figura 23: URPC y estaciones de prueba sistema de protección catódica oleoducto API- EPO segmento Monterrey – Altos de Porvenir.....	51

Figura 24: Modelo de gestión de mantenimiento propuesto..... 58

Figura 25: Diagrama de la estructura organizacional para el modelo de gestión propuesto
..... 63

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Ánodos más comunes utilizados en sistemas de corriente impresa	39
Tabla 2 : Clasificación de recubrimientos típicos utilizados de acuerdo a densidad promedio de corriente.....	43
Tabla 3: Regulaciones internacionales de inspección para tuberías de transporte de hidrocarburos y sistemas de protección catódica.....	44
Tabla 4: Intervalos sugeridos como buenas practicas para inspecciones típicas reguladas de acuerdo a estándares y normatividad internación.....	45
Tabla 5: Sistemas de protección catódica departamento O&M Casanare.....	52
Tabla 6: Información técnica y datos operacionales de los rectificadores de protección catódica para tanques del departamento	52
Tabla 7: Información técnica y datos operacionales de los rectificadores de protección catódica para oleoductos del departamento.....	55
Tabla 8: Intervalos del plan de mantenimiento propuesto	70

RESUMEN

TITULO: MODELO PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA DEL DEPARTAMENTO O&M CASANARE DE ECOPETROL

AUTOR: HENRY LEONARDO SANABRIA PINZON

PALABRAS CLAVES: Gestión de mantenimiento, ciclo PHVA, Plan de Acción de Integridad (PAI), Corrosión exterior, líneas y tanques, transporte de hidrocarburos, buenas prácticas de ingeniería.

DESCRIPCIÓN: Como parte del modelo de gestión de integridad de ductos de ECOPETROL S.A. y el control del riesgo para la amenaza de corrosión exterior se encuentran incluidos como elementos de control y mitigación los sistemas de protección catódica para líneas y tanques de la vicepresidencia de transporte y logística.

El desarrollo del modelo de gestión de mantenimiento propuesto en el presente documento, apunta generar una estrategia local para el departamento de Operaciones y Mantenimiento Casanare de ECOPETROL S.A. encaminada a garantizar funcionamiento, mantenimiento confiabilidad de los sistemas de protección catódica por corriente impresa existentes en el departamento e implementar las estrategias adecuadas basadas estándares internacionales, normatividad local y buenas prácticas de ingeniería para el mantenimiento de los sistemas de protección catódica, estableciendo roles y responsabilidades claras y definidas para cada área y cada uno de los profesionales de mantenimiento todo a partir del liderazgo por parte del jefe del departamento mediante la aplicación de un ciclo PHVA e implementación del manejo de indicadores para operatividad, mantenibilidad y confiabilidad de los equipos y del modelo de gestión en general.

También se establecen las rutinas de mantenimiento más adecuadas para los equipos y cada uno de los componentes de acuerdo con las buenas practicas implementadas para estos sistemas en las industrias de hidrocarburos a nivel mundial.

* Modelo para la gestión de mantenimiento de los sistemas de protección catódica del departamento o&m Casanare de Ecopetrol

**Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Especialización en Gerencia de mantenimiento. Director: Jessica Fernanda Acosta Cardenas

SUMMARY

TITLE: MODEL FOR THE MANAGEMENT OF MAINTENANCE OF THE CATHODIC PROTECTION SYSTEMS OF THE DEPARTMENT O&M CASANARE OF ECOPETROL

AUTHOR: HENRY LEONARDO SANABRIA PINZON

KEYWORDS: Maintenance Management, Cicle PHVA, Integrity Action Plan (PAI), external corrosion, lines and tanks, transport of oil, good engineering practice.

DESCRIPTION: As part of the model of management of integrity of lines of de ECOPETROL S.A. . and the control of the risk for the threat of exterior corrosión, are included like elements of control and mitigation the systems of cathode protection for lines and tanks of the vicepresidency of transport and logistic.

The development of the model of management of maintenance proposed in the present document, it appears to generate a local strategy for the department of Operations and Maintenance ECOPETROL's Casanare S.A. directed to guarantee the functioning, maintenance reliability of the existing systems of cathode protection in the department and implement the suitable strategies based on standard international and good practices of engineering for the maintenance of the systems of cathode protection, defining roles and responsibilities clear and defined for each area and each maintenance professionals everything from leadership by the head of the department by means of the application of a cycle PHVA and implementation of the managing indicators for operability, mantenibilidad and reliability of the equipments and of the model of management in general.

The most appropriate equipment and each of the components in accordance with good practices implemented for these systems in the hydrocarbon industries worldwide maintenance routines are also established.

* model for the management of maintenance of the cathodic protection systems of the department o&m casanare of Ecopetrol

**School of Mechanical Engineering. Maintenance management Specialization. Director: Ing. Jessica Fernanda Acosta Cardenas

INTRODUCCIÓN

Comúnmente los procesos de corrosión exterior que se presentan en las tuberías de acero al carbón utilizada para transporte de hidrocarburos a nivel mundial ocasionan problemas de integridad mecánica en los materiales, los cuales restringen y limitan la capacidad y disponibilidad para transporte de dichos oleoductos. Actualmente se utilizan diversos métodos para el control de la corrosión exterior en el sector de hidrocarburos siendo la denominada protección catódica por corriente impresa uno de los más utilizados debido a las diversas ventajas que ofrece frente a los demás sistemas.

El departamento de operaciones y mantenimiento Casanare de Ecopetrol S.A. de la vicepresidencia de transporte y logística cuenta con múltiples sistemas de protección catódica para el control de la corrosión exterior para tuberías y tanques de almacenamiento de hidrocarburos, dichos sistemas de protección catódica pueden llegar a ser muy eficientes partiendo de diseños apropiados, instalaciones adecuadas y normalizadas y dependiendo de la operación, monitoreo y mantenimiento que sobre los mismos se realiza durante su ciclo de vida útil.

Partiendo de la premisa que el mantenimiento está orientado a garantizar las condiciones operativas de un equipo o sistemas dentro de los rangos establecidos para operación y alargar su vida útil, es importante tener cuenta que alrededor de las actividades de un departamento de mantenimiento se deben involucradas todas las áreas y niveles de la organización para optimizar y reducir tiempos, procesos, costos y demás elementos que ayuden a mejorar la productividad de la organización, surge la propuesta del modelo de gestión de mantenimiento para los sistemas de protección catódica del departamento de operaciones y mantenimiento Casanare de Ecopetrol S.A.

La propuesta actual permite estructurar de manera acertada mediante la implementación de un ciclo PHVA que involucra todos los niveles del departamento de mantenimiento del personal propio de Ecopetrol S.A. en Casanare y las empresas contratistas de turno para la administración de los recursos y mejoramiento en los procesos, se contemplan los roles y responsabilidades de cada nivel y en cada una de las áreas, se incluye el manejo de indicadores para medir la efectividad del modelo de gestión planteado y de la misma manera indicadores para determinar operatividad, disponibilidad, mantenibilidad y demás indicadores propios de los sistemas y equipos que conforman los sistemas de protección catódica.

1. MARCO CONTEXTUAL

1.1. RESEÑA HISTÓRICA

La empresa Colombiana de Petróleos surge en los años 50 como la empresa encargada de asumir las concesiones que en años anteriores pertenecían a industrias petroleras extranjeras. Aunque inicialmente la empresa surgió como la administradora de los recursos de hidrocarburos, con el pasar de los años y debido a la reversión de muchas de las concesiones otorgadas en años anteriores, terminó convirtiéndose en la empresa industrial de hidrocarburos. En los años setenta asume la operación de la refinería de Barrancabermeja y es vinculada al ministerio de minas y energía.

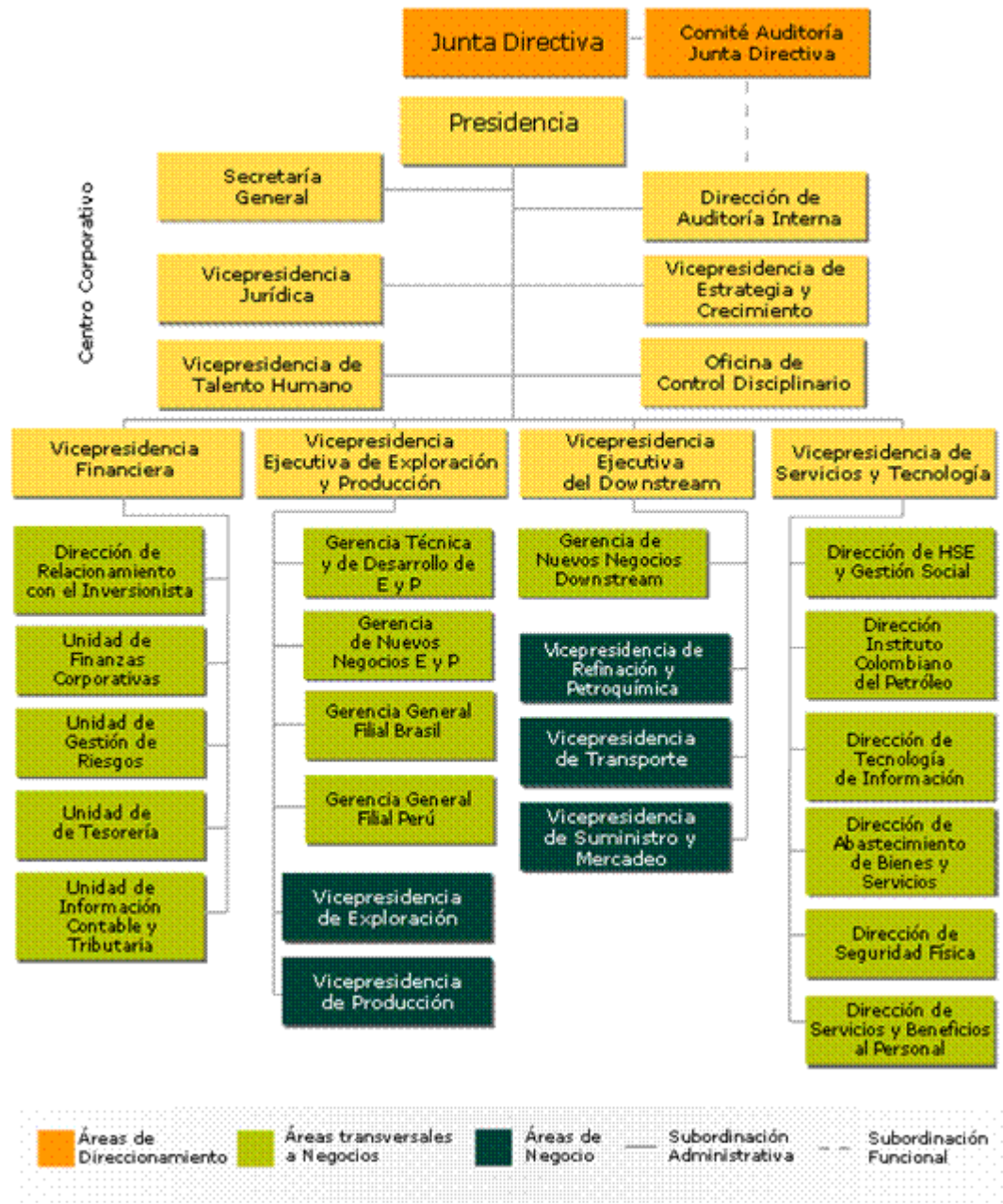
En los años noventa con los descubrimientos de Cusiana y Cupiagua en asocio con la OXY para explotación, Ecopetrol logra consolidar a Colombia como uno de los más fuertes países exportadores de petróleo a nivel mundial.

En el año 2003 con el objetivo de reestructurar la empresa, el gobierno la convierte en una sociedad pública por acciones con participación ciento por ciento estatal lo que origina que la compañía se libere de las funciones del estado y tenga autonomía para la administración del recurso petrolero de la mano con la creación de Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH¹.

Actualmente Ecopetrol S.A. es la empresa más grande de Colombia, es una de las 40 empresas de hidrocarburos más grande del mundo y una de las 4 más importantes de Latinoamérica y con presencia en el mercado bursátil a nivel mundial.

¹Ecopetrol S.A. [consultado el 7 de mayo de 2014]. Disponible en <http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=532&conID=76464>

Figura 1: Estructura organizacional Ecopetrol S.A.



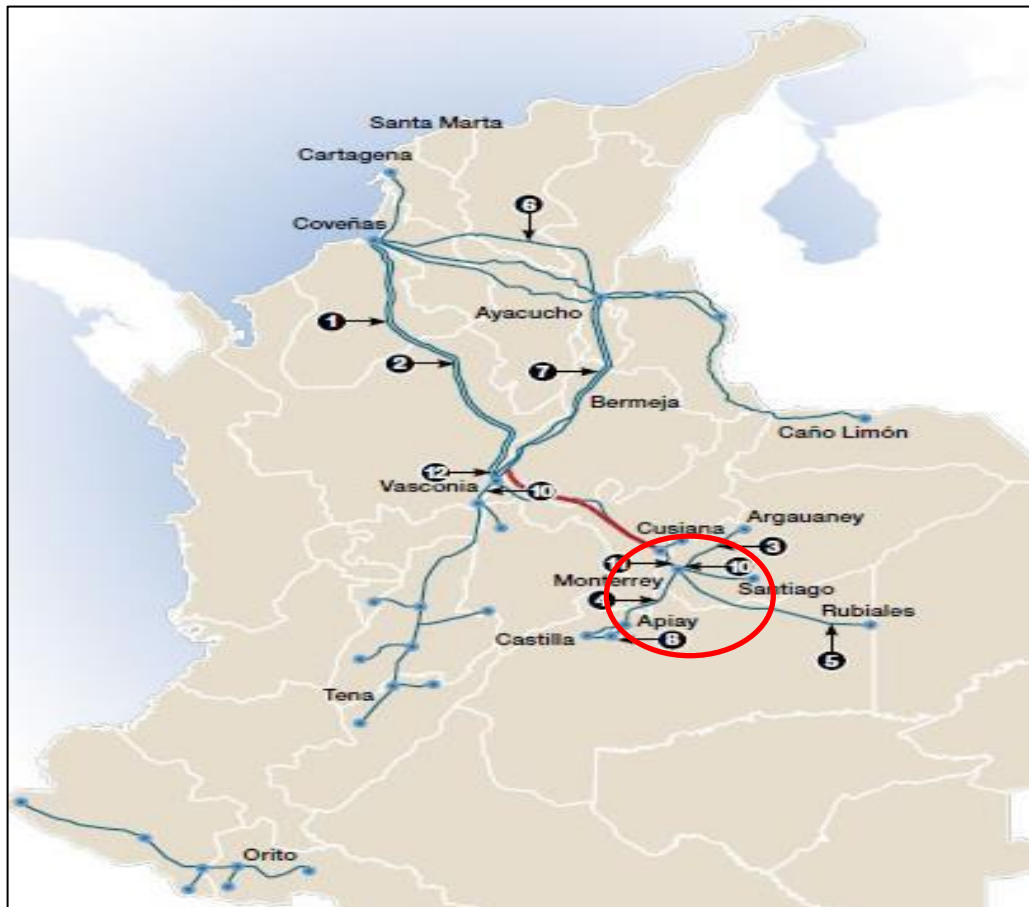
Fuente: Tomado de Ecopetrol S.A.

<http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=532&conID=76463&pagID=134270>

1.2. DEPARTAMENTO DE OPERACIONES Y MANTENIMIENTO CASANARE

El departamento de operaciones y mantenimiento Casanare forma parte de la vicepresidencia de transporte y logística de la súperintendencia de oleoducto central y tiene influencia en el departamento de Casanare y parte de Boyacá, incluyendo las plantas Monterrey, El Porvenir y altos de Porvenir en el municipio de Monterrey, planta Arguaney en Yopal. Campo Santiago en Maní, y la Planta Miraflores en el municipio del mismo nombre en el departamento de Boyacá.

Figura 2: Mapa de infraestructura petrolera VIT



Fuente: Tomado de Ecopetrol S.A. redes de transporte

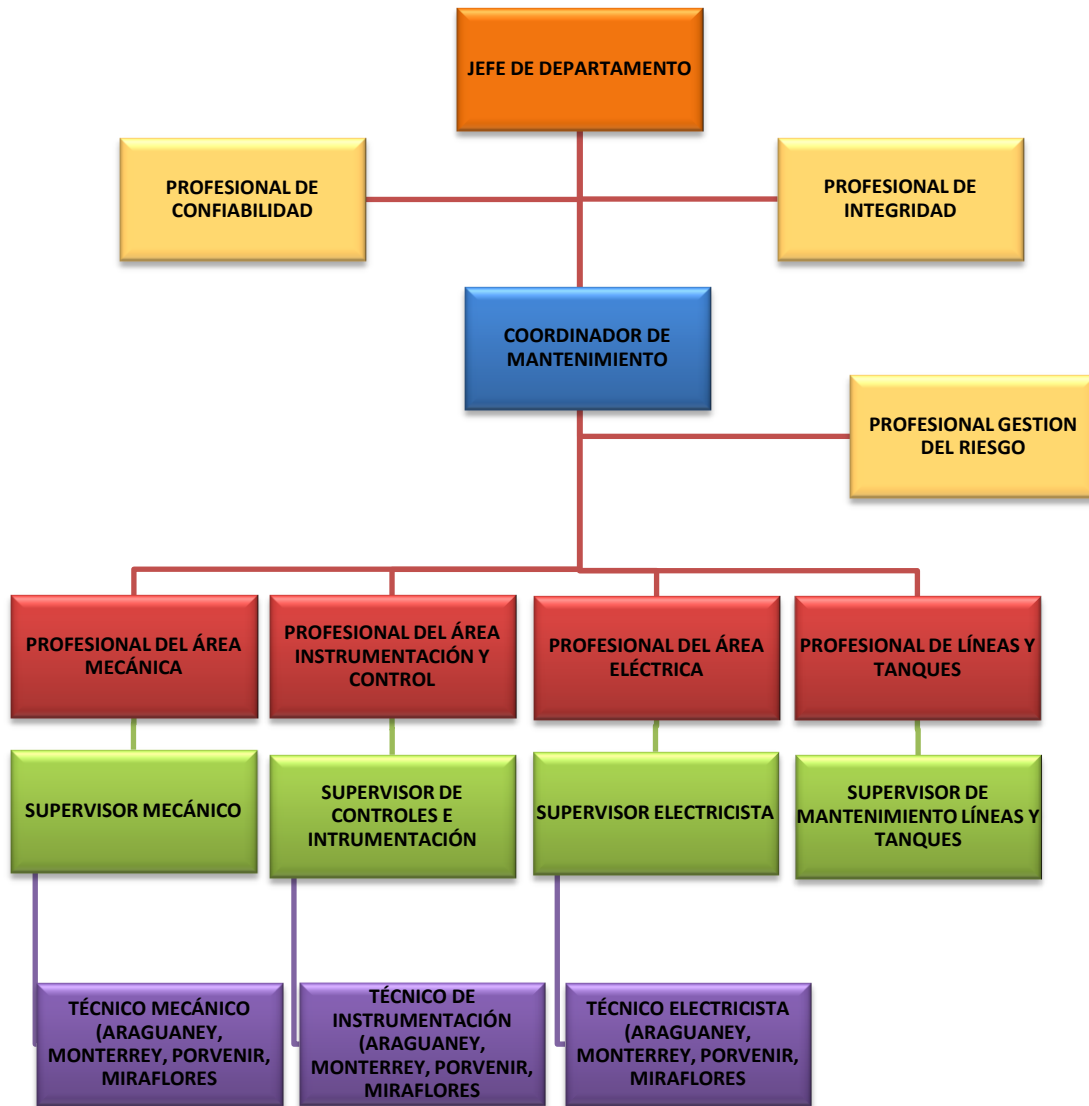
<http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=127&conID=36123&pagID=127173>
Forman parte y son responsabilidad del departamento de operaciones y mantenimiento de Casanare los oleoductos Santiago-El Porvenir, Arguaney – El

Porvenir, Monterrey – El Porvenir, el segmento Miraflores – Monterrey del poliducto Andino y el segmento Monterrey – Altos de Porvenir - Porvenir del oleoducto Apiay – El Porvenir

Como parte del modelo de gestión de activos y el programa de integridad de activos implementado por Ecopetrol S.A. y las políticas de gestión de riesgos se encuentra la totalidad de la infraestructura de transporte y almacenamiento de hidrocarburos del departamento Casanare.

El departamento de mantenimiento en Casanare está conformado por un grupo de 9 profesionales, especialistas cada uno en su respectiva área y cuenta con el apoyo de 4 supervisores; uno por cada especialidad, los cuales a su vez soportan a los técnicos en todas las actividades de mantenimiento que se ejecutan, sin embargo para la especialidad líneas y tanques no se cuenta con personal técnico operativo y toda la responsabilidad de la ejecución de las tareas siempre es asignada a empresas contratistas.

Figura 3: Organigrama de mantenimiento Ecopetrol Casanare



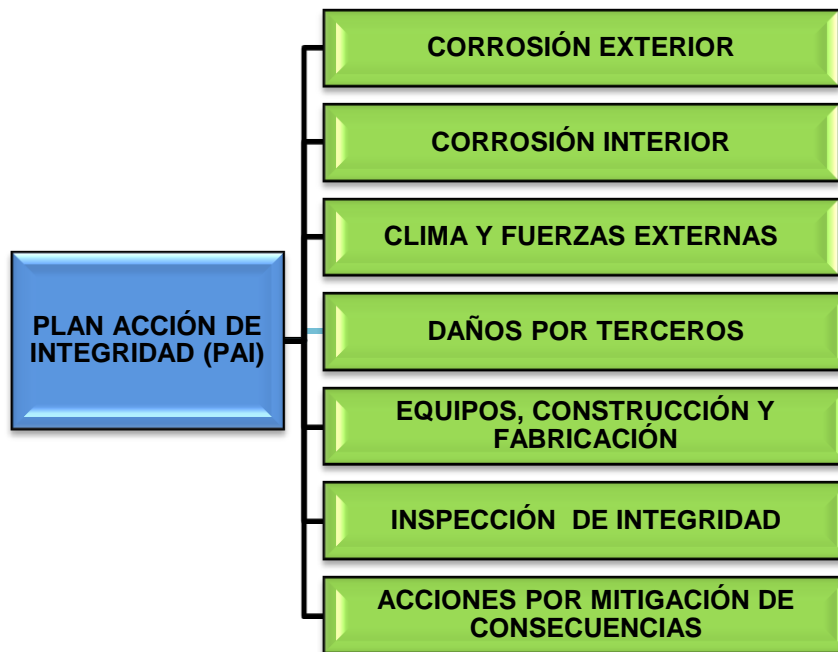
Fuente: Ecopetrol S.A. departamento O&M Casanare

Adicional al staff de profesionales del área de mantenimiento, cada una de las plantas cuenta con su respectivo coordinador y profesionales de apoyo para las áreas de gestión de riesgo, seguridad industrial y medio ambiente.

1.3. DEPARTAMENTO DE INTEGRIDAD CASANARE Y PLAN DE ACCIÓN DE INTEGRIDAD

Se identifica como Plan de Acción de Integridad (PAI) al conjunto de actividades destinadas a mitigar y controlar las diferentes amenazas que desde el punto de vista de integridad mecánica para ductos, pueden llegar a generar impactos ambientales, económicos y sociales como consecuencia de la materialización de una de estas amenazas. Ecopetrol actualmente tiene contemplados en el denominado PAI siete amenazas para todas las líneas de transporte de hidrocarburos en el país.

Figura 4: Amenazas Plan De Acción de Integridad Ecopetrol



Fuente: Ecopetrol S.A. departamento de integridad VIT

Cada una de estas amenazas tiene tareas y actividades definidas y orientadas a mitigar el riesgo de acuerdo a valoración mediante matrices ya definidas por Ecopetrol S.A. y las cuales son estructuradas de acuerdo a las características de

los terrenos, condiciones ambientales y geográficas para cada departamento en el país.

Los sistemas de protección catódica (SPC) forman parte de los equipos destinados a mitigar el riesgo de la amenaza de corrosión exterior para la infraestructura de transporte y almacenamiento de la Vicepresidencia de transporte y logística en el departamento de Casanare.

Para el departamento de integridad Casanare y el aseguramiento de todas actividades derivadas del plan de acción se cuenta con personal contratista para la ejecución directa de todas las tareas de mantenimiento y el aseguramiento por parte de una gerencia.

1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El departamento de operaciones y mantenimiento Casanare de Ecopetrol cuenta en la actualidad con múltiples sistemas de protección catódica para líneas de transporte de crudo y tanques de almacenamiento; los cuales son los encargados de mitigar y proteger las estructuras metálicas de las fallas causadas por efectos de la corrosión exterior prolongando la vida útil de las mismas y reduciendo los correctivos que sobre estas se deben ejecutar cuando se presentan problemas de corrosión exterior.

Las unidades rectificadoras de protección catódica (URPC) que suministran la energía necesaria para mantener los sistemas de protección catódica de líneas y tanques están distribuidas actualmente en el departamento a lo largo de los oleoductos Araguaey –El Porvenir 14/12” con una longitud de 104,3 Km iniciando en la Planta Araguaey en la ciudad de Yopal y se extiende hasta la Planta El Porvenir en el municipio de Monterrey. Santiago – El Porvenir 10” con una longitud de 80 Km partiendo del municipio de Maní y finalizando en la Planta El Porvenir. Adicionalmente existen sistemas de protección catódica para los tanques de almacenamiento de crudo de la Planta Altos el Porvenir, Planta Monterrey y descargadero Planta Monterrey; 12 tanques en conjunto. Estos sistemas de protección catódica no tienen definidas metodologías ni planes claros de mantenimiento preventivo y generalmente siempre se ha trabajado sobre correctivos, sin tener en cuenta disponibilidad, indicadores de los equipos y sistemas en general, adicionalmente la variedad de equipos y componentes que conforman los sistemas de protección catódica dificulta mantener un stock de repuestos para atender las fallas de manera oportuna.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general:

Establecer un modelo de gestión de mantenimiento para los sistemas de protección catódica del departamento de operaciones y mantenimiento Casanare de Ecopetrol.

1.5.2. Objetivos específicos:

- Caracterizar los equipos y componentes que conforman los sistemas de protección catódica por corriente impresa existentes en el departamento.
- Realizar un análisis del estado actual de operación y mantenimiento de los sistemas de protección catódica del departamento O&M Casanare de Ecopetrol.
- Definir y estructurar una metodología para las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo de rectificadores y sistemas de protección catódica por corriente impresa.
- Establecer los indicadores de gestión de mantenimiento necesarios para determinar la efectividad del plan de mantenimiento propuesto.

1.6. JUSTIFICACIÓN

Las estructuras o tuberías de acero al carbono pertenecientes a la vicepresidencia de transportes de Ecopetrol en Casanare que se encuentran enterradas, están sujetas a los efectos corrosivos propios del medio ambiente que las rodea lo cual incide en el deterioro del metal, de la misma forma factores adicionales afectan en diferente medida el tipo y la velocidad de corrosión externa de las estructuras o tuberías en contacto con el suelo o con los diferentes ambientes en los que se encuentran.

Existen diferentes métodos de protección contra la corrosión, sin embargo uno de los más utilizados es la denominada protección catódica que consiste en convertir a la estructura o tubería en el cátodo de una celda de corrosión electroquímica.

La utilización de los sistemas de protección catódica mediante corriente impresa en la industria de hidrocarburos es una de las técnicas más utilizadas para mitigar y proteger las líneas de transporte y tanques de almacenamiento de los efectos de la corrosión exterior en la actualidad, sin embargo actualmente estos sistemas en el departamento de operaciones y mantenimiento Casanare de Ecopetrol no cuentan con un plan de mantenimiento ni metodología definidos para garantizar la operación y disponibilidad de los mismos; se trabajan a mantenimiento correctivo, no se cuenta con indicadores de ningún tipo y no hay estandarización de equipos y componentes.

El manejo de indicadores y un plan de mantenimiento preventivo y correctivo definido para sistemas de protección catódica permiten determinar y controlar los niveles reales de la protección contra la corrosión exterior de las estructuras sobre los cuales tienen incidencia y reducir los costos generados por trabajos de mantenimiento correctivo en las estructuras protegidas, aumentando la vida útil de las mismas; disponibilidad de almacenamiento para tanques, capacidad y disponibilidad de transporte para los oleoductos.

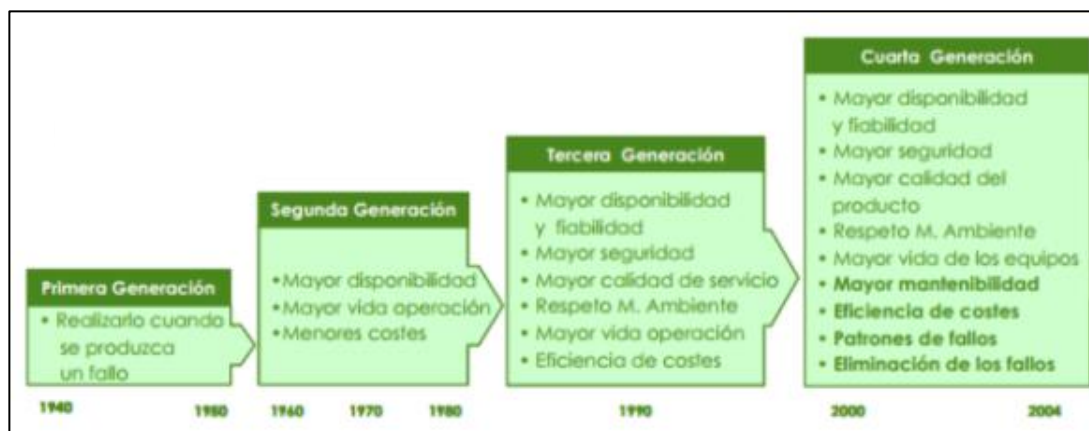
2. MARCO TEÓRICO

El desarrollo del presente documento está fundamentado en las diferentes literaturas enfocadas hacia la gestión de mantenimiento, específicamente en las áreas relacionadas con el mantenimiento preventivo y correctivo.

El concepto de mantenimiento se define comúnmente como “el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento”².

A lo largo de la historia el mantenimiento ha presentado varias etapas de desarrollo, encontrándose actualmente en la denominada cuarta generación y en cada una de estas etapas se han desarrollado diferentes técnicas que actualmente se combinan y son utilizadas para las actividades de mantenimiento.

Figura 5: Objetivos del mantenimiento diferentes generaciones a través del tiempo



Fuente: GONZALES QUIJANO Javier García. Mejora en la confiabilidad operacional de la energía eléctrica: desarrollo de una metodología de gestión de mantenimiento basado en el riesgo (RBM) Tesis de master en gestión técnica y económica en el sector eléctrico. Madrid 2004. Universidad pontificia Comillas. P.28

² GARRIDO Santiago García .Organización y gestión integral de mantenimiento., Editorial Díaz de santos, Albasanz, Madrid 2003. Disponible en <http://web.ing.puc.cl/~power/alumno06/OED/mantenimiento.htm>

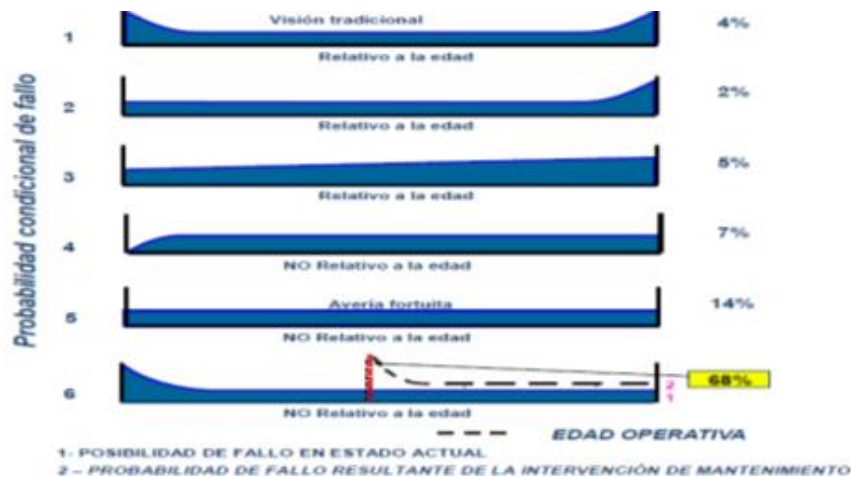
Figura 6: Evolución de las técnicas de mantenimiento



Fuente: GONZALES QUIJANO Javier García. Mejora en la confiabilidad operacional de la energía eléctrica: desarrollo de una metodología de gestión de mantenimiento basado en el riesgo (RBM) Tesis de master en gestión técnica y económica en el sector eléctrico. Madrid 2004. Universidad pontificia Comillas. P.28

Con el desarrollo de las técnicas de mantenimiento y el estudio especializado del mantenimiento como una área de ingeniería se establecieron diferentes modos de falla y en la actualidad se tiene establecida la denominada curva de la bañera como la forma de representación más común para la los modos o patrones de falla de acuerdo a la edad de los equipos o sistemas.

Figura 7: Tipos de fallo y probabilidad de ocurrencia



Fuente: RUIZ ACEVEDO Adriana María. Monografía de grado, Gerencia de mantenimiento, Modelo para la implementación de mantenimiento predictivo en las facilidades de producción de petróleo, Bucaramanga 2012

La manera de interpretación para cada uno de los patrones de falla es la siguiente:

- Patrón de falla 1: Presenta una alta probabilidad de falla temprana denominada “mortalidad infantil” y se mantiene constante y con un bajo nivel de probabilidad de falla por un largo periodo de tiempo hasta alcanzar un punto en el cual conviene reemplazar para evitar una falla.
- Patrón de falla 1, 2 y 3: Presentan tendencias de aumento de probabilidad de falla de acuerdo al paso de tiempo.
- Patrón de falla 5: Las fallas presentan un comportamiento aleatorio y puede ocurrir en cualquier momento
- Patrón de falla 6: Presenta una elevada probabilidad de falla temprana y un comportamiento aleatorio con el paso del tiempo.

De acuerdo a lo anterior se aprecia la alta probabilidad de mortalidad infantil la cual supera el 50%, lo cual es importante teniendo en cuenta que esta probabilidad de falla está presente en los equipos cada vez que estos son sujetos a reparaciones o cambio de elementos.

Tradicionalmente se clasifican diferentes tipos de mantenimiento los cuales se diferencian por el tipo de tareas que se desarrollan en cada uno y existen adicionalmente diferentes técnicas, filosofías, metodologías de mantenimiento.

Clasificación típica de los tipos de mantenimiento³ .

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento Predictivo
- Mantenimiento basado en el tiempo (MBT)
- Mantenimiento basado en condición (MBC)

³ FUENTES DÍAS David Alfredo. Presentación Sistemas de Información en Mantenimiento, Escuela de ingeniería Mecánica, Especialización en gerencia de mantenimiento ,Abril 2013

Clasificación típica de las técnicas y/o filosofías de mantenimiento⁴

- Mantenimiento Total Productivo (TPM)
- Mejoramiento de la calidad operacional
- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad ((RCM)
- Mantenimiento Basado en Riesgo (MBR)
- Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad en Reserva (MCC-R)
- Análisis Causa Raíz (ACR)
- Análisis de Criticidad (AC)
- Optimización Costo Riesgo (OCR)
- Inspección basada en Riesgo (RBI)
- Entre otras

Para el desarrollo del presente documento y caso de estudio se profundiza en las metodologías del mantenimiento correctivo y preventivo enfocado a sistemas eléctricos y sistemas de protección catódica en el sector de hidrocarburos

2.1. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Establece que un equipo funcione hasta desarrollar una falla que afecte la función para la cual está destinado, una vez falla el equipo se realiza la reparación correspondiente, es puesto en operación y se repite el ciclo. Es importante anotar que en la mayoría de los casos toda labor de mantenimiento correctivo exige atención inmediata.

⁴ GONZALES QUIJANO Javier García. Tesis de master en gestión técnica y económica en el sector eléctrico, “Mejora en la confiabilidad operacional de la energía eléctrica: desarrollo de una metodología de gestión de mantenimiento basado en el riesgo (RBM) Madrid 2004.

Actualmente el mantenimiento correctivo es poco utilizado en empresas e industrias organizadas, sin embargo se realiza cuando se presentan situaciones como las siguientes:

- El costo del equipo es bajo y por lo tanto fácil y económicamente rentable el cambio del mismo comparado con otros tipos de mantenimiento.
- Mantener al 100% en operación el equipo en procesos productivos durante determinados intervalos de tiempo.
- El equipo tiene sistema redundante

Sin embargo, teniendo en cuenta las situaciones presentadas anteriormente, es necesario realizar un análisis más a fondo riguroso para determinar y establecer que los costos indirectos por paradas imprevistas en sistemas de producción asociados al mantenimiento correctivo de un equipo específico efectivamente resultan aceptables y que el mantenimiento correctivo si es una buena opción.

Existe una clasificación básica del mantenimiento correctivo:

- Planificado o proactivo
- No planificado o de emergencia

2.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

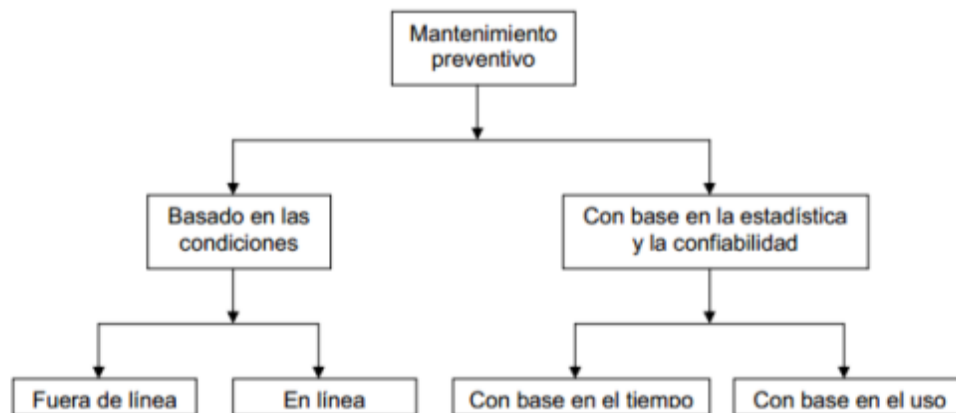
El mantenimiento preventivo son todas aquellas actividades destinadas a prevenir y evitar fallas en un equipo manteniendo las condiciones de operaciones a través del tiempo mediante inspecciones planeadas y programadas con el evitar paradas o fallas inesperadas.

En forma general un mantenimiento preventivo debe considerar dos aspectos importantes como lo son:

- Inspecciones periódicas de los elementos y componentes de un sistema y del conjunto completo para identificar posibles y latentes condiciones de falla.
- Acciones correctivas basadas en los resultados de las inspecciones para evitar la falla y prevenir daños mayores o paradas totales.

Es posible clasificar el mantenimiento preventivo de forma general así:

Figura 8: Clasificación típica del mantenimiento preventivo



Fuente: DUFFUAA, Salih. Sistemas de mantenimiento planeación y control. Mexico Limussa, 2002

Algunos de los múltiples beneficios y valores agregados a un plan de mantenimiento preventivo son los siguientes:

- Disminuye el número de paradas inesperadas
- Reduce el número de reparaciones correctivas repetidas
- Mantiene y en ocasiones incrementa los niveles de producción y calidad en los productos.
- Reduce y permite optimizar los inventarios
- Eliminación de los denominados reemplazos prematuros

- Reduce costos por mano de obra ocasionada por reparaciones imprevistas.
- Aumenta los niveles de seguridad en las operaciones, maquinaria y personal

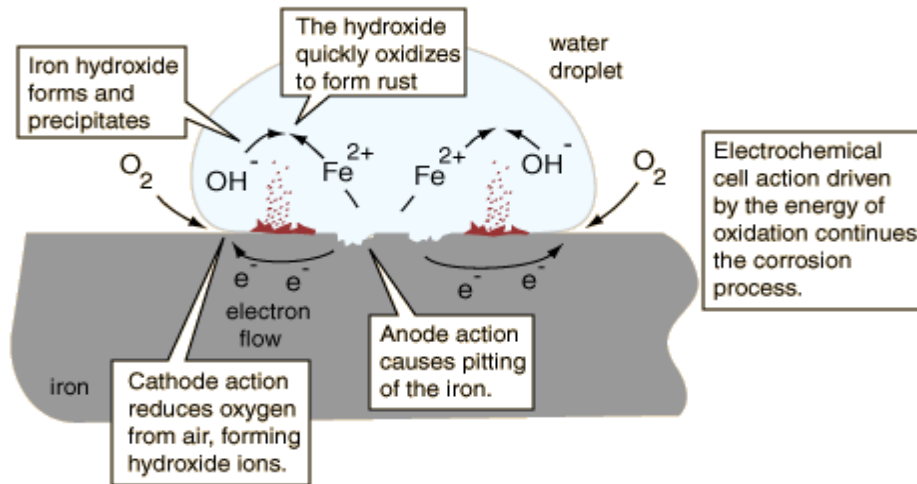
Para la implementación de un programa de mantenimiento preventivo es necesario que se desarrolle paso a paso y por sectores, integrando de manera paulatina todas y cada una de las áreas hasta alcanzar un plan de mantenimiento completo y específico para cada equipo y componente.

2.3. FUNDAMENTOS DE CORROSIÓN Y SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA

2.3.1. Corrosión: El fenómeno conocido como corrosión está definido por el peabody's "control of pipeline corrosión" como la degradación de un material a través de la interacción con el medio ambiente.

El proceso de corrosión en metales es una reacción electroquímica en la cual se genera una transferencia de electrones entre las regiones anódicas y catódicas del mismo, propiciando el deterioro en la zona anódica del metal y afectando sus estructuras moleculares y características.

Figura 9 : Proceso de corrosión exterior en metales



Fuente: Hill, John W. and Kolb, Doris K., Química for Changing Times, 9th Ed., Prentice Hall, 2001

El efecto de la corrosión como proceso destructivo de los metales generalmente conlleva a realizar mantenimientos correctivos los cuales aplicados al sector de hidrocarburos resulta en costos elevados de mantenimiento, disminución de la disponibilidad y capacidad de equipos y estructuras.

Tradicionalmente se utilizan dos técnicas de mitigación y protección contra efectos de corrosión exterior, la primera basada en la aplicación de recubrimientos y la segunda mediante la técnica conocida como protección catódica.

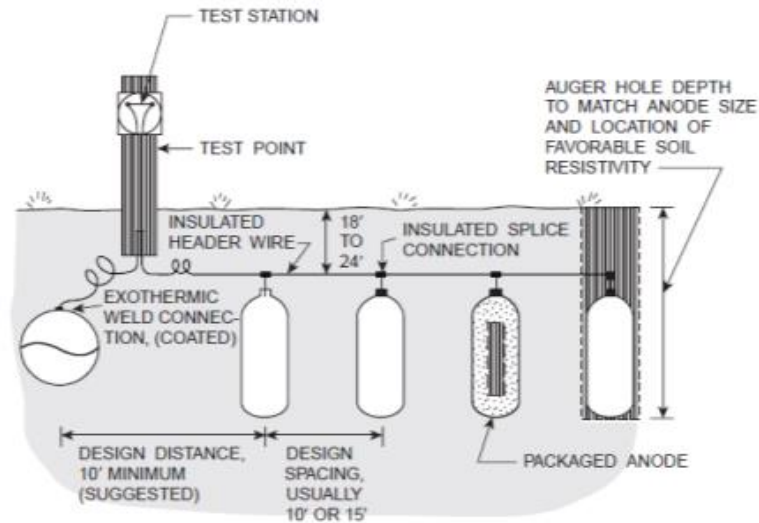
2.3.2. Protección catódica: Protección catódica es una técnica que permite reducir la corrosión en la superficie de un metal transformado la superficie del metal en el cátodo de una celda de corrosión electroquímica. Existen diferentes técnicas de protección catódica como lo son:

- Protección por ánodos de sacrificio
- Protección catódica por corriente impresa

- Protección catódica por corriente generada mediante otras fuentes de energía

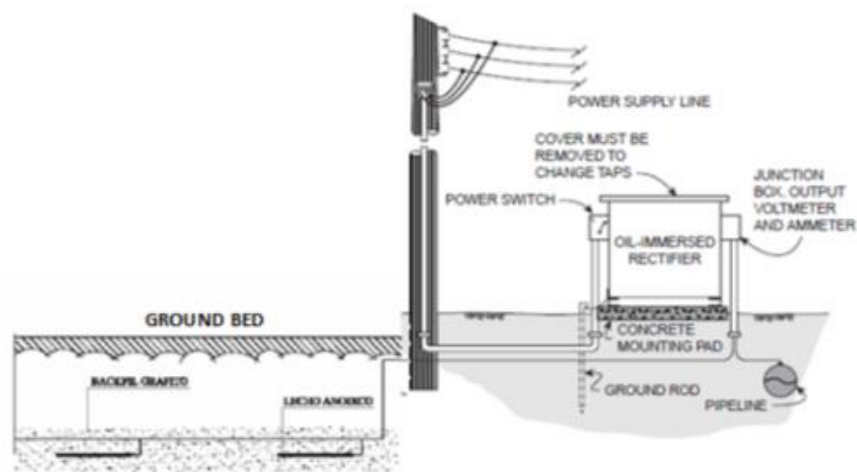
Sin embargo el método comúnmente más utilizado es el conocido como protección catódica por corriente impresa.

Figura 10: Esquema de un SPC mediante Ánodos de sacrificio



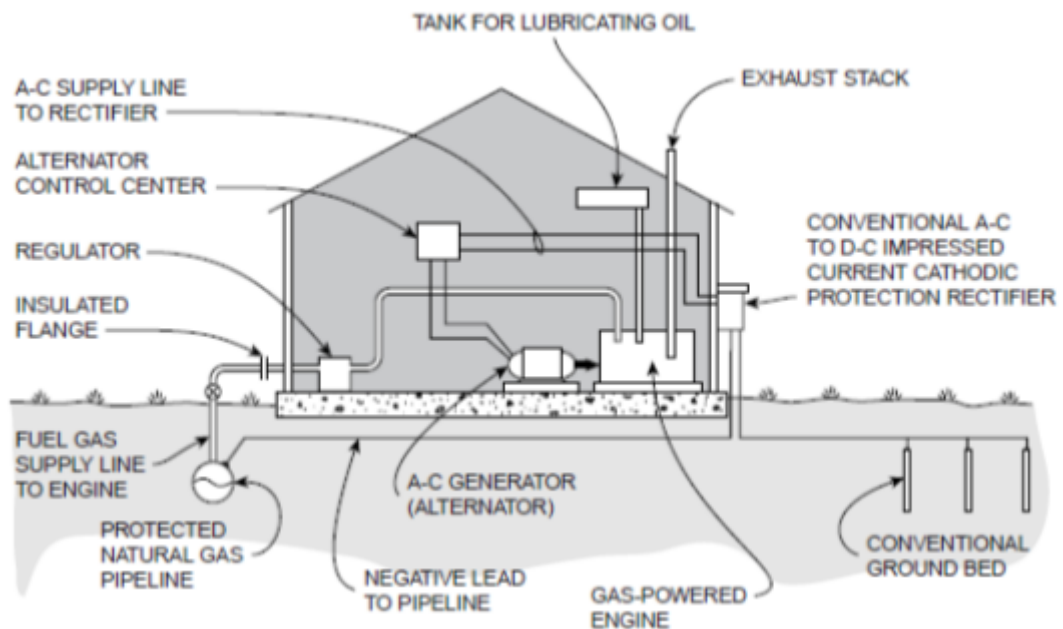
Fuente: NACE International. PEABODY'S Control of pipeline corrosión 2º Ed, RONALD L. BIANCHETTI, Houston, Texas 2001

Figura 11: Esquema de un SPC mediante corriente impresa



Fuente: NACE International. PEABODY'S Control of pipeline corrosión 2º Ed, RONALD L. BIANCHETTI, Houston, Texas 2001

Figura 12: Esquema de un SPC mediante otras fuentes de generación de energía



Fuente: NACE International. PEABODY'S Control of pipeline corrosion 2° Ed, RONALD L. BIANCHETTI, Houston, Texas 2001

Para garantizar que los niveles de protección catódica en una estructura o tubería son óptimos, NACE International, The Corrosion Society, establece tres criterios de protección, los cuales se basan en la medición de los niveles de potencial de la estructura respecto de un electrodo de referencia, comúnmente de cobre sulfato de cobre.

Criterios del estándar NACE SPO 169-07 para protección catódica.

“Un potencial negativo (catódico) de al menos 850 milivoltios con la corriente de protección catódica aplicada. Este potencial se mide contra un electrodo de referencia de cobre-sulfato de cobre saturado en contacto con el electrolito”⁵.

⁵ NACE International, Satabdar practice SPO 169, Control of external corrosion underground or submerged metallic piping system 2007

“Un potencial polarizado negativo de al menos 850 milivoltios con respecto a un electrodo de referencia de cobre-sulfato de cobre saturado (potencial denominado como Instant Off)”⁶.

“Un mínimo de 100 milivoltios de polarización catódica entre la superficie de la estructura y un electrodo de referencia estable en contacto con el electrolito. A fin de satisfacer este criterio, puede medirse la formación o la pérdida de la polarización”.⁷

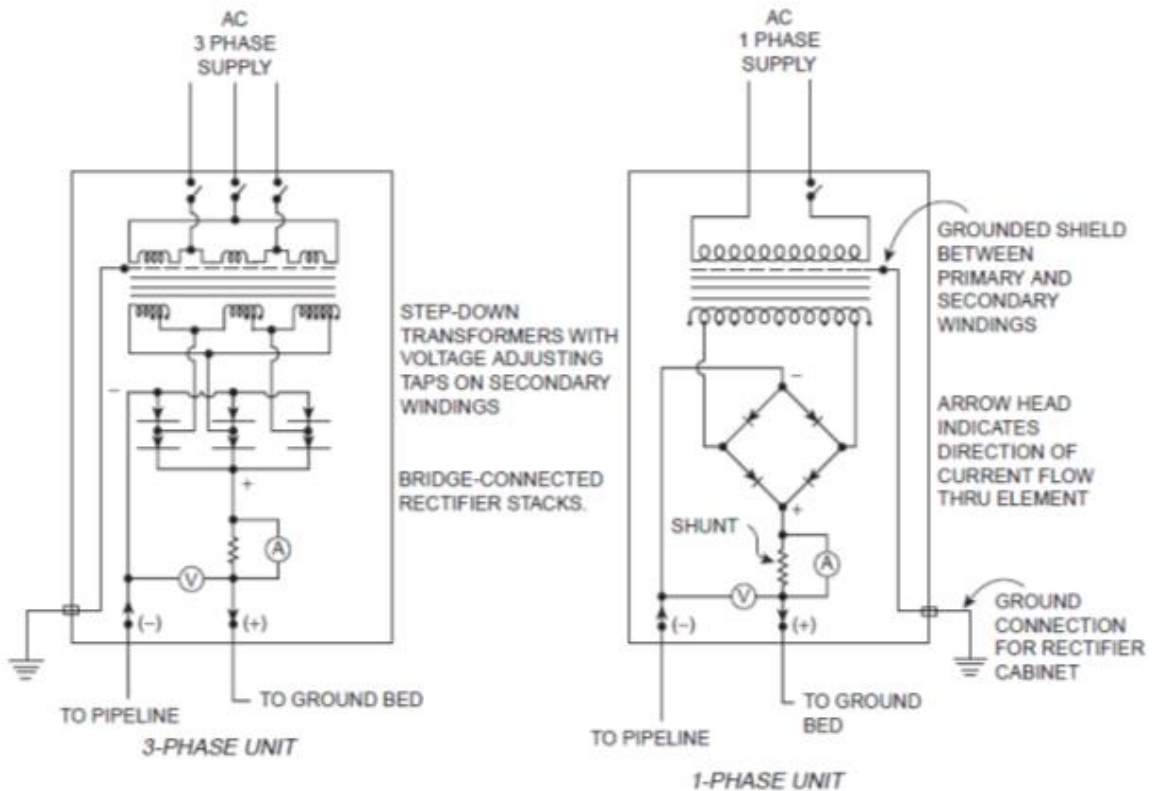
2.3.3. Unidad rectificadora de protección catódica: Las unidades rectificadoras de protección catódica (URPC) son quizás el principal componente de un sistema de protección catódica por corriente impresa. Típicamente incluyen transformadores que reducen el voltaje aplicado en la bobina primaria generando un bajo voltaje en el secundario, sin embargo debido a la configuración de los TAPS este nivel de voltaje en la salida se puede variar según la necesidad que se tenga y dependiendo del nivel de corriente que manejen, se pueden encontrar URPC refrigeradas por aire o aceite.

Existen comercialmente rectificadores de media onda y rectificadores de onda completa, los cuales se diferencian por el voltaje de alimentación y la configuración del puente rectificador de diodos de potencia que tienen.

⁶NACE International, Satabdar practice SPO 169, Control of external corrosion underground or submerged metallic piping system 2007

⁷ NACE International, Satabdar practice SPO 169, Control of external corrosion underground or submerged metallic piping system 2007

Figura 13: Diagrama eléctrico rectificador de media onda y onda completa



Fuente: Kernal Nisanciogiu. Cathodic Protection, Rev. Material Performance. Diciembre, 1984

Adicional al transformador y puente rectificador de diodos que generalmente son de silicio, las unidades rectificadoras de protección catódica cuentan con elementos de protección contra sobre tensiones, cortocircuitos, instrumentación para medición de variables eléctricas resistencias variables y de precisión y en algunos casos con unidades de monitoreo remoto.

El funcionamiento general de una URPC es básicamente transformar la energía eléctrica de alimentación AC de la red comercial en corriente directa DC conectando la salida negativa del puente de diodos a la estructura que se pretende proteger (tubería o tanque) y la salida positiva a los ánodos de sacrificio, formando una celda electroquímica con el medio en el cual la estructura está enterrada.

Figura 14: Típico de una unidad rectificadora de protección catódica



2.3.4. Ánodos de sacrificio

Se denomina ánodos de sacrificio al material que se destina para ser consumido por el proceso de la corrosión en un sistema de protección catódica y el cual debe ser específicamente más electronegativo que el material de la estructura protegida.

Comúnmente se utilizan en los sistemas de protección catódica por corriente impresa ánodos de sacrificio de grafito, aleaciones de hierro de alto silicio y cromo, MMO (Mixed Metal Oxide), Platino y Niobio Platinizado denominados ánodos permanentes y generalmente son depositados en un medio adecuado con depósitos de Backfill, el cual reduce la resistividad del medio en el cual se encuentran los ánodos y facilita el flujo de corriente a través del circuito electroquímico que se forma entre la estructura protegida, electrolito y ánodos de sacrificio.⁸

⁸ Conoco Pipeline and Conoco INC. And associate assets. Cathodic protection Data Management CPDM. Houston 202.

Tabla 1: Ánodos más comunes utilizados en sistemas de corriente impresa

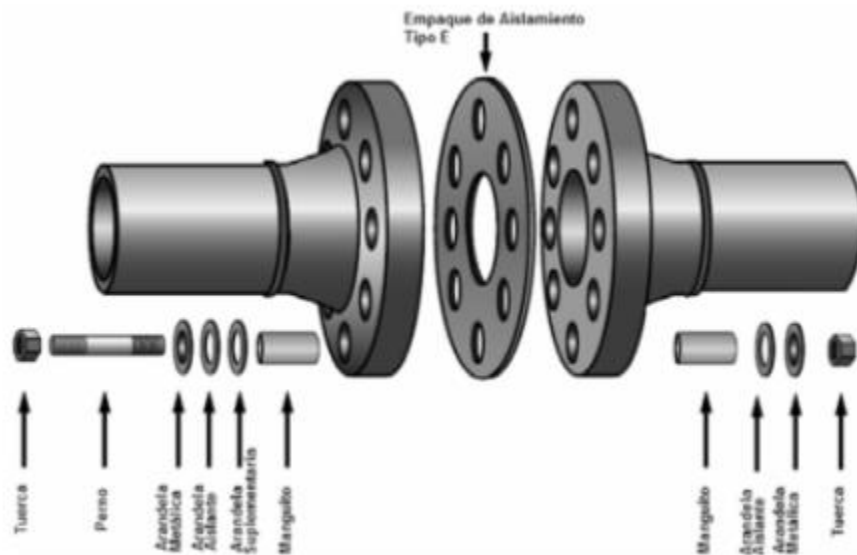
TIPO DE ÁNODO	USOS Y COMENTARIOS	RELLENO
Sacrificial	Pueden ser conectados a una fuente externa y descargar corriente pero su tiempo de vida es corto.	75% yeso hidratado 20% bentonita 5% sulfato de sodio
Acero	Se puede utilizar cualquier acero expuesto enterrado, como tuberías viejas, chatarra o partes de estructuras metálicas viejas.	Ninguno
Fe al Cr con alto contenido de silicón	Uno de los más comunes utilizados para ductos y plantas	Coque activado
MMO	Hecho de Ti y recubierto con óxido de metal, diseñados para cierto tiempo de vida con tasas de corrosión muy bajas. Más ligero que la mayoría de los ánodos	Coque activado o agua de mar
Anodflex (Ánodo continuo)	Bueno para estructuras con recubrimiento pobre, suelo de alta resistividad	Coque activado

Fuente: Gestión de mantenimiento de SPC para control de corrosión en tuberías enterradas. UIS 2000

2.3.5. Elementos adicionales y complementarios al sistema de protección catódica

2.3.5.1. Aislamiento eléctrico y cruces encamisados: Como componentes adicionales de un sistema de protección catódica se encuentran las denominadas juntas de aislamiento eléctrico o kits de aislamiento y los cruces encamisados. El Kit de aislamiento eléctrico consiste en un empaque para sello mecánico entre juntas bridadas y a su vez como aislante eléctrico entre secciones de tubería o en lugares con presencias de accesorios como válvulas o cheques.

Figura 15: Diagrama de junta bridada con kit de aislamiento eléctrico



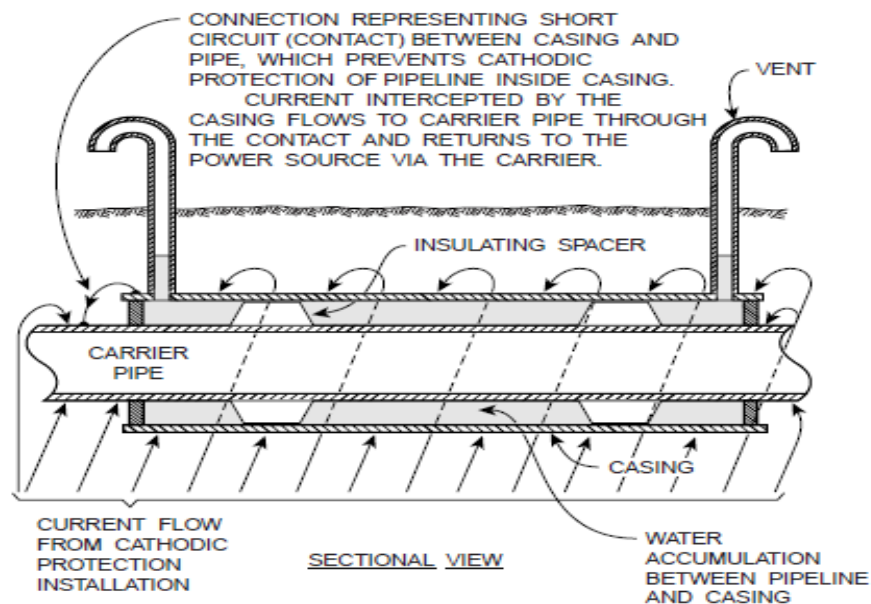
Fuente: http://www.tecnologiatotal.net/Kit_Aislamiento.pdf

Este accesorio consiste en un empaque de material aislante, arandelas metálicas y arandelas aislantes, un juego de manguitos que impide el contacto de los pernos con de las brida y sus respectivas tuercas.

Su selección depende características tales como tipo de tubería, diámetro nominal y rating dependiendo de las condiciones de diseño de cada oleoducto

El segundo elemento complementario de un sistema de protección catódica se denomina “casing” y hace referencia a los elementos instalados en cruces especiales como pueden ser cruces de vías y en donde la tubería se encuentra protegida por una sección de tubo de diámetro mayor y separada por espaciadores o aisladores de material aislante que garantizan la separación entre tubo y camisa para evitar que por efectos de contacto directo entre estos, se presente deterioro en el recubrimiento de la tubería y se originen fugas de corriente del sistema de protección catódica generando puntos localizados de corrosión. Adicional a los separadores el espacio entre camisa y encamisado puede ser rellenado con una solución inhibidora de corrosión.⁹

Figura 16: Diagrama típico de cruces encamisados



Fuente: NACE International the corrosion Society Peabody's, CONTROL OF PIPELINE CORROSION

⁹ NACE International the corrosion Society Peabody's, CONTROL OF PIPELINE CORROSION. Edited By Bianchetti, Ronald L. Second Edition. Houston Texas 2001. 347 P

2.3.5.2. Estaciones de monitoreo de niveles de potencial: Las estaciones de prueba son elementos ubicados a lo largo de las líneas o estructuras a proteger, generalmente distribuidos cada kilómetro para líneas de transporte de hidrocarburos y para el caso de los tanques de almacenamiento se encuentran localizadas alrededor del mismo. Dichas estaciones de prueba contienen terminales conectados a la estructura los cuales tienen la finalidad de permitir una medición de niveles de potenciales en diferentes puntos para conocer el estado de la protección catódica del sistema, son utilizados para realizar las inspecciones ON/OFF en los oleoductos y como punto de intermedios para conexión en las pruebas CIPS Y DCVG.

2.3.5.3. Recubrimientos: El elemento adicional y quizás el más importante que ayuda a mitigar los problemas de corrosión exterior y que trabaja como complemento en un sistema de protección catódica es el material de recubrimiento de las tuberías, ya que depende de este y su estado que existan o no fugas de la corriente de protección catódica y que al final determinan la eficiencia global del sistema. Teniendo en cuenta también que dependiendo del tipo de recubrimiento se requiere en mayor o menor medida la corriente que se debe suministrar al sistema de tuberías ya que la densidad de corriente que demanda una tubería para ser protegida varía dependiendo del tipo de recubrimiento.

Tabla 2 : Clasificación de recubrimientos típicos utilizados de acuerdo a densidad promedio de corriente

Tipo de recubrimiento	Densidad promedio de corriente (A/m²)
Asfalto, alquitrán de hulla, brea	300 a 1500
Cintas de mil	25 a 200
Polietileno extruido	10 a 75
Epóxido adhesivo por fusión	25 a 100

Fuente: Gelves, Iván. Gestión de mantenimiento y monitoreo de sistemas de protección catódica para el control de la corrosión externa en tuberías metálicas enteradas

2.4. MARCO LEGAL Y NORMATIVO

Las actividades, técnicas de inspección y metodologías utilizadas para evaluar la eficiencia de los sistemas de protección catódica, así como las frecuencias se establecen de acuerdo a estándares internacionales, buenas prácticas y procedimientos establecidos a nivel internacional, así como las regulaciones del sector establecidas para Colombia.

En el marco de la regulación colombiana, la NTC 5901_12 - Gestión de Integridad de Sistemas de Tubería para Transporte de Líquidos Peligrosos, determina los lineamientos de las empresas de hidrocarburos en temas de integridad, abarcando los sistemas de protección catódica como una de las técnicas para el control de la corrosión exterior

Algunos de los estándares y normatividad aplicada al sector son los siguientes:

Tabla 3: Regulaciones internacionales de inspección para tuberías de transporte de hidrocarburos y sistemas de protección catódica

Ensayos, Relevamientos e Inspecciones

Estructura	Regulación/Standard	Almacenamiento
USA*		
Tubería de gas	Title 49 CFR Part 192.465(a) and (e)	Vida útil de la tubería
Tubo con líquidos Peligrosos	Title 49 CFR Part 195.416(a)	Vida útil de la tubería
Tanques enterrados	Title 40 CFR Part 280.34	Vida útil de la tubería
Tanques sobre nivel	API RP 651	5 años
Canadá	CSA Z662 (CGA OCC-1)	Vida útil de la tubería
Europa	ISO 15589 Part 1	

Registros de Pérdidas

Estructura	Regulación Federal	Almacenamiento
USA		
Tubería de gas	Title 49 CFR Part 191.23(a)(1)	Vida útil de la tubería
Tubería de gas	Title 49 CFR Part 192	
Tubo con líquidos peligrosos	Title 49 CFR Part 195.55 (a)(1)	Vida útil de la tubería
Tubo con líquidos peligrosos	Title 49 CFR Part 195.404(c)(1)(2)	
Canadá	CSA Z662	Vida útil de la tubería
Europa	ISO 15589 Part 1	

Inspecciones a la Tubería

Estructura	Regulación/Standard	Almacenamiento
USA		
Tubería de gas	Title 49 CFR Part 192.491	Vida útil de la tubería
Tubo con líquidos peligrosos	Title 49 CFR Part 195	Vida útil de la tubería
Canadá	CSA Z662	Vida útil de la tubería
Europa	ISO 15589 Part 1	

Ubicación de Instalaciones de Protección Catódica

Estructura	Regulación/Standard	Almacenamiento
USA		
Tubería de gas	Title 49 CFR Part 192.491	Vida útil de la tubería
Tubo con líquidos peligrosos	Title 49 CFR Part 195.266(f)	Vida útil de la tubería
Canadá	CSA Z662 (CGA cOCC-1)	Vida útil de la tubería

Fuente: NACE

International CP2 Cathodic Protection Technician, Manual de curso Julio de 2008

Tabla 4: Intervalos sugeridos como buenas practicas para inspecciones típicas reguladas de acuerdo a estándares y normatividad internación

Regulación o Standard	Frecuencia de Relevamiento Detallado	Frecuencia de Inspección de Rectificadores	Control de Puentes de Drenaje para Controlar la Interferencia
USA DOT 49CFR192 DOT 49CFR195	Una vez por año calendario, sin exceder intervalo de 18 meses	Seis veces al año, sin exceder intervalo de 2½ meses	Seis veces al año, sin exceder intervalo de 2½ meses
Canadá CSA Z662 (CGA OCC-1)	Anual	Mensual, sin exceder las 6 semanas	Bimestral
Europa ISO 15589 Parte 1	Instant OFF anual, excepto en sistemas estables, en que puede extenderse a una vez cada 3 años con potenciales ON entretanto	1 a 3 meses, dependiendo de las condiciones, como descargas atmosféricas, corrientes vagabundas, construcción	Mensual
Pueden considerarse mediciones menos frecuentes en base a resultados de relevamientos especializados			
Práctica de Industria NACE Standard SP0169	Anual. Periodos más o menos largos, según factores de seguridad, etc.	Bimestral	Bimestral

Fuente: NACE International CP2 Cathodic Protection Technician, Manual de curso Julio de 2008

Algunas de las normas y estándares internacionales relacionados con los sistemas de protección catódica, operación y mantenimiento de los mismos son:

- NACE SP0169-2007, Standard Practice Control Of External Corrosion on Underground of Submerged Metallic Piping Systems
- NACE SP0207-2007, Performing Close-Interval Potential Surveys and DC Surface Potential Gradient Surveys on Buried or Submerged Metallic Pipelines.
- DOT CFR 195 – Transportation Of Hazardous Liquids By Pipeline – Subpart H
- NACE SP0607-2007, Petroleum and Natural Gas Industries Cathodic Protection of Pipeline Transportation System.
- NACE TM0497-2002, Measurement Techniques Related to Criteria for Cathodic Protection on Underground or Submerged Metallic Piping Systems.
- NACE RP 0286-97 Electrical Isolation of Cathodically Protected Pipelines.
- NACE RP 0285-2002, Corrosion Control of Underground Storage Tanks Systems by Cathodic Protection.
- NACE RP 0193-2001, External Cathodic Protection of On-Grade Carbon Steel Storage Tanks Bottoms.
- API RP 1632 Third Edition, May 1996. Cathodic Protection of Underground Petroleum Storage Tanks and Piping System

3. SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA DEPARTAMENTO O&M CASANARE

Como actividades preliminares para el diseño del modelo de gestión de mantenimiento es necesario realizar el levantamiento de información en campo para establecer las características de cada uno de los equipos y sistemas para líneas y tanques.

3.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA

Mediante inspecciones, visitas a cada una de las plantas y líneas, revisión del sistema de información Ellipse y revisión de documentación existente en el departamento se identifican los SPC y el estado de operación los mismos.

Los sistemas de protección catódica del departamento son todos mediante la técnica denominada corriente impresa y se tienen 12 sistemas de protección catódica en operación distribuidos de la siguiente manera:

- 1 sistema de protección catódica compuesto por 3 URPC y estaciones de prueba ubicadas cada kilómetro a lo largo del trazado para el Oleoducto Arguaney – El Porvenir

Figura 17: URPC y estaciones de prueba sistema de protección catódica oleoducto Araguaney – El Porvenir



- 1 sistema de protección catódica compuesto por 2 URPC y estaciones de prueba ubicadas cada 2 kilómetros a lo largo del trazado para el oleoducto Santiago – El Porvenir

Figura 18: URPC y estaciones de prueba sistema de protección catódica oleoducto Santiago – El Porvenir



- 4 sistemas de protección catódica compuestos cada uno por 1 URPC por tanque en la Planta Altos El Porvenir; 3 tanques de almacenamiento de crudo y 1 de agua contraincendios. Cada SPC cuenta con 4 estaciones de prueba ubicadas alrededor de los tanques

Figura 19: URPC sistema de protección catódica tanques de almacenamiento planta Altos El Porvenir



- 3 sistemas de protección catódica compuestos cada uno por 1 URPC por cada tanque en la Planta Monterrey. 2 tanques de almacenamiento de crudo y uno de Nafta. Con una estación de prueba cada uno de los SPC
-

Figura 20: URPC sistemas de protección catódica tanques TQ 85 01 T TK 3501



- 1 sistema de protección catódica compuesto por 2 URPC; una URPC para los tanques N° 1 y 4 y una URPC para los tanques N° 2, 3 y Relevo del descargadero de la planta Monterrey. Compuestos por una estación de prueba para cada tanque.

Figura 21: URPC sistemas de protección catódica tanques 01, 02, 03, 04 y TR 05 descargadero Planta Monterrey



- 1 sistema de protección catódica compuesto por 2 URPC y estaciones de prueba ubicadas cada kilómetro a lo largo del trazado para el Poliducto andino para el segmento Miraflores – Monterrey

Figura 22 : URPC y estaciones de prueba sistema de protección catódica poliducto



- 1 sistema de protección catódica compuesto por 1 URPC y estaciones de prueba ubicadas cada kilómetro a lo largo del trazado para el oleoducto Apiay-El Porvenir para el segmento Monterrey – Altos El Porvenir

Figura 23: URPC y estaciones de prueba sistema de protección catódica oleoducto API-EPO segmento Monterrey – Altos de Porvenir



Actualmente el departamento Casanare cuenta con 12 sistemas de protección catódica activas, todos mediante la técnica de corriente impresa y en operación, 10 sistemas de protección catódica en construcción para los fondos de los tanques de la planta Araguaney y El Porvenir.

Tabla 5: Sistemas de protección catódica departamento O&M Casanare

	INFRAESTRUCTURA PROTEGIDA	COMPONENTES DEL SISTEMA
Altos el Porvenir	TK 5104 - 170 KBls (Crudo)	1 URPC y 6 estaciones de prueba
	TK 5102 - 150 KBls (Crudo)	1 URPC y 6 estaciones de prueba
	TK 5103 - 150 KBls (Crudo)	1 URPC y 6 estaciones de prueba
	K 520 20 KBls (Agua)	1 URPC y 6 estaciones de prueba
El Porvenir	En construcción 5 sistemas (tanques principales)	5 URPC cada una con 3 estaciones de prueba
Monterrey	TK 3501 - 3000 Bls (Crudo)	1 URPC y 1 estación de prueba
	TQ 8501 - 5000 Bls (Nafta)	1 URPC y 1 estación de prueba
	Relevo Mon III 3000 Bls (crudo)	1 URPC y 1 estación de prueba para cada tanque
Descargadero Monterrey	TK 01 Y TK 04 20000 Bls (Crudo)	1 URPC y 1 estación de prueba para cada tanque
	TK 02, 03 y TR 05	1 URPC y 1 estación de prueba para cada tanque
Araguaney	En construcción 5 sistemas para cada uno de los tanques principales y un sistema adicional para tubería del sistema contraincendios	5 URPC cada una con 1 estaciones de prueba alrededor de cada tanque y 1 URPC con dos estaciones de prueba para la tubería de agua contraincendios
Oleoducto Santiago -El Porvenir	Tubería de 10 " 80 Km	2 URPC y 40 estaciones de prueba
oleoducto Araguaney - El Porvenir	Tubería de 14/12 " 104 Km	3 URPC y 120 estaciones de prueba aproximadamente
Oleoducto Monterrey - Altos el porvenir	Tubería de 20 " 6 Km	1 URPC y 6 estaciones de prueba
Poliducto Andino Miraflores – Monterrey	Tubería de 12 " 60 Km	2 URPC y 60 estaciones de prueba

Protección catódica suministrada a 22 tanques de almacenamiento y aproximadamente 252 Km de tuberías

Tabla 6: Información técnica y datos operacionales de los rectificadores de protección catódica para tanques del departamento

TK 3501		RELEVO MONTERREY III		TK 5103	
MARCA:	PROT. CATODICA	MARCA:	SENERGY AUPPLY	MARCA:	SENERGY
MODELO:	PCC-RM-30-5	MODELO:	ASZ 20-5BA	MODELO:	70-56BC
SERIE:	39,322	SERIE:	SS REC 314/10	SERIE:	NT
VAC:	110/220	VAC:	220/480	VAC:	240/480
IAC:	04/02 A	IAC:	0,6/0,3	IAC:	12.2/6.1
VDC:	30	VDC:	20	VDC:	70
IDC:	5	IDC:	5	IDC:	65
FASES:	2	FASES:	1	FASES:	3
ENFRIAMIENTO:	AIRE	ENFRIAMIENTO:	AIRE	ENFRIAMIENTO:	ACEITE
DIODOS:	4	DIODOS:	4	DIODOS:	6
FUSIBLES:	2	FUSIBLES:	1	FUSIBLES:	2
SHUNT:	50mV 50A	SHUNT:	50mV 50A	SHUNT:	60mV/60A
TQ 8501		TK 01 Y 04		TK 5102	
MARCA:	TECN. TOTAL	MARCA:	PROT. CATODICA	MARCA:	SENERGY
MODELO:	ASZ20 10AAM45	MODELO:	PCC-RM-20-15	MODELO:	76-56 BC
SERIE:	386217	SERIE:	39421	SERIE:	NT
VAC:	110/220	VAC:	110/220	VAC:	240/480
IAC:	26/13	IAC:	26/13	IAC:	12.2/6.1
VDC:	20	VDC:	20	VDC:	70
IDC:	10	IDC:	15	IDC:	56
FASES:	1	FASES:	2	FASES:	3
ENFRIAMIENTO:	AIRE	ENFRIAMIENTO:	AIRE	ENFRIAMIENTO:	ACEITE
DIODOS:	4	DIODOS:	4	DIODOS:	6
FUSIBLES:	1	FUSIBLES:	1	FUSIBLES:	2
SHUNT:	10mV 10A	SHUNT:	50mV 50A	SHUNT:	100mV/100A

TK 02, 03 Y TR 05		K 520		TK 5104	
MARCA:	PROT. CATODICA	MARCA:	SENERGY	MARCA:	TECN. TOTAL
MODELO:	PCC-RM-20-15	MODELO:	48-20 BC	MODELO:	SZ-7060-BAT45
SERIE:	39420	SERIE:	NT	SERIE:	386179
VAC:	110/220	VAC:	240/480	VAC:	240/480
IAC:	26/13	IAC:	30/15	IAC:	140/70
VDC:	20	VDC:	48	VDC:	70
IDC:	15	IDC:	20	IDC:	60
FASES:	2	FASES:	3	FASES:	3
TIPO ENFRIAMIENTO:	AIRE	TIPO ENFRIAMIENTO:	ACEITE	TIPO ENFRIAMIENTO:	ACEITE
DIODOS:	4	DIODOS:	10 v X 70 Amp	DIODOS:	6
FUSIBLES:	1	FUSIBLES:	3	FUSIBLES:	2
SHUNT:	50mV 50A	SHUNT:	50/50	SHUNT:	100mV 100A

Tabla 7: Información técnica y datos operacionales de los rectificadores de protección catódica para oleoductos del departamento

OLEODUCTO ARAGUANAY - EL PORVENIR					
MARCA:	GOOD-ALL ELECTRIC	MARCA:	GOOD-ALL ELECTRIC	MARCA:	GOOD-ALL ELECTRIC
MODELO:	CTOYSL 100-40 GUZ	MODELO:	CRAYSL 80-50 E3UZ	MODELO:	CRAYSL 80-50 E3UZ
SERIE:	96H2126	SERIE:	98H1108	SERIE:	98H1108
VAC:	120/208/240	VAC:	120/208/240	VAC:	120/208/240
IAC:		IAC:		IAC:	
VDC:	100	VDC:	80	VDC:	80
IDC:	40	IDC:	50	IDC:	50
FASES:	1	FASES:	1	FASES:	1
TIPO ENFRIAMIENTO:	ACEITE	TIPO ENFRIAMIENTO:	AIRE	TIPO ENFRIAMIENTO:	AIRE
DIODOS:		DIODOS:		DIODOS:	
FUSIBLES:		FUSIBLES:		FUSIBLES:	
SHUNT:	50mV 50A	SHUNT:	50mV 50A	SHUNT:	50mV 50A
TRANSFORMADOR		TRANSFORMADOR		TRANSFORMADOR	
MARCA:		MARCA:	SIEMENS	MARCA:	SIEMENS
V 1:		V 1:		V 1:	
V 2:		V 2:		V 2:	
KVA:		KVA:	15	KVA:	15
FASES:		FASES:		FASES:	
MEDIDOR DE ENERGIA		MEDIDOR DE ENERGIA		MEDIDOR DE ENERGIA	
MARCA:	<i>ISKRA</i>	MARCA:	<i>PAFAL</i>	MARCA:	<i>PAFAL</i>
TIPO:	<i>D37E2</i>	TIPO:	<i>B52Kd</i>	TIPO:	<i>B52Kd</i>
SERIE:		SERIE:	<i>10708059</i>	SERIE:	<i>10708059</i>
NÚM ERO:	<i>23774262</i>	NÚM ERO:	<i>Bifasico trifilar</i>	NÚM ERO:	<i>Bifasico trifilar</i>
COMERCIALIZADORA ENERGIA		COMERCIALIZADORA ENERGIA		COMERCIALIZADORA ENERGIA	
EMPRESA:	<i>ENERCA</i>	EMPRESA:	<i>ENERCA</i>	EMPRESA:	<i>EBSA</i>
NOMBRE CTA:	<i>ECOPETROL</i>	NOMBRE CTA:	<i>ECOPETROL</i>	NOMBRE CTA:	<i>ECOPETROL</i>
NUMERO CTA:	<i>459967658</i>	NUMERO CTA:	<i>48650515</i>	NUMERO CTA:	<i>486505176</i>
OLEODUCTO SANTIAGO - EL PORVENIR				MONTERREY - AALTOS DE PORVENIR	
MARCA:	GOOD-ALL	MARCA:	TECNOLOGIA	MARCA:	POTECCION

	ELECTRIC		TOTAL		CATODICA
MODELO:	CRAYSL 80-50 E3UZ	MODELO:	ASZ 110 - 35 AA	MODELO	PCC-RM-80-20
SERIE:	98H1108	SERIE:	386.168	SERIE	39
VAC:	120/208/240	VAC:	120/220	VAC	110/220
IAC:		IAC:	50/25	IAC	14,5/7,2 A
VDC:	80	VDC:	110	VDC	80
IDC:	50	IDC:	35	IDC	20
FASES:	1	FASES:	1	FASES	2
TIPO ENFRIAMIENTO:	AIRE	TIPO ENFRIAMIENTO:	AIRE	TIPO	AIRE
DIODOS:		DIODOS:	4	DIODOS	
FUSIBLES:		FUSIBLES:	2	FUSIBLES	
SHUNT:	50mV 50A	SHUNT:	50 mV-50 A	SHUNT	
TRANSFORMADOR		TRANSFORMADOR		TRANSFORMADOR	
MARCA:	SIEMENS	MARCA:	EL WATIO	MARCA:	SIEMENS
V 1:		V 1:	110	V 1:	
V 2:		V 2:	35	V 2:	
KVA:	15	KVA:	3,850 KVA	KVA:	3,5
FASES:		FASES:	1	FASES:	
MEDIDOR DE ENERGIA		MEDIDOR DE ENERGIA		MEDIDOR DE ENERGIA	
MARCA:	<i>PAFAL</i>	MARCA:		MARCA:	<i>PAFAL</i>
TIPO:	<i>B52Kd</i>	TIPO:		TIPO:	<i>B52Kd</i>
SERIE:	<i>10708059</i>	SERIE:		SERIE:	<i>10708059</i>
NÚM ERO:	<i>Bifasico trifilar</i>	NÚM ERO:		NÚM ERO:	<i>Bifasico trifilar</i>
COMERCIALIZADORA ENERGÍA		COMERCIALIZADORA ENERGÍA		COMERCIALIZADORA ENERGÍA	
EMPRESA:	<i>EBSA</i>	EMPRESA:	<i>ENERCA</i>	EMPRESA:	
NOMBRE CTA:	<i>ECOPETROL</i>	NOMBRE CTA:		NOMBRE CTA:	
NUMERO CTA:	<i>486505176</i>	NUMERO CTA:		NUMERO CTA:	

4. MODELO PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA.

Mediante la aplicación de un ciclo PHVA se establece un modelo de gestión de mantenimiento el cual incluye componentes estratégicos operativos y responsables con tareas definidas para cada segmento del modelo.

Un punto muy importante para el correcto desarrollo del modelo de gestión propuesto radica en el liderazgo a partir del jefe de departamento y coordinador de mantenimiento que se debe transmitir a las diferentes áreas y a su vez la gestión que se realice ante la gerencia para la consecución de recursos humanos, tecnológicos y la asignación de presupuesto para las actividades de mantenimiento destinada a los programas de integridad y control de corrosión exterior y más específicamente al de protección catódica.

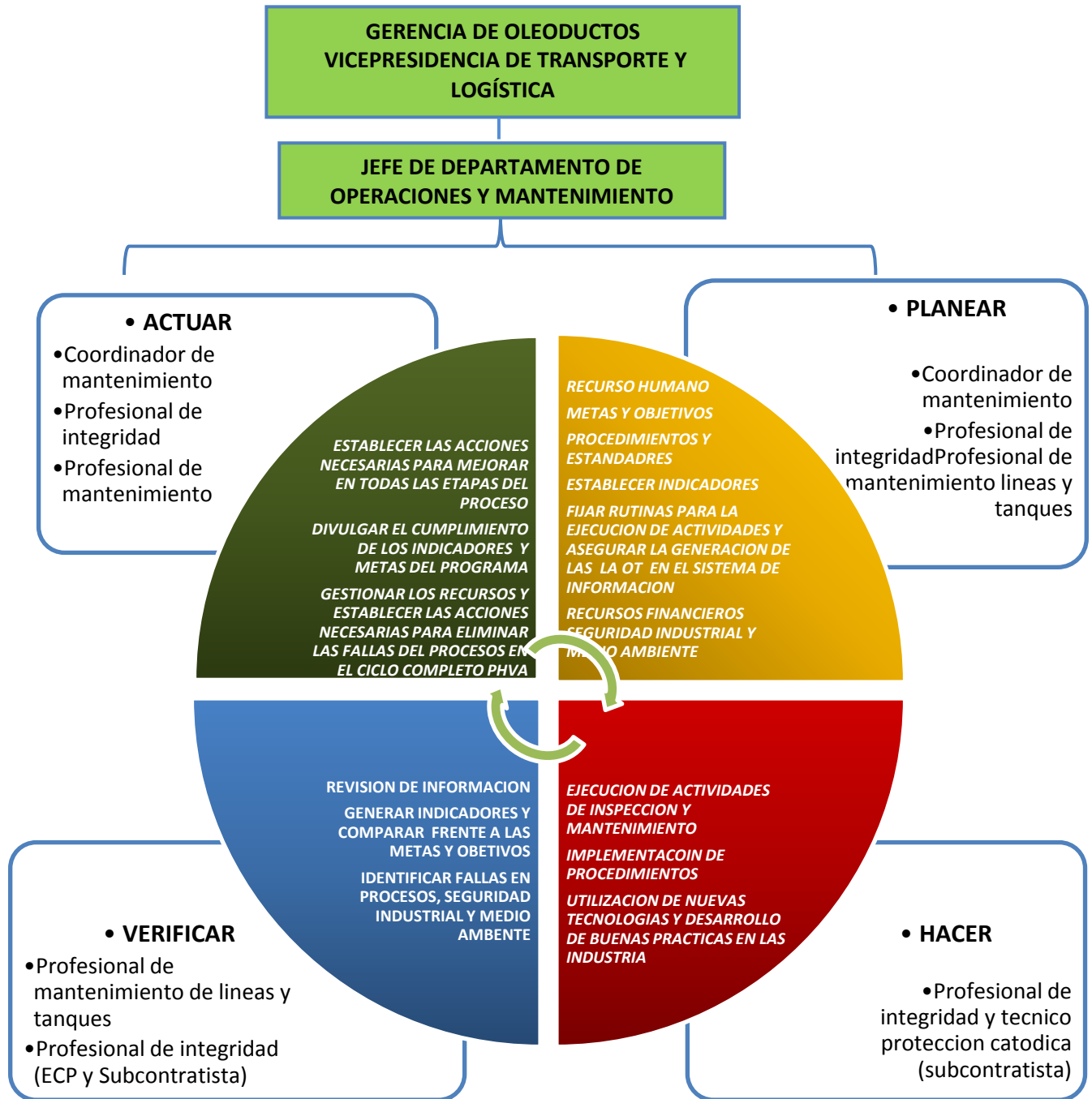
Como parte importante encaminada al aseguramiento técnico de todas las actividades y orientada al cumplimiento de estándares internacionales debe ser considerada como fundamental para el departamento O&M de Casanare el área de integridad y corrosión en las empresas contratistas del área de mantenimiento quienes finalmente son las encargadas de la ejecución de las tareas y los responsables de la operación de los sistemas de protección catódica para líneas y tanques.

Los componentes generales que se contemplan para el modelo propuesto son:

- Implementación de un ciclo PHVA
- Estructura organizacional
- Recurso humano, formación y competencias
- Actividades de mantenimiento preventivo y correctivo para los SPC
- Innovación tecnológica y buenas prácticas de mantenimiento
- Manejo de indicadores

4.1. MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN CICLO PHVA

Figura 24: Modelo de gestión de mantenimiento propuesto



4.1.1. Etapa1 “PLANEAR” (P): Este ciclo establece las tareas preliminares y las cuales determinan el horizonte del proceso de mantenimiento y conservación de los sistemas de protección catódica propios del departamento y dentro los cuales las principales son:

- Establecer el recurso humano necesario para la ejecución de las tareas de mantenimiento, competencias laborales, especificaciones técnicas y de formación especializada
- Fijar las metas y los objetivos del programa de mantenimiento para el departamento O&M Casanare entre estos tiempos y presupuestos.
- Fijar rutinas para la ejecución de actividades y asegurar la generación de las la OT en el sistema de información
- Fijar estándares de referencia y procedimientos para el manejo de la información, implementación de nuevas tecnología y ejecución de las actividades (este último se desarrolla mediante el apoyo de los profesionales de las diferentes áreas del departamento como lo son, el profesional del área eléctrica, mecánica, instrumentos y controles, integridad y mantenimiento de líneas.,
- Establecer los indicadores y metas que evaluarán la eficiencia del programa de mantenimiento, confiabilidad y disponibilidad y demás.
- Disponer y asignar los recursos necesarios para la ejecución de cada una de las actividades por parte de la empresa contratista designada.
- Establecer roles y responsabilidades de todos los colaboradores en las tareas de mantenimiento en todas la etapas del proceso, administrativo y operativo
- Asegurar que los equipos y tecnologías destinadas a la ejecución de las actividades estén debidamente certificadas y avaladas por organizaciones nacionales e internaciones con el fin de garantizar la calidad de la información.
- Dar a conocer las y medidas en materia ambiental, seguridad industrial, conservación de la infraestructura y demás propias de la organización.

4.1.2. Etapa 2 “HACER” (H): En esta etapa juega un papel importante la ejecución directa de las actividades y las responsabilidades del personal encargado de dicha ejecución y en la misma se desprenden las siguientes;

- Ejecución de actividades de inspección y mantenimiento para los diferentes componentes de los sistemas de protección catódica, cumpliendo con las rutinas establecidas en la etapa de planeación
- Implementación de procedimientos e instructivos y aseguramiento técnico en la ejecución de las tareas de mantenimiento para cada uno de los elementos del sistema.
- Utilización de nuevas tecnologías y desarrollo de buenas prácticas en la industria.
- Identificación de opciones de mejora en campo
- Garantizar las condiciones de seguridad industrial y protección medio ambiental en cada una de las actividades
- Reportar situaciones de riesgo para personas, medio ambiente, infraestructura y terceros.
- Asegurar en campo la calibración de equipos y herramientas utilizadas en cada una de las tareas del proceso y verificar la documentación y vigencia de los certificados para equipos y personal especializado cuando las tareas sean subcontratadas.
- Recolección de información de campo y parámetros de los sistemas y registro de información y datos en los formatos autorizados para tal fin.
- Generar hoja de vida de los equipos y sistemas.

4.1.3. Etapa 3 “VERIFICAR” (V): Esta etapa apunta a realizar la revisión de toda la información recolectada en campo, informes, reportes, planillas y demás para verificar el estado actual de los sistemas de protección catódica y entre las actividades a desarrollar pero sin limitarse a estas se encuentran:

- Revisión y aseguramiento de la calidad de la información
- Generar indicadores y comparar frente a las metas y objetivos establecidos en la etapa de planeación.
- Como parte del programa de recursos humanos de debe verificar periódicamente las competencias de los trabajadores y la vigencia de las certificaciones laborales.
- Informar a la coordinación de mantenimiento las posibles desviaciones en los indicadores y la afectación de las metas por cumplir.
- Seguimiento a los recursos y personal utilizado para cada actividad.
- Identificar fallas en procesos, seguridad industrial y medio ambiente que se evidencien en la etapa HACER.

4.1.4. Etapa 4 “ACTUAR” (A): Como parte fundamental del modelo de gestión y el análisis de la efectividad del mismo es la etapa ACTUAR y cuya responsabilidad esta sobre el coordinador de mantenimiento y profesional de integridad y profesional de mantenimiento y en gran medida depende la justificación y continuidad del modelo ante el jefe de departamento y la gerencia.

Las tareas principales de esta etapa son:

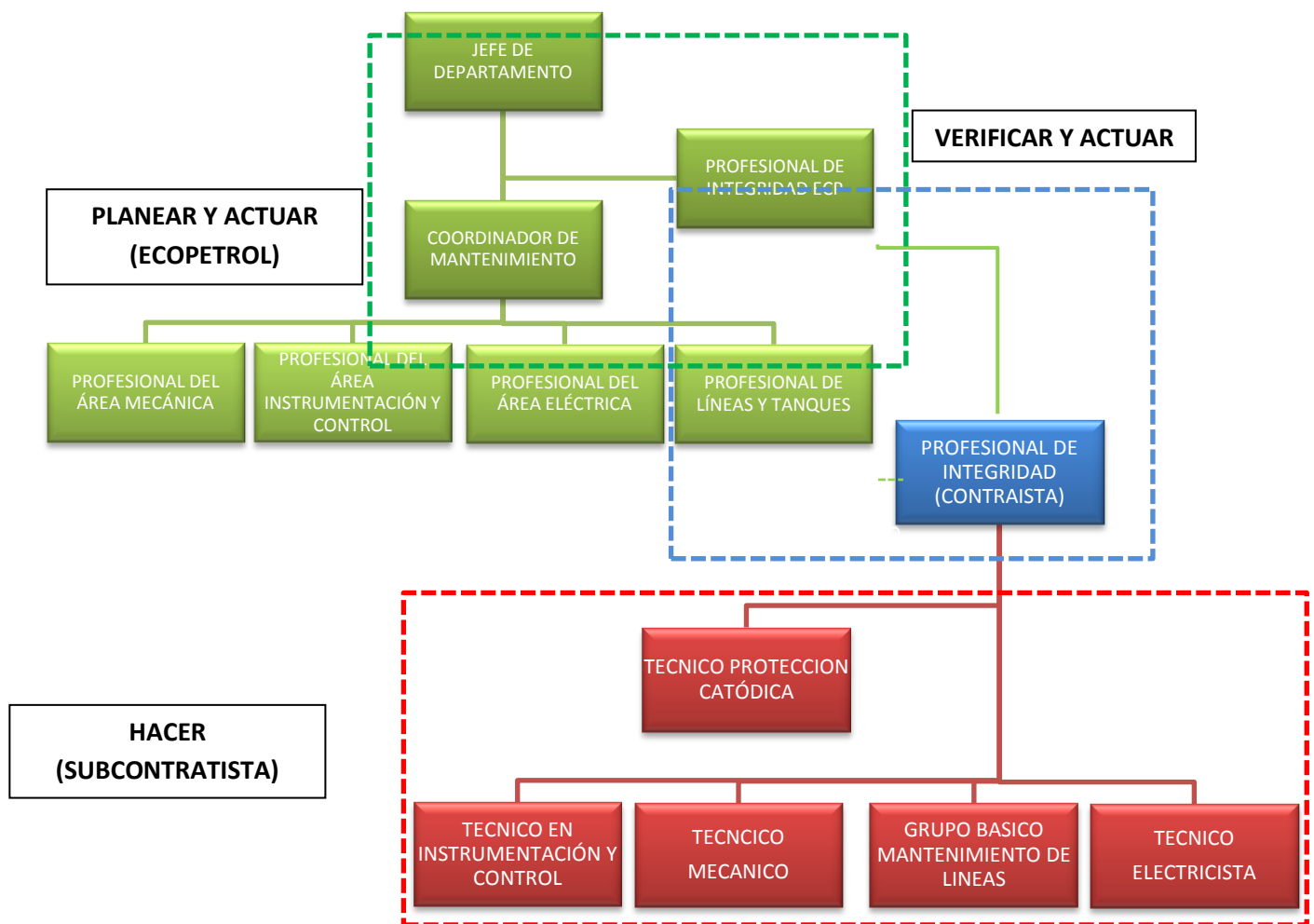
- Divulgar el cumplimiento de los indicadores y metas del programa a todos los involucrados en el departamento O&M Casanare incluido el jefe de departamento y la gerencia de oleoductos.

- Gestionar los recursos y establecer las acciones necesarias para eliminar las fallas del proceso en el ciclo completo PHVA y específicos para cada etapa del proceso.
- Realizar el proceso de estimación de costos para cada etapa del proceso y establecer la relación de costos para equipo.
- Determinar costos necesarios para la implementación de nuevas tecnologías y adquisición de herramientas nuevas
- Consolidar la información de tiempos, personas, equipos y herramientas utilizados para las diferentes etapas del proceso y asegurar la disponibilidad de todos los recursos para las próximas tareas.
- Establecer las acciones necesarias para mejorar en todas las etapas del proceso
- Consolidar el plan de mejora con apoyo de los profesionales de cada área incluida la dependencia de gestión de riesgos e inmobiliaria para atacar y eliminar las posibles desviaciones que afecten el cumplimiento de los indicadores e incluirlos en la etapa de planeación para complementar el ciclo PHVA.
- Asegurar el flujo y cargue de la información en el sistema de información de mantenimiento (Ellipse y/o SAP).

4.2. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

Las actividades de mantenimiento y la operación de los sistemas de protección catódica en el departamento son normalmente asignados a empresas subcontratadas, por lo tanto la estructura organización del modelo de mantenimiento planteado es mixta entre personal directo de Ecopetrol y el personal del área de integridad de la empresa subcontratista de turno así:

Figura 25: Diagrama de la estructura organizacional para el modelo de gestión propuesto



4.3. RECURSO HUMANO, FORMACIÓN Y COMPETENCIAS

El recurso humano, uno de los elementos más importantes para garantizar la implementación del modelo propuesto debe ser liderado a partir del jefe del departamento, asegurando las competencias técnicas y profesional de todo el personal involucrado en las tareas de protección catódica. Es necesario implementar y definir los requerimientos mínimos necesarios del recurso humano, mediante la implementación de procedimientos e instructivos orientados a definir los procesos de selección de manera transparente y acertada.

Por otra parte ECOPETROL S.A. debe garantizar la capacitación en los temas específicos del área de integridad para las condiciones del departamento, ya que no son las mismas para todo el país y deben ser claramente definidas.

Los procesos de selección deben estructurarse en dos etapas, la primera basada en los conocimientos teóricos soportados con documentación que certifique las competencias y la segunda mediante la verificación de actividades prácticas encaminadas a asegurar las habilidades y destrezas de campo que se requieren para la ejecución de todas las tareas.

Teniendo en cuenta que para el grupo de integridad se tiene contemplado en el organigrama dos niveles; profesional y técnico, cada uno debe tener definidas sus competencias y habilidades al igual que roles y responsabilidades

Profesional de integridad:

Debe poseer una experiencia mínima de trabajo comprobada de 3 años en el área de protección catódica y unidades de monitoreo remoto para líneas de hidrocarburos y tener sin limitarse a estos los siguientes conocimientos y competencias:

- Conocimiento de sistemas de protección catódica por corriente impresa y ánodos de sacrificio

- Conocimientos generales de metalurgia y procesos de corrosión en aceros
- Los efectos de los procesos de corrosión en tuberías de transporte de hidrocarburos y fondos de tanques de almacenamiento.
- Conocimiento del riesgo eléctrico y la capacidad de identificar posibles peligros y riesgos asociados a las actividades de protección catódica.
- Criterios de protección catódica y capacidad de análisis de información para toma de decisiones de ajustes en los equipos.
- Habilidad para el manejo de herramientas y equipos electrónicos y análogos para toma de datos e intervención de equipos
- Capacidad y habilidad para identificar fallas en los SPC
- Conocimientos generales sobre corrientes vagabundas e interferencias eléctricas
- Capacidad de análisis de información y manejo de indicadores
- Manejo de personal y recursos financieros
- Seguridad industrial, salud ocupacional y medio ambiente
- Identificar el alcance y la magnitud de los trabajos relacionados con protección catódica
- Manejo de herramientas informáticas para planeación y programación de trabajos de mantenimiento
- Definir reacondicionamiento de los equipos y componentes del mismo
- Conocer los equipos y las condiciones de operación propias de cada uno de ellos
- Analizar históricos de funcionamiento y falla de los equipos
- Evaluar costos de las actividades

Técnico de protección catódica

Debe poseer una experiencia mínima de 2 años en el área de protección catódica y unidades de monitoreo remoto para líneas de hidrocarburos y tener sin limitarse a estos los siguientes conocimientos y competencias:

- Certificación técnico de protección catódica NACE CP1 O CP2 vigente
- Identificar circuitos eléctricos
- Manejo de equipos y herramientas para trabajo eléctrico
- Conocer la orden de trabajo a ejecutar
- Manejo de documentación, análisis de riesgo, procedimientos, instructivos y permisos de trabajo
- Aplicación de SAS Y SAES
- Identificación de riesgos en las áreas de trabajo
- Conocer programas y rutinas de mantenimiento
- Reportar y documentar fallas y reparaciones realizadas sobre los equipos
- Capacidad y habilidad para identificar fallas en los SPC
- Corrientes vagabundas e interferencias eléctricas
- Trabajo en equipo
- Herramientas y equipos electrónicos y análogos para toma de datos e intervención de equipos
- Conocimiento de sistemas de protección catódica por corriente impresa y ánodos de sacrificio
- Manejo de buenas relaciones interpersonales
- Seguridad industrial, salud ocupacional y medio ambiente

Como medida de control de competencias es necesario realizar entrenamiento del personal técnico al menos una vez por año y debe ser responsabilidad de ECOPETROL S.A. garantizar las condiciones requeridas para el entrenamiento.

4.4. ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO PARA LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA.

Las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo para cada uno de los componentes propios y complementarios de los sistemas de protección catódica deben contemplar y sin limitarse las siguientes:

4.4.1. Casetas de rectificadores

○ Unidad rectificadora de protección catódica

- Pruebas de aislamiento eléctrico en transformadores.
- Análisis de aceite para los transformadores sumergidos en aceite
- Pruebas de componentes eléctricos y puentes de diodos.
- Verificación de la operación de los indicadores de variables y verificación de calibraciones.(Horómetros, amperímetros y voltímetros)
- Pruebas de los sistemas de protección contra descargas y supresores de picos
- Revisión del sistema puesta a tierra
- Toma de datos de operación del sistema periódicamente en donde se deben incluir voltaje de entrada AC, voltaje de salida DC, corriente de entrada AC, corriente de salida DC, horas AC y DC, Potencial estructura- suelo utilizando un electrodo de referencia cobre –sulfato de cobre.

○ Unidades de monitoreo remoto

- La revisión y mantenimiento de las unidades de monitoreo remoto está sujeta a los reportes de operación entregados por la empresa que suministra los equipos y el soporte técnico de los mismos los cuales son responsables por garantizar la operatividad de este sistema.

4.4.2. Estaciones de prueba

- Verificación de continuidad entre terminales
- Rehabilitación de recubrimiento de las estaciones de prueba y postes de abscisado de acuerdo a la necesidad y basado en inspecciones periódicas.
- Para estaciones de prueba compartidas con otros ductos se debe identificar mediante placas según corresponde cada uno de los terminales.
- Rehabilitación de postes de abscisado estaciones de prueba cuando por efecto del ambiente u otro evento los mismos se encuentren averiados.
- Inspección del estado de la caja de conexiones.
- En caso de existir presencia de avispas, abejas o cualquier otro tipo de animal en las estaciones de prueba se deben informar al cuerpo de bomberos o defensa civil quienes brindaran el apoyo para el retiro de las mismas, garantizando que el personal encargado de las actividades no está expuesto a riesgos que afecten su integridad física.

4.4.3. Juntas de aislamiento eléctrico y encamisados

○ Juntas de aislamiento

- Verificar mediante la técnica RF-IT (Radiofrecuencia) y mediante diferencia en niveles de potencial el estado de aislamiento en las juntas bridadas en donde existe junta aislante.
- Verificar todos y cada uno de los manguitos para descartar averías y en caso de encontrarse averías, estas se deben programar para reemplazo
- Verificar que la junta se encuentra asilada con un guarda brida y no está expuesta a las condiciones del ambiente ya que las variaciones lluvia-sol generan deterioro en los componentes.

- **Encamisados**

- Verificar mediante RF-IT y diferencias de potencial que la estructura protegida y el encamisado no se encuentran en contacto directo y que se está generando fuga de corriente de protección.
- Inspeccionar el estado de las ventilas y rehabilitar el recubrimiento cuando sea necesario de acuerdo a inspecciones.

4.4.4. Recubrimiento

- Para determinar el estado del recubrimiento se deben utilizar técnicas de inspección específicas tales como DCVG (Direct Current Voltage Gradient). PCM (pipeline current maper) de acuerdo con la planeación que se tenga establecida y las frecuencias de inspección.
- En las zonas de interfaz suelo aire se debe realizar inspección visual al recubrimiento para determinar el estado del mismo y proceder a determinar acciones correctivas de rehabilitación.

Adicional a las actividades descritas anteriormente se debe efectuar una inspección CIPS (Close interval potencial survey) el cual sirve para evaluar la eficiencia y el estado real del sistema de protección catódica mediante una medición de potencial paso a paso a lo largo de todo el ducto

De acuerdo con lo establecido en las normatividad internacional y teniendo en cuenta condiciones propias del departamento y del sector petrolero colombiano se establecen preliminarmente inspecciones y actividades de mantenimiento con las siguientes rutinas para el actual modelo de gestión:

Tabla 8: Intervalos del plan de mantenimiento propuesto

TIPO DE MTTO	ACTIVIDAD	Frecuencia (días)
PREVENTIVO PLANEADO	inspección de rectificadores y toma de datos operacionales	30
	Análisis de aceite para las URPC refrigeradas por este medio	365
	inspección de juntas aislantes y encamisados	365
	inspección del estado del recubrimiento en interfaces aéreo enterradas	365
	Verificación de aislamiento en transformadores	365
	inspección de estaciones de prueba y verificación de continuidad	365
	Inspección camas Anódicas	365
	Inspecciones CIPS	1095
	Inspección eléctrica al sistema puesta tierra de las casetas de rectificadores	365
	Inspección DCVG	1095
	Inspección de camas anódicas	365
	Inspección PCM	Por requerimiento
	Inspección aislamiento estructuras de soporte	365
	Mantenimiento preventivo programado de URPC	365
	Mantenimiento preventivo programado de Unidades de monitoreo remoto	365
	Limpieza y rocería de las áreas adyacentes a la caseta de rectificadores.	Basado en condición
	Toma de potenciales ON/OFF poste a poste	365
	Rehabilitación de recubrimiento en interfaces	Basado en condición
	Rehabilitación de recubrimiento estaciones de prueba	Basado en condición
	CORRECTIVO	Mantenimiento Correctivo de URPC (cambio de componentes averiados)
Mantenimiento correctivo de Unidades de monitoreo Remoto (cambio de componentes averiados)		Por requerimiento
Mantenimiento correctivo camas anódicas (repotenciación del sistema)		Por requerimiento
Rehabilitación estructural de postes de abscisado y estaciones de prueba		Por requerimiento

4.5. INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Y BUENAS PRACTICAS DE MANTENIMIENTO

Como parte fundamental del modelo de gestión es necesario establecer políticas de actualización de instrumentos, equipos de monitoreo, control y medición para los sistemas de protección catódica, así como también es necesario que se elaboren los procedimientos y documentos de apoyo para cada una de las actividades de mantenimiento de acuerdo a las buenas prácticas de ingeniería plasmadas por el American Petroleum Institute, NACE y el DOT de tal manera que todas las actividades y los procesos relacionados con la operación y el mantenimiento de los sistemas de protección catódica se realicen con los más altos estándares de calidad y seguridad.

Algunas de las normas de referencia para tomar como base de consulta y establecer buenas prácticas son:

- API 1160 Managing System Integrity for Hazardous Liquid Pipelines
- NACE SP0169-2007, Standard Practice Control Of External Corrosion on Underground of Submerged Metallic Piping Systems
- RECOMMENDED PRACTICE DNV-RP-F101 “Corroded Pipelines
- NACE SP0207-2007, Performing Close-Interval Potential Surveys and DC Surface Potential Gradient Surveys on Buried or Submerged Metallic Pipelines.
- DOT CFR 195 – Transportation Of Hazardous Liquids By Pipeline – Subpart H
- NACE TM0497-2002, Measurement Techniques Related to Criteria for Cathodic Protection on Underground or Submerged Metallic Piping Systems.
- NACE RP 0285-2002, Corrosion Control of Underground Storage Tanks Systems by Cathodic Protection.

- NACE RP 0193-2001, Externa Cathodic Protection of On-Grade Carbon Steel Storage Tanks Bottoms.
- API RP 1632 Third Edition, May 1996. Cathodic Protection of Underground Petroleum Storage Tanks and Piping System

En cuanto a innovación tecnológica los equipos mínimos que deben ser asegurados en existencia para el área de integridad enfocados a las actividades de operación y mantenimiento de los sistemas de protección catódica deben ser:

- Multímetro digital de alta impedancia
- Osciloscopio portátil
- Kits de herramienta aislada y específica para trabajo eléctrico
- Elementos de protección personal certificados para intervenciones eléctricas
- Pinza amperimétrica
- Celdas de referencia cobre-sulfato de cobre
- Interruptores de corriente sincronizables por GPS y en tiempo real
- Data logger o registrador de datos
- Cámara termografía
- Megger o medidor de aislamientos
- Equipo de radiofrecuencia RF-IT

Es indispensable que se asegure la instalación de instrumentación en todos y cada uno de los rectificadores, principalmente Horómetros para poder ejercer control de los tiempos de operación, tiempos de falla y tiempos de disponibilidad de cada sistema

Los cuales deben ser de última tecnología, calibrados y certificados para garantizar la calidad de la información obtenida en cada una de las mediciones realizadas sobre los sistemas.

Por otra parte en la actualidad existen equipos para monitoreo en línea, denominados unidades de monitoreo remoto (UMR) los cuales permiten conocer en tiempo real los datos y el estado de operación de las unidades rectificadoras de protección catódica (URPC) siendo una herramienta tecnológica de gran importancia permitiendo identificar una falla en el momento exacto en que ocurre y reduciendo en muchas ocasiones los costos acarreados a la movilización de equipos y personal a los lugares en los cuales se encuentran instalados dichos sistemas.

4.6. MANEJO DE INDICADORES

Como parte del programa de gestión de mantenimiento es necesario establecer algunos indicadores básicos para monitorear el cumplimiento de las metas propuestas.

A partir de las actividades rutinarias de inspección, mantenimiento e intervenciones esporádicas que se realicen sobre los sistemas de protección catódica se deben asegurar los datos necesarios para el manejo de los siguientes indicadores. Sin embargo, es responsabilidad del jefe del departamento y coordinador de mantenimiento establecer los indicadores más importantes mediante los cuales se evalúen los sistemas de protección catódica y la gestión del departamento en control de corrosión exterior.

4.6.1. Indicadores globales de gestión de mantenimiento

4.6.1.1. Indicador de carga de trabajo atrasada (Backlog): Está orientado a establecer los tiempos requeridos en semanas para ejecutar los trabajos atrasados, teniendo en cuenta la disponibilidad de mano de obra completa.

$$Backlog = \frac{HH \text{ estimadas en los trabajos de mtto atrasados}}{HH \text{ disponibles por semana de personal de integridad}}$$

Este indicador es acorde con lo establecido por Ecopetrol en la implementación de la estrategia hacia la gestión de activos y establecido en el documento ECP-UEG-H-001 "Hoja de vida del indicador carga atrasada".

4.6.1.2. Indicador de cumplimiento ordenes de trabajo mensual: Este indicador permite evidenciar el cumplimiento de las órdenes de trabajo planeadas para las inspecciones, mantenimientos preventivos y correctivos planeadas para los sistemas de protección catódica y se debe discriminar entre líneas y tanques.

$$\% \text{ de ejecucion} = \frac{\sum \text{ordenes de trabajo ejecutadas } 100\%}{\text{Total ordenes de trabajo programadas}}$$

La meta para este indicador debe ser fijada por el jefe del departamento pero nunca puede ser inferior al 90.

4.6.1.3. Indicador de productividad: Tiene como objetivo determinar la productividad del personal del área de integridad de la empresa contratista en las actividades relacionadas con los sistemas de protección catódica y control de corrosión exterior y debe ser medido teniendo en cuenta las actividades del plan de acción de integridad (PAI) relacionadas con protección catódica.

$$\text{Indice de productividad} = \frac{\sum \text{HH efectiva personal de integridad}}{\text{Toal de HH disponibles de personal de integridad}}$$

4.6.2. Indicadores operacionales

4.6.2.1. Indicador de disponibilidad: Este indicador permite determinar los tiempos de disponibilidad operativa de los sistemas de protección catódica para líneas y líneas y tanques y se deriva del indicador de disponibilidad operacional de Ecopetrol

$$\sum \text{Disponibilidad operacional mensual} = \frac{T_{to} - \sum T_{po} - \sum T_{pm} - \sum T_{pe}}{T_{to}}$$

T_{to} : Tiempo total periodo a evaluar

T_{po} : Tiempo de paradas no programadas(fallas operacionales)

T_{pm} : Tiempo de paradas por mantenimiento

T_{pe} : Tiempo de paradas debido a condiciones externas(cortes de energia, vandalismo)

4.6.2.2. Indicador MTTF (Mean Time To Failure): Este indicador utilizado comúnmente en confiabilidad puede ser aplicado a integridad con el fin de establecer los tiempos medios entre fallas de los sistemas de protección catódica a partir de fallas originadas en los rectificadores y busca conocer el tiempo en el que el equipo opera sin interrupciones.

$$MTTF_{horas} = \frac{\text{Total horas de operacion}}{\text{TtoNumero de paradas por fallas}}$$

Este indicador es incluido basado en los indicadores de confiabilidad para equipos rotativos de la vicepresidencia de transportes de la VIT dentro del marco de implementación del programa de gestión de activos.

4.6.2.3. Indicador MTTR (Mean Time To Repair): Es de vital importancia conocer los tiempos requeridos para mantenimientos correctivos de los sistemas de protección catódica, especialmente el de los rectificadores y debe ser considerado a partir del momento en el cual se identifica falla en el equipo hasta la restitución de la operatividad del mismo en las condiciones y parámetros determinadas previamente como de operación normal

$$MTTR_{horas} = \frac{\sum \text{Tiempos de mantenimiento correctivos}}{\text{Numero de fallas}} X$$

Este indicador es incluido basado en los indicadores de confiabilidad para equipos rotativos de la vicepresidencia de transportes de la VIT dentro del marco de implementación del programa de gestión de activos.

4.6.2.4. Eficiencia del rectificador: Este indicador permitirá establecer la eficiencia del rectificador mes a mes basado en las inspecciones periódicas y en los mantenimientos que sobre el mismo se realicen, el objetivo es determinar cuando la eficiencia se reduzca y de esta manera poder las medidas necesarias para restaurar las condiciones de operación dentro de los parámetros establecidos para cada uno de los equipos.

$$Eficiencia\ del\ rectificador = \frac{DC\ POWER\ OUT}{AC\ POWER\ IN} \times 100$$

5. CONCLUSIONES

- De acuerdo con la revisión realizada a la información existente en el departamento de mantenimiento Casanare, inspecciones de campo y recolección de información de distintas fuentes se logra establecer la existencia de 17 unidades rectificadoras de protección catódica y que actualmente están operando, los cuales corresponden en su totalidad a sistemas instalados mediante la técnica de corriente impresa y están distribuidas de la siguiente manera:
 - ✓ 8 instalados para 3 oleoductos y un poliducto que protegen aproximadamente 250 km de tuberías en diámetros comprendidos entre 10,12,14 y 20 “
 - ✓ 9 instalados y distribuidos para 12 tanques de almacenamiento con capacidades de 3, 5, 20, 150 y 170 KBls.

Adicionalmente se identifican 5 marcas diferentes que componen los diferentes sistemas de protección catódica, lo cual genera inconvenientes de estandarización de equipos en el departamento debido a que cada fabricante maneja su arquitectura, diseño y componentes propios, dificultando mantener un stock de repuestos para atender las fallas de manera oportuna.

- La forma actual del mantenimiento para los SPC del departamento está basado en correctivos. No cuenta con plan o estrategia de mantenimiento definida para el mantenimiento de los equipos y sistemas más allá de inspecciones periódicas sin que sea posible identificar la falla de un componente o equipos hasta que es evidenciado en la siguiente inspección, sumado a esto no se posee un stock mínimo de repuestos, lo que genera tiempos adicionales hasta que logra corregir la falla.

- Es importante resaltar la necesidad de la instalación de la instrumentación en todos los equipos para que de esta manera se logren obtener los datos operativos y tiempos para cada uno por separado, lo cual aportará la información real y necesaria para iniciar a manejar indicadores.
- Definiendo las principales causas de falla en los equipos y sistemas se establece un plan de mantenimiento basado en preventivos planeados, correctivos y algunas actividades basadas en condición definiendo rutinas y actividades específicas para cada uno de los componentes propios y complementarios de los SPC por corriente impresa, todo basado y tomando como referencia la normatividad nacional e internacional y los estándares de referencia y buenas prácticas para el sector de hidrocarburos.
- Tomando como referencia el modelo de mejoramiento continuo de un Ciclo PHVA se define y estructura un modelo para la gestión de mantenimiento de los sistemas de protección catódica del departamento O&M Casanare de ECOPETROL S.A. mediante un organigrama mixto compuesto por personal directo de la empresa y el personal aliado de la empresa contratista de turno, en donde se establecen los roles y responsabilidades de cada uno de los integrantes y en cada ciclo del modelo, su estructura organización por cargos para cada etapa enfocado hacia el liderazgo que debe ejercer el jefe del departamento y el profesional de integridad de ECOPETROL S.A. Se definen la importancia de las competencias del recurso humano para los contratistas y una guía de validación de las mismas mediante un proceso de entrenamiento continuo.
- Mediante la incorporación de indicadores de gestión para la valoración del modelo propuesto e indicadores operativos para la evaluación de las actividades de mantenimiento , operatividad y confiabilidad es posible determinar los resultados de cada etapa del proceso en el modelo y de manera

ordenada realizar las actividades de mejora paso a paso para garantizar un eficiente desempeño en el área de integridad y protección catódica enfocado a minimizar la amenaza de corrosión exterior en las estructuras de la Vicepresidencia de Transportes en el departamento Casanare.

BIBLIOGRAFÍA

- BORRAS PINILLA, Carlos – Mantenimiento preventivo, Especialización en gerencia de mantenimiento. Escuela de ingeniería Mecánica. Universidad Industrial de Santander. Yopal Junio 2013
- Documento Gestión de mantenimiento de SPC para control de corrosión en tuberías enterradas. UIS 2000
- DUFFUAA, Salih. Sistemas de mantenimiento planeación y control. México Limussa, 2002
- GARCÍA GARRIDO Santiago. Organización y gestión integral de mantenimiento., Editorial Díaz de santos, Albasanz, Madrid 2003
- GELVEZ PINZON, Iván Alberto, Monografía de grado, Gerencia de mantenimiento, Gestión de mantenimiento y monitoreo de sistemas de protección catódica para el control de la corrosión en tuberías metálicas enterradas, Bucaramanga 2000
- GONZALES QUIJANO Javier García. Mejora en la confiabilidad operacional de la energía eléctrica: desarrollo de una metodología de gestión de mantenimiento basado en el riesgo (RBM) Tesis de master en gestión técnica y económica en el sector eléctrico. Madrid 2004. Universidad pontificia Comillas.
- HILL, John W. and Kolb, Doris K., Química for Changing Times, 9th Ed., Prentice Hall, 2001

- KERNAL Nisanciogiu. Cathodic Protection, Rev. Material Performance. Diciembre, 1984
- NACE International. PEABODY'S Control of pipeline corrosión 2° Ed, RONALD L. BIANCHETTI, Houston, Texas 2001
- NACE International, Standar practice SPO 169, Control of external corrosión underground or sumerged metallic piping system 2007
- NACE International, Manual de curso, CP2 Cathodic Protection Technician, Julio de 2008
- PULIDO, Luis. Herramientas de Mantenimiento predictivo útil para equipo eléctrico. Junio, 2002. no. 9. Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com/articulos/9herram.asp>
- RUIZ ACEVEDO, Adriana María, Monografía de grado, Gerencia de mantenimiento, Modelo para la implementación de mantenimiento predictivo en las facilidades de producción de petróleo, Bucaramanga 2012.
- Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia. El mantenimiento General- Administración de empresas. Disponible en http://virtual.uptc.edu.co/drupal/files/133_mantenimiento.pdf