

## Cathodic Protection Program

### CP 3 – Cathodic Protection Technologist

**Objetivo:** El curso de capacitación CP 3–Cathodic Protection Technologist es el tercer curso de los 4 niveles del Programa de Capacitación y Certificación en Protección Catódica de NACE. Este curso concentrará el enfoque en los temas de: mecanismos de la corrosión, la teoría de la protección catódica, las corrientes de interferencia, los principales fundamentos para el diseño de un sistema de protección catódica y los métodos para evaluar el desempeño del mismo.

**Dirigido a:** Este curso ha sido preparado y diseñado para individuos que poseen una amplia experiencia de campo y un sólido background en Protección Catódica, y cuya intención es obtener el Certificado de Técnico Superior de Protección Catódica (CP Technologist).

**Prerrequisitos:** Para tomar este curso de entrenamiento, los estudiantes deberán cumplir con los siguientes requisitos:

#### **ALTERNATIVA 1**

Experiencia de 8 años en trabajos de Protección Catódica, con un incremento en la responsabilidad técnica de los mismos.

#### **PLUS**

Diploma de Escuela Secundaria

#### **PLUS**

Conocimientos de cálculos de álgebra y logaritmos, Certificación CP-2 como Cathodic Protection Technician, o entrenamiento equivalente

#### **ALTERNATIVA 2**

Experiencia de 6 años en trabajos de Protección Catódica, con un incremento en la responsabilidad técnica de los mismos.

**PLUS**

Un mínimo de 2 años posteriores a graduación en la escuela secundaria, en materias que incluyan matemáticas, ciencias, que ejerciten sobre el manejo del algebra y el calculo de logaritmos.

**PLUS**

Certificación CP-2 como Cathodic Protection Technician, o entrenamiento equivalente

**ALTERNATIVA 3**

Experiencia de 3 años en trabajos de Protección Catódica, con un incremento en la responsabilidad técnica de los mismos.

**PLUS**

Una carrera de 4 años en ingeniería o ciencias físicas.

**PLUS**

Certificación CP-2 como Cathodic Protection Technician, o entrenamiento equivalente

**Tabla de Contenido****Capítulo 1. Mecanismos de la Corrosión**

- Consideraciones Termodinámicas
- El Diagrama de Pourbaix
- El Potencial del Electrodo
  - La Serie de Fuerzas Electromotrices
  - La Ecuación de Nernst
  - Electroodos de Referencia Comunes
  - Efecto de la Temperatura sobre los Potenciales de Electroodos de Referencia
  - Cómo Convertir Potenciales Medidos entre Distintos Electroodos de Referencia

- La Celda de Corrosión
  - Componentes de la Celda de Corrosión
  - Cinética de la Celda de Corrosión (Polarización)
- Ley de Faraday
- Potencial de Corrosión
- Factores que Afectan el Funcionamiento de una Celda de Corrosión
  - Despolarización en una Celda de Corrosión
    - Despolarización del Cátodo
    - Despolarización del Ánodo
  - Aumento de la Polarización en una Celda de Corrosión
    - Aumento de la Polarización en el Cátodo de una Celda de Corrosión
    - Corrosión
  - Aumento de la Polarización del Ánodo de una Celda de Corrosión
  - Cambios en las Resistencias del Circuito
    - Aumento de la Resistencia de una Celda de Corrosión.
    - Disminución de la Resistencia de una Celda de Corrosión
  - Efectos del Potencial Impulsor sobre una Celda de Corrosión
  - Efecto del Tiempo sobre una Celda de Corrosión
  - Modelo de Circuito de Randle para la Interfase de un Electrodo en una Celda de Corrosión
  - Tipos de Corrosión
    - Corrosión Galvánica
- Experimento 1-1 Demostrar la Polarización en una Celda de Corrosión

## Capítulo 2. Teoría de la Protección Catódica

- Definición
- Criterios
  - Criterio de Potencial ( $-850$  mVCSE)
  - Criterio de 100 mV de Polarización
  - Factores que Afectan la Validez de los Criterios

- Temperatura
- Bacterias Reductoras de Sulfatos
- Densidad de la Corriente Alterna (AC)
- Tipo de Metal
- Metales Diferentes
- Corrosión Bajo Tensiones (Stress Corrosion Cracking SCC)
- Recubrimientos Despegados (Disbonded)
- Características de la Polarización Catódica
  - Curva de Polarización Catódica
  - Polarización de Activación y Polarización por Concentración
  - Factores que Afectan la Polarización
    - Aireación (Oxígeno)
    - Agitación (Velocidad)
    - Temperatura
    - pH
    - Superficie
    - Efecto del Tiempo
- Tipos de Sistemas de Protección Catódica
  - Ánodos Galvánicos
    - Ánodos de Aluminio
    - Ánodos de Magnesio
    - Ánodos de Zinc
    - Diagrama de Polarización
    - Relleno (Backfill)
    - Usos Comunes
  - Ánodos de Corriente Impresa
    - Ánodos Grandes (Massive Anodes)
    - Ánodos de Dimensiones Estables
      - Ánodos de Platino
      - Ánodos de Mixed Metal Oxide (Mezcla de Óxidos Metálicos – MMO)
      - Ánodos Poliméricos

- Diagrama de Polarización
- Relleno de Carbón
- Usos Comunes
- Fuentes de Energía de Corriente Impresa
  - Transformadores/Rectificadores Standard
  - Rectificadores Controlados por Diodos de Silicio (SCR)
  - Rectificadores Switching (Switching-Mode Rectifiers)
  - Fuentes de Energía Solar
  - Generadores Eólicos
  - Baterías
  - Generadores Termoeléctricos (TEG)
  - Celdas de Combustible (Fuel Cells)
  - Modos de Operación
- Experimento 2-1 Demostrar el Uso de un Ánodo Galvánico para Mitigar la Corrosión en una Celda de Acción Local

### Capítulo 3. Interferencia

- Introducción
- Detección de las Corrientes Vagabundas
  - Efectos de la Corriente de Interferencia sobre las Estructuras Metálicas
    - En la Zona de Entrada de la Corriente
    - A lo Largo de la Estructura
    - Efectos en la Zona de Descarga de la Corriente de Interferencia
  - Mitigación de los Efectos de la Interferencia Proveniente de los Sistemas de Protección Catódica
    - Remoción de la Fuente o Reducción de la Salida
    - Instalación de Accesorios Aislantes
    - Instalar una Pantalla Metálica Junto a la Estructura Afectada
    - Instalación de Ánodos Galvánicos en la Estructura Interferida en la Zona

- de Descarga de la Corriente de Interferencia
  - Instalación de un Sistema de Distribución por Corriente Impresa en la Estructura Afectada en la Zona de
  - Descarga de la Corriente de Interferencia
  - Instalación de un Puente entre las Estructuras Interferida e Interferente
  - Uso de Recubrimientos para Mitigar los Efectos de la Interferencia
- Otras Fuentes de Corriente Continua de Interferencia
  - Sistemas de Transporte en DC
    - Mitigación de las Corrientes Vagabundas Provenientes de Sistemas de Transporte
  - Sistemas de Transmisión Eléctrica de Alta Tensión y Corriente Continua (HVDC)
  - Operaciones de Soldadura DC
- Interferencia AC
  - Introducción
  - Acoplamiento por Conducción Debido a Fallas
    - Descripción
    - Efectos Perjudiciales
    - Predicción y Mitigación
  - Acoplamiento Electrostático (Capacitivo)
    - Descripción
    - Efectos Perjudiciales y Mitigación
  - Acoplamiento Electromagnético (Inductivo)
    - Descripción
    - Corrosión por AC
    - Peligros de Shock Eléctrico
    - Predicción
    - Mitigación
- Interferencia por Corrientes Telúricas
  - Efectos de Interferencia

- Mitigación de los Efectos de las Corrientes Telúricas
- Experimento 3-1 Para Mostrar la Interferencia DC y su Mitigación

#### Capítulo 4. Fundamentos de Diseño de PC

- Objetivos de Diseño
- Determinación del Requerimiento de Corriente
  - Densidad de Corriente
- Métodos para Estimar el Requerimiento de Corriente
  - Publicaciones
  - Experiencia en Estructuras Similares en Condiciones Similares.
  - Determinar los Requerimientos de Corriente en una Estructura Recubierta Estimando el Porcentaje de Superficie Desnuda
  - Método de la Mínima Caída de Potencial (Voltage Drop)
    - Ensayo para Determinar la Corriente Requerida en una Tubería Basándose en la Caída de Potencial Mínima
    - Uso de la Resistencia Tubo-Suelo para Determinar la Corriente Requerida Mediante el Método de Caída Óhmica
    - Cálculo de la Corriente Requerida para Alcanzar una Caída de Potencial Mínima en una Estructura Recubierta, Basado en la Resistencia del Recubrimiento
  - Ensayo de Polarización
  - Método de Desplazamiento de Polarización
- Cálculo de las Resistencias de un Circuito de Protección Catódica
  - Resistencia de un Único Ánodo en Forma de Jabalina Enterrado Verticalmente
  - Resistencia de Varios Ánodos Verticales Conectados a una Estructura o Cable Colector en Común
  - Resistencia de un Único Ánodo en Forma de Barra Enterrado Horizontalmente

- Resistencia de Varios Ánodos Horizontales Conectados a un Cable Colector Común
- Cálculo de la Resistencia del Tubo al Terreno Remoto
- Cálculo de las Resistencias Lineales de Cable y Tubo
- Cálculo de la Capacidad y Vida Útil del Sistema
- Cálculo de la Vida Útil del Sistema
- Cálculo de la Cantidad de Ánodos
- Cálculo del Potencial Impulsor del Sistema
  - Sistema Galvánico (de Sacrificio)
  - Sistema por Corriente Impresa
- Ejemplos de Diseños de Protección Catódica
  - Ánodos Galvánicos
    - Ejemplo No. 1
    - Ejemplo No. 2
  - Sistema por Corriente Impresa
    - Ejemplo No. 1
    - Ejemplo No. 2
- Diseño de Instalaciones para Monitorear la Eficacia del Sistema
- Distribución de Corriente
  - Introducción
  - Atenuación
  - Efectos del Recubrimiento sobre la Distribución de Corriente
  - Efectos de la Configuración de la Estructura sobre la Distribución de la Corriente
  - Efectos de las Variaciones en la Resistividad del Electrolito sobre la Distribución de la Corriente
  - Efectos de los Holidays en una Estructura Recubierta sobre la Distribución de la Corriente
  - Efectos de la Polarización (Tiempo) sobre la Distribución de la Corriente
  - Resumen de los Factores que Afectan la Distribución de la Corriente

## Capítulo 5. Evaluación del Rendimiento de un Sistema de PC

- Introducción
- Medición de Potencial
  - Electrodo de Referencia de Cobre-Sulfato de Cobre
  - Electrodo de Referencia Enterrados
  - Consideraciones acerca de la Polaridad
  - Circuito de Medición de Potencial y Error en la Medición
- Errores de Caída de Tensión Externos al Circuito del Instrumento
  - Errores de Caída de Tensión en la Medición del Potencial Debido a la Circulación de Corriente en la Tierra
  - Errores de Caída de Tensión en la Medición de Potencial debidos a Corriente Circulando en la Tubería
- Métodos para Minimizar los Errores por Caída de Tensión en la Medición de Potencial
  - Método de Interrupción de la Corriente
  - Método de Reducción de la Corriente en Etapas Sucesivas para Determinar la Cantidad de Caída Óhmica en el Suelo incluida en el Potencial On
  - Colocación del Electrodo de Referencia cerca de la Estructura
  - Uso de Cupones para Minimizar los Errores por Caída de Tensión en la Medición de Potencial
- Medición del Desplazamiento del Potencial por Polarización
- Medición de la Corriente
  - Uso de una Amperímetro para Medir la Corriente
  - Uso de un Shunt para Determinar la Magnitud de la Corriente
  - Amperímetro con Resistencia Cero
  - Amperímetro de Pinza (Pinza Amperométrica)
  - Mediciones de Corriente en Tuberías
- Relevamiento de Potencial Paso-a-Paso (Close Interval Potential Survey)
- Relevamientos de las Condiciones de Revestimiento

- Método de Gradiente de Potencial para Detectar Holidays en el Revestimiento de un Tubo
- Método de la Conductancia del Recubrimiento para Evaluar su Calidad
- Resolución de Problemas de los Sistemas de Protección Catódica
  - Cambios en la Polarización
    - Despolarización de la Estructura
  - Polarización Anódica
  - Aumento de la Resistencia
  - Cambios en la Fuente de Energía
    - Salida de Corriente y Voltaje Igual a Cero
    - Salida de Corriente Igual a Cero sin Modificaciones en la Tensión de Salida
    - Cambio Significativo de la Corriente sin Modificaciones en la Tensión de Salida
    - Cambios Significativos Tanto en la Tensión de Salida como en el Valor de Corriente
    - Eficiencia del Transformador-Rectificador
  - Diagrama de Flujo para Resolución de Problemas en Sistemas de Protección Catódica
- Ejercicio en Clase 5-1
- Experimento 5-1 Para Demostrar los Cuatro Métodos para Minimizar el Error por Caída Óhmica en una Medición de Potencial