



NACE Cathodic Protection Technologist Nivel 3 Examen Case-Based

Guía de Preparación del Examen
Enero 2021

Índice de Contenido

Introducción.....	3
Requerimientos.....	4
Programa del Examen.....	5
Tipos de preguntas.....	10
Preguntas.....	13
Clave de respuestas.....	14
Preparación.....	15
Entrenamiento – No Requerido.....	15
Material de Estudio Recomendado.....	15
Libros.....	15
Normas.....	15
Calculadoras.....	16
Material de Referencia propuesto para el examen.....	18

Introducción

El examen Case-Based del Cathodic Protection Technologist está diseñado para evaluar si un candidato tiene el conocimiento y habilidades requeridas en que un Cathodic Protection Technologist (CP3) estaría mínimamente calificado. El examen consiste en 30 preguntas de opción múltiple, preguntas de opción múltiple con más de una respuesta correcta y preguntas para coincidencia relacionadas con casos, escenarios, o problemas que requieren la aplicación de conocimiento basado en el cuerpo de conocimientos de PC. Un candidato debería contar con conceptos teóricos y de aplicación práctica de PC con un fuerte enfoque en trabajo de campo de PC, interpretación de datos de PC y resolución de problemas.

Nombre del examen	NACE-Cathodic Protection Technologist Case-Based Exam
Código del examen	NACE-CP3-Case-Based
Tiempo	4 hours*
Numero de preguntas	30
Formato	Examen basado en computadora (Computer Based Testing–CBT)

NOTA: Al finalizar el examen se proporciona una calificación aprobado/reprobado. Los exámenes de Teoría y Case-Based se califican por separado y los candidatos deben aprobar ambos exámenes.

*El tiempo de examen incluye 4 minutos para el acuerdo de confidencialidad y 6 minutos para el tutorial de sistema.

NOTA: El manual del curso CP 3 NO es proporcionado en el examen. El material de referencia se proporciona en formato PDF para preguntas que requieren alguna ecuación, tabla de conversión u otra referencia.

Audiencia Objetiva

El Cathodic Protection Technologist (CP3) es responsable de observar, registrar y medir la efectividad de los sistemas de PC. Esta certificación está orientada a personas que tienen un alto conocimiento de trabajo de sistemas de PC, además de años de experiencia en campo en PC. Un Tecnólogo de PC debería tener buena comprensión de los procedimientos matemáticos y conocimientos científico de los procesos de corrosión.

NOTA: NO hay una progresión o evolución directa desde el Cathodic Protection Technician (CP 2) al Cathodic Protection Technologist (CP 3). Hay experiencia considerable en todos los aspectos de PC, que incluyen el diseño y la educación formal en matemáticas/ciencia/ingeniería que es crítica para el éxito de un candidato a este examen. La asistencia al curso Cathodic Protection Technician (CP 2) es fuertemente recomendada antes de intentar el Cathodic Protection Technologist (CP 3). Sin embargo, también es recomendable contar con experiencia y educación adicionales.

Requerimientos

Cathodic Protection Technologist (CP3)

Requerimientos para Cathodic Protection Technologist (CP3):
1 Prerrequisito + Experiencia Laboral + 2 Exámenes Esenciales + Solicitud

Prerrequisito:
Ninguno
Experiencia Laboral Requerida:
Escoja una de las siguientes opciones de experiencia laboral:
8 años de experiencia en trabajos de PC verificables
6 años de experiencia en trabajos de PC verificables Y 2 años de capacitación post – preparatoria en una escuela aprobada de matemáticas / ciencia o técnica / oficio
3 años de experiencia en trabajos de PC verificables Y 4 años de grado de ciencias físicas o ingeniería
Requerimientos del Examen:
Los siguiente exámenes son requeridos: (2 exámenes esenciales requeridos)
Cathodic Protection Level 3 Exam (Theory)
Cathodic Protection Level 3 Exam (Case-Based)
Requerimientos para la Solicitud:
Solicitud aprobada de Cathodic Protection Technologist (CP3)

Presentar una solicitud – los candidatos deben aplicar para esta certificación presentando una solicitud en línea la cual está sujeta a aprobación. Las solicitudes deben ser presentadas dentro de los primeros 3 años después conclusión exitosa del examen.

Al completar satisfactoriamente los requerimientos, el candidato será galardonado con la certificación **Cathodic Protection Technologist**.

Siguiente nivel de Certificación:
[Cathodic Protection Specialist \(CP 4\)](#)

Programa del Examen

1. Instrumentos

- Entender la operación de un medidor digital Volt-Ohm (multímetro) y como es empleado para medir corriente, voltaje y resistencia.
- Emplear un medidor volt-ohm (multímetro) para determinar voltaje y corriente de salida de un rectificador.
- Entender la operación de un medidor de resistividad de suelos.
- Emplear un medidor volt-ohm para determinar la corriente de salida de ánodos de sacrificio instalados en su sistema.
- Realizar pruebas de resistividad de suelos con un medidor de resistividad o instrumento equivalente.
- Realizar mediciones de resistividad de suelos empleando una Caja de Suelos (Soil Box).
- Entender y capaz de realizar cálculos de resistividad de capas.
- Realizar lecturas de resistividad de suelo en un solo punto con una Varilla de Collins (Collins Rod).
- Instalar interruptores en rectificadores o puentes con el propósito de tomar lecturas de potencial estructura-electrolito “Encendido (ON)” y “Apagado instantáneo (Instant off)”.
- Entender los diferentes tipos de instrumentos de localización de tuberías y ser capaz de utilizarlos para localizar tuberías o cables en todo tipo de ambientes enterrados.

2. Resistencias calibradas (shunts)

- Entender como determinar la cantidad de corriente que fluye a través de distintas resistencias calibradas (shunts) realizando la lectura de caída de voltaje (mV) con un medidor Volt-Ohm y aplicando el factor de conversión correcto.
- Entender como determinar la dirección del flujo de corriente a través de una resistencia calibrada (shunt) observando la polaridad de la lectura en mV.
- Tomar lectura en las resistencias calibradas (shunts) en rectificadores para determinar la salida de corriente.
- Tomar lectura en las resistencias calibradas (shunts) en puentes con otras estructuras.

- Tomar lectura en las resistencias calibradas (shunts) en ánodos individuales asociados con camas anódicas de pozo profundo.
- Emplear una resistencia calibrada (shunt) externa para determinar la salida de corriente de un rectificador que presenta falla en el amperímetro.
- Tomar lecturas en las resistencias calibradas (shunts) que están instaladas en ánodos galvánicos para determinar la salida de corriente.

3. Pruebas de Campo

- Realizar pruebas de requerimiento de corriente.
- Realizar pruebas de pH de suelo.
- Realizar pruebas de caída IR.
- Correr “pruebas de encamisado en cortocircuito” en encamisados de los cuales se sospecha que se encuentran cortocircuitados e interpretar los resultados de la prueba.
- Realizar inspecciones de recubrimiento en secciones de tubería que han sido excavadas.
- Realizar pruebas de resistividad de suelo para evaluar el área para instalación de una cama anódica convencional.
- Realizar levantamientos Pearson para evaluar la condición del recubrimiento de una sección de tubería.
- Realizar levantamientos de potenciales a intervalos cortos computarizados donde sea necesario y evaluar las gráficas producidas a partir de los datos obtenidos.
- Localizar roturas en cables principales con localizador audible de cables y tuberías.
- Investigar cortocircuitos en una tubería u otra estructura.
- Verificar los resultados de pruebas de encamisados en cortocircuito.
- Entender los factores que afectan el desempeño del sistema de protección catódica en el ánodo, en la estructura, en el electrolito, en el paso metálico, en la fuente de energía, debido a la configuración de los ánodos e interferencias.
- Realizar pruebas avanzadas de protección catódica empleando técnicas de medición correctas para monitorear el desempeño del sistema de PC e interpretar con precisión los datos recolectados para asegurar el desempeño óptimo del sistema de PC.

- Con base en los datos recolectados, determinar si son necesarios correcciones/modificaciones a los componentes del sistema.
- Identificar errores en los datos/mediciones incluyendo errores de resistencia de contacto, errores de caída de voltaje y errores de electrodos de referencia.
- Utilizar los instrumentos requeridos para cumplir con las pruebas avanzadas de protección catódica y recolectar mediciones de los sistemas de protección catódica.
- Dirigir levantamientos en sistemas de protección catódica incluyendo levantamientos de intervalos cortos, DCVG donde sea necesario o requerido y evaluar las gráficas producidas a partir de los datos recolectados durante el levantamiento.
- Realizar el procedimiento de solución de problemas en rectificadores y realizar correcciones/reparaciones de ser necesario.
- Realizar pruebas de eficiencia en rectificadores.
- Instalar nuevos rectificadores.
- Entender el uso de cupones de PC externos y ser capaz de identificar si el uso de los cupones externos es necesario para un sistema de PC dado.
- Entender la inspección interna (in-line inspection) y la inspección directa (entender y ser capaz de implementar la metodología de Evaluación Directa ECDA)

4. Interferencia por corrientes parásitas de DC

- Realizar y documentar pruebas de interferencia donde se sospeche la existencia de corrientes parásitas.
- Una vez que las pruebas de interferencia se han realizado, sugerir métodos de control que puedan mitigar los efectos de las corrientes parásitas.
- Entender cómo las estaciones de prueba de caída IR pueden ser usadas para evaluar las corrientes parásitas.
- Entender cómo una estación de prueba de cupón puede ser usada para determinar la presencia y la mitigación de corrientes parásitas.
- Calcular la resistencia requerida para la cantidad de corriente drenada necesaria en la instalación de un puente con resistencia.
- Entender las causas (fuentes) y los efectos de interferencia.
- Entender los métodos disponibles para mitigar la interferencia.

5. Mitigación de CA

- Entender los requerimientos de seguridad cuando se instalan estaciones de prueba bajo líneas de alto bajo.
- Tomar los pasos apropiados para mitigar los efectos de voltaje inducido de CA excesivo en estructuras enterradas.

6. Teoría de corrosión

- Entender la composición de una celda galvánica básica y las reacciones electroquímicas que permiten que se dé la corrosión en el ánodo a diferencia del cátodo.
- Describir las características de las reacciones anódicas y catódicas.
- Entender y aplicar los principios de electricidad y circuitos eléctricos (serie, paralelo y circuitos serie-paralelo) (incluyendo la aplicación de las leyes de Ohm y Kirchhoff de los circuitos eléctricos).
- Emplear cálculos de la Ley de Ohm y cálculos relacionados a circuitos en serie y paralelos.
- Entender cómo se forman las celdas de corrosión en objetos metálicos que están enterrados o inmersos en un electrolito.
- Entender la Ley de Faraday y realizar cálculos empleándola para determinar el peso del ánodo requerido para la protección catódica.

7. Polarización

- Entender la causa y efecto de la polarización en celdas galvánicas.
- Entender la activación, concentración y resistencia a la polarización, así como las expresiones matemáticas de estos conceptos.
- Entender los factores que afectan la polarización (área, temperatura, movimiento relativo, concentración iónica, concentración de oxígeno).

8. Protección catódica

- Emplear los conceptos de protección catódica y ser experto de los componentes requeridos para ambos tipos de sistemas galvánicos y de corriente impresa.
- Ser capaz de diseñar e instalar formas simples de sistemas de ánodos galvánicos e instalaciones (facilities) de corriente impresa.
- Entender la relación entre protección catódica y otros métodos de mitigación de corrosión.

- Entender los factores que afectan la cantidad de corriente requerida para un sistema de protección catódica.
- Entender los criterios de NACE para Protección Catódica y ser capaz de aplicar los criterios para realizar los ajustes que sean necesarios en los sistemas de PC para cumplir con el criterio definido por la compañía dónde el tecnólogo está empleado.
- Entender la caída IR y ser capaz de determinar la caída IR y aplicar técnicas de corrección si es necesario.
- Entender y aplicar el criterio E Log I y construir curvas de polarización.
- Entender el concepto de distribución de corriente y ser capaz de determinar la distribución de corriente ideal para un sistema de PC tomando en cuenta los factores que afectan la distribución de corriente (distancia de separación ánodo a cátodo, variación del electrolito y resistividad de la estructura, atenuación de corriente).
- Entender los efectos que provocan la geometría del paso de corriente, recubrimientos protectores y polarización sobre la distribución de corriente.

9. Diseño

- Utilizar datos de campo para completar los cálculos requeridos para el diseño de las fuentes de corriente de protección catódica.
- Seleccionar los lugares e implementar el diseño de fuentes de protección catódica para sistemas de tuberías de distribución o transmisión.
- Diseñar sistemas de protección catódica para el interior de tanques de agua.
- Diseñar la protección catódica para el fondo de tanques de almacenamiento superficiales.
- Diseñar la protección catódica para tanques de almacenamiento subterráneos.
- Trabajar con ingeniería en el uso adecuado de aislantes para instalaciones (facilities) de diseño reciente.
- Proporcionar información del desempeño del recubrimiento enterrado para selección de recubrimientos para nuevas instalaciones (facilities).

Tipos de preguntas

Descripción de las preguntas

Este examen a libro cerrado consiste de preguntas de opción múltiple las cuales pueden tener múltiples respuestas y requieren la selección de más de una respuesta, así como otras preguntas de hacer coincidencias. Los casos requieren que el candidato aplica conocimiento y habilidades para responder las preguntas con base en el problema presentado en cada caso. Las preguntas están basadas en el conocimiento y pruebas requeridas en la industria de la PC para un Cathodic Protection Technologist.

Preguntas de muestra

Las preguntas de muestra son incluidas para ilustrar los formatos y tipos de preguntas que estarán presentes en el examen. Su desempeño en las preguntas de muestra no debe ser visto como una predicción de su desempeño en el examen real.

Enunciado del problema

La tubería en cuestión es de 24 pulgadas de diámetro y 4,500 pies (1,371.6 metros) lineales de perforación direccional horizontal bajo un río. La tubería cuenta con un recubrimiento de tipo Fusion Bonded aplicado en planta de 16 milésimas de pulgada de espesor y una cubierta de 60 milésimas de pulgada de recubrimiento resistente a la abrasión. Las soldaduras circunferenciales de la tubería están recubiertas en campo con un recubrimiento de tipo epóxico líquido de 70 milésimas de pulgada. La PC será proporcionada por un sistema local dedicado al tramo de tubería con perforación direccional horizontal.

Suposiciones clave

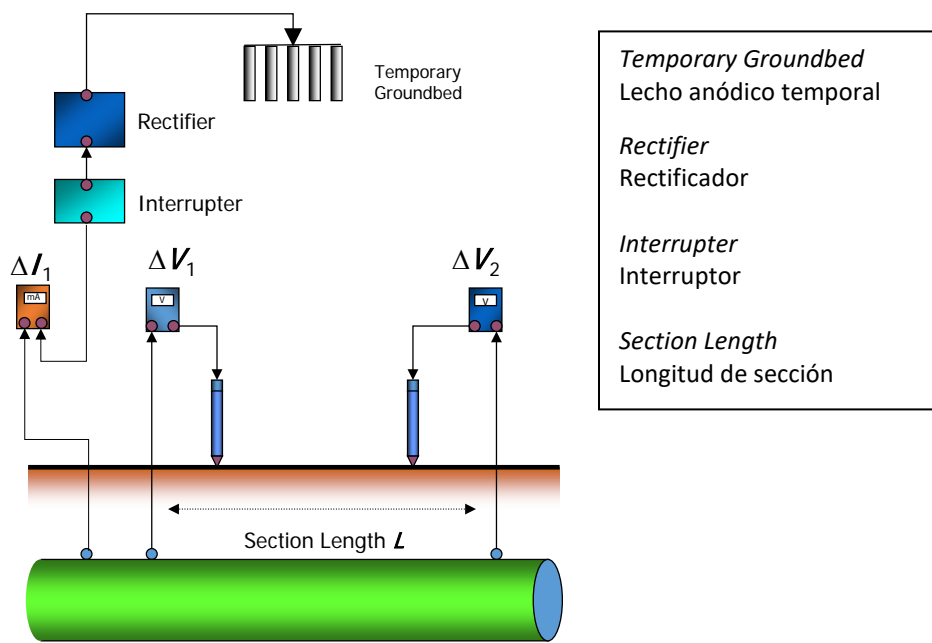
La calidad del recubrimiento y el requerimiento de PC serán evaluados antes de que la tubería sea soldada (conectada) a los segmentos aguas arriba y aguas abajo en los límites de la perforación direccional.

Material de Referencia

¿Qué es la Conductancia del Recubrimiento?

- Una medición relativa de la habilidad de un recubrimiento para conducir (colectar) corriente desde el Sistema de PC.
- La conductancia fue originalmente diseñada en unidades llamadas mhos (ohm deletreado al revés, su símbolo es \mathcal{U}).
- En la actualidad, la Unidad Internacional de medida de la Conductancia es Siemens ($S = 1/\Omega$).

A continuación, se muestra un esquema de configuración típico:



Se muestra un Comparador de Calidad de Recubrimiento en la siguiente Tabla:

Resistencia efectiva del Recubrimiento (ohm-ft ²)	Estimación de Calidad del Recubrimiento	Área desnuda (%)	Eficiencia del Recubrimiento
Desnuda	–	100	0
10,000	Insuficiente	3	97
25,000	Suficiente	1.2	98.8
50,000	Suficiente	0.6	99.4
100,000	Bueno	0.3	99.7
500,000	Excelente	0.06	99.94

Fórmulas aplicables (Serán proporcionadas)

- Prueba de corriente aplicada = I_T
- Cambio de voltaje como resultado de la prueba de corriente aplicada ΔV_1 and ΔV_2
- Resistencia a Tierra de la Tubería $R_p = \Delta V_{AVG} / \Delta I_T$
- Resistencia del Recubrimiento de la Tubería $R_c = R_p \times A$ donde $A = \pi dL$
- Conductancia del Recubrimiento de la Tubería S is $1/R_c$

Datos aplicables

- Los potenciales tubería-electrolito nativos (estáticos) en las ubicaciones V1 y V2 son -0.800 Volts/CSE y -0.630 Volts/CSE respectivamente.
- La corriente de prueba aplicada es de 0.050 amperes.
- Los potenciales tubería-electrolito con corriente aplicada "ENCENDIDO (ON)" en las ubicaciones V1 y V2 son -1.400 Volts/CSE y -1.300 Volts/CSE respectivamente.
- Los potenciales tubería-electrolito "APAGADO (OFF)" en las ubicaciones V1 y V2 son -0.850 Volts/CSE y -0.780 Volts/CSE respectivamente.

Preguntas

1. ¿Qué técnica es mejor para evaluar la calidad del recubrimiento protector de una tubería?
 - A. Levantamiento de potenciales a intervalos cortos
 - B. Medición de potenciales tubería-electrolito
 - C. Medición de la conductancia del recubrimiento
 - D. Levantamiento de atenuación de corriente
2. En el ejemplo proporcionado, ¿Cuál es la Resistencia calculada Tubería-Tierra R_p ?
 - A. 27Ω
 - B. 16.3Ω
 - C. 13.7Ω
 - D. 10.7Ω
 - E. 3Ω
3. En el ejemplo proporcionado, ¿Cuál es la Resistencia del Recubrimiento de la tubería calculada R_C ?
 - A. $650,000 \text{ Ohm-pie}^2$
 - B. $302,535 \text{ Ohm-pie}^2$
 - C. $250,364 \text{ Ohm-pie}^2$
 - D. $52,298 \text{ Ohm-pie}^2$
 - E. $102,000 \text{ Ohm-pie}^2$
4. En el ejemplo proporcionado, ¿Cuál es la Conductancia del recubrimiento de la tubería S ?
 - A. $1.305 \mu\text{S}$
 - B. $200 \mu\text{S}$
 - C. $3.304 \mu\text{S}$
 - D. $10 \times 10^{-6} \text{ S}$
 - E. $23 \times 10^{-6} \text{ S}$
5. Empleando los datos proporcionados, ¿Cuál es la corriente requerida total para alcanzar un potencial mínimo de polarización de -0.900 Volts/CSE ?
 - A. 100 mA
 - B. 50 mA
 - C. 0.090 Amperes
 - D. 0.050 Amperes
 - E. 1.500 Amperes
6. Usando la información proporcionada, califica la calidad del recubrimiento.
 - A. Insuficiente
 - B. Suficiente
 - C. Bueno
 - D. Excelente
 - E. Muy malo
 - F. Very Poor

Clave de respuestas

1. C
2. D
3. B
4. C
5. C
6. C

Preparación

Entrenamiento – No Requerido

NACE Cathodic Protection Technologist—Curso CP 3 (Disponible)

NACE Cathodic Protection Technician—Curso CP 2 (Disponible)

NACE Cathodic Protection Tester— Curso CP 1 (Disponible)

Material de Estudio Recomendado

Libros

Peabody, A. W. (2001). *Peabody's control of pipeline corrosion* (No. Ed. 2). NACE international.

NACE Cathodic Protection Technologist—CP 3 course material

Normas

NACE International SP 0207 (2007). “Performing Close Interval Potential Surveys and DC Surface Potential Gradient Surveys on Buried or Submerged Metallic Pipelines.” NACE International.

NACE International SP 0169 (2013). “Control of External Corrosion on Underground of Submerged Metallic Piping Systems.” NACE International.

NACE International SP 0177 (2014). “Mitigation of Alternating Current and Lightning Effects on Metallic Structures and Corrosion Control Systems.” NACE International.

Calculadoras

Students will have access to either a TI Standard or TI Scientific calculator for use during the CBT Exam.

Standard Calculator



Standard Mode Functions

Add	$+$	
Subtract	$-$	
Multiply	\times	
Divide	\div	
Negative	$(-)$	
Percentage	$\%$	
Square Root	$\sqrt{\quad}$	Example: $4\sqrt{\quad}$
Reciprocal (Inverse)	x^{-1}	Example: $1\div 2\equiv$
Store value to variable	$M+$	Example: $3*5\equiv M+$
Access variable	MRC	Example: $7\div MRC\equiv$
Clear variable	$M- MRC$	

Scientific Calculator



Scientific Mode Functions

Add	$+$	
Subtract	$-$	
Multiply	\times	
Divide	\div	
Negative	$(-)$	
Percentage	$2^{nd} [\%]$	
Square Root	$\sqrt{\quad}$	Example: $2^{nd} \sqrt{\quad} 4 \text{ enter}$
Reciprocal (Inverse)	X^{-1}	Example: $2 X^{-1} \text{ enter}$
Store value to variable	$\text{sto} \blacktriangleright X^{y^z}$	Example: $3 * 5 \text{ enter } \text{sto} \blacktriangleright X^{y^z} \text{ enter}$
Access variable	X^{y^z} or $2^{nd} [\text{recall}]$	Example: $7 \div 2^{nd} [\text{recall}] \text{ enter } \text{enter}$

Numeric Notation

Standard (Floating Decimal) Notation (digits to the left and right of decimal)	mode menu options NORM SCI ENG e.g. 123456.78 FLOAT 0 1 2 3 4 5 ... e.g. 123456.7800
Scientific Notation (1 digit to the left of decimal and appropriate power of 10)	mode menu options NORM SCI ENG e.g. 1.2345678*10 ⁵
Engineering Notation (numer from 1 to 999 times 10 to an integer power that is a multiple of 3)	mode menu options NORM SCI ENG e.g. 123.45678*10 ³

Fractions

Simple fractions	$\boxed{n/d}$
Mixed numbers	$\boxed{2nd} [Un/d]$
Conversion b/w simple fraction and mixed number	$\boxed{2nd} [n/d \leftrightarrow Un/d]$
Conversion b/w fraction and decimal	$\boxed{2nd} [f \leftrightarrow d]$

Powers, roots, and inverses

Square a value	$\boxed{x^2}$	
Cube a value	$\boxed{\wedge}$	
Raise value to specified power	$\boxed{\wedge}$	Example (2^4) $2 \boxed{\wedge} 4$
Square root	$\boxed{2nd} [\sqrt{\quad}]$	Example ($\sqrt{16}$): $\boxed{2nd} [\sqrt{\quad}] 16$
Reciprocal	$\boxed{x^{-1}}$	Example (n^{th} root): 5^{th} root of 8: $5 \boxed{2nd} [\sqrt{\quad}] 8$

Pi

PI (π)	$\boxed{\pi}$
--------------	---------------


Toggle

The scientific calculator might show the results of certain calculations as a fraction - possibly involving pi or a square root. To convert this kind of result to a single number with a decimal point, you will need to use the "toggle answer" button circled in the picture below. Pressing this button will change the display from a fractional to a decimal format.



Answer Toggle



Press the  key to toggle the display result between fraction and decimal answers, exact square root and decimal, and exact pi and decimal.

Example

Answer toggle	$\boxed{2nd} [\sqrt{\quad}] 8 \text{ enter}$	$\sqrt{8}$ $2\sqrt{2}$
	$\boxed{2nd} [\sqrt{\quad}]$	$\sqrt{8}$ $2\sqrt{2}$ 2.828427125

Nota: Si le parece que esta calculadora en pantalla es difícil de usar, levante la mano y pregunte al Administrador del Examen para que le proporcione una calculadora portátil. Si hay disponibles, le será proporcionada una calculadora científica o no-científica. Los candidatos no tienen permitido traer su propia calculadora dentro del cuarto de examen.

Material de Referencia propuesto para el examen

NOTA: Todas las referencias, incluyendo ecuaciones, fueron obtenidas de su fuente original y pueden diferir de aquellas empleadas en los manuales del curso y presentaciones.

ECUACIONES

RESISTENCIA A TIERRA DE UN ÁNODO VERTICAL

$$R_V = \left[\frac{0.00521\rho}{L} \right] \left[\ln \left[\frac{8L}{d} \right] - 1 \right]$$

Donde

R_v = resistencia en ohms

ρ = resistividad en ohm-cm

L = longitud de ánodo en pies

d = diámetro del ánodo en pies

○

$$R_v = \left[\frac{\rho}{2\pi L} \right] \left[\ln \left[\frac{8L}{d} \right] - 1 \right]$$

Donde

R_v = resistencia en ohms

ρ = resistividad en ohm-m

L = longitud de ánodo en metros

d = diámetro del ánodo en metros

RESISTENCIA A TIERRA DE MÚLTIPLES ÁNODOS VERTICALES

$$R_v = \left[\frac{0.00521\rho}{NL} \right] \left[\ln \left[\frac{8L}{d} \right] - 1 + \left[\frac{2L}{S} \right] \ln(0.66N) \right]$$

Donde

R_v = resistencia en ohms

ρ = resistividad en ohm-cm

L = longitud de ánodo en pies

d = diámetro del ánodo en pies

S = espaciamiento entre ánodos de centro a centro en pies

d = diámetro del ánodo en pies

○

$$R_v = \left[\frac{\rho}{2\pi NL} \right] \left[\ln \left[\frac{8L}{d} \right] - 1 + \left[\frac{2L}{S} \right] \ln(0.66N) \right]$$

Donde

R_v = Resistencia en ohms

ρ = Resistividad en ohm-metro

L = Longitud de ánodo en metros

N = Número de ánodos

S = espaciamiento entre ánodos de centro a centro en metros

d = diámetro del ánodo en metros

NOTA: Use las unidades especificadas.

RESISTENCIA A TIERRA DE UN ÁNODO HORIZONTAL

$$R_H = \left[\frac{0.00521\rho}{L} \right] \left[\ln \left[\frac{4L^2 + 4L\sqrt{S^2 + L^2}}{dS} \right] + \frac{S}{L} - \frac{\sqrt{S^2 + L^2}}{L} - 1 \right]$$

Donde

R_H = Resistencia en ohms

ρ = resistividad en ohm-cm

L = longitud de ánodo en pies

S = dos veces la profundidad del ánodo en pies

d = diámetro del ánodo en pies

○

$$R_H = \left[\frac{\rho}{2\pi L} \right] \left[\ln \left[\frac{4L^2 + 4L\sqrt{S^2 + L^2}}{dS} \right] + \frac{S}{L} - \frac{\sqrt{S^2 + L^2}}{L} - 1 \right]$$

Donde

R_H = Resistencia en ohms

ρ = resistividad en ohm-m

L = longitud del ánodo en metros

S = dos veces la profundidad del ánodo en metros

d = diámetro del ánodo en metros

RESISTENCIA A TIERRA DE MÚLTIPLES ÁNODOS HORIZONTALES

$$R_T = \frac{R_H}{N} F$$

Donde

R_T = Resistencia de múltiples ánodos horizontales en ohms

F = Interferencia del ánodo o Factor Crowding

R_H = Resistencia de un solo ánodo horizontal en ohms

N = número de ánodos

INTERFERENCIA ENTRE ÁNODOS (Factor Crowding)

$$F = 1 + \frac{\rho}{\pi S R_H} \ln 0.66N$$

Donde

F = Interferencia del ánodo o Factor Crowding

ρ = resistividad en ohm-m

R_H = resistencia de un solo ánodo horizontal en ohms

N = número de ánodos

S = distancia entre ánodos en metros

CALCULAR LA RESISTENCIA DE LA TUBERÍA O DEL CABLE A PARTIR DE LA RESISTIVIDAD (Ley de Pouillet)

$$R = \rho L/A$$

Donde

R = Resistencia en ohms

ρ = resistividad en ohm-cm

A = área de la sección transversal en cm²

L = longitud en cm

RESISTIVIDAD DEL SUELO WENNER

$$\rho = 2\pi AR$$

Donde

ρ = resistividad del suelo en ohm-cm

A = distancia entre puntas en cm

R = resistencia del suelo en ohms {lectura del instrumento}

o

$$\rho = 191.5 AR$$

Where

ρ = resistividad el suelo en ohm-cm

A = distancia entre puntas en pies

R = resistencia del suelo en ohms {lectura del instrumento}

ATENUACIÓN

$$\alpha = \sqrt{rg}$$

Donde

α = constante de atenuación

r = resistencia longitudinal de la estructura en ohms

g = conductancia a tierra en S

$$r' = R_L A_S$$

Donde

r' = resistencia específica a fugas en ohm-m² (ohm-pie²)

R_L = resistencia a fuga promedio total en ohms

A_S = área total superficial en m² (ft²)

$$R_G = \sqrt{\frac{r}{g}}$$

Donde

R_G = resistencia característica

r = resistencia longitudinal de la estructura en ohms

g = conductance to earth in S

DENSIDAD DE CORRIENTE CA

$$i_{AC} = \frac{8V_{AC}}{\rho\pi d}$$

Donde

i_{AC} = densidad de corriente CA en A / m²

V_{AC} = Volts CA en V

ρ = resistividad del suelo en ohm-m

d = diámetro del holiday en metros

CONVERSIÓN DE TEMPERATURAS

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32^{\circ})$$

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} (^{\circ}\text{C}) + 32$$

CONVERSIÓN DE TEMPERATURA DEL ELECTRODO DE REFERENCIA

$$E = E_{25^{\circ}\text{C}/\text{SHE}}^{\circ} + k_t(T - 25^{\circ}\text{C})$$

Where

k_t = coeficiente de temperatura en mV/($^{\circ}\text{C}$)

E_t = potencial de referencia a temperatura T en $^{\circ}\text{C}$ (SHE)

$E_{25^{\circ}\text{C}/\text{SHE}}^{\circ}$ = potencial de referencia a 25 $^{\circ}\text{C}$

CORRECCIÓN DE MEDICIÓN DE IMPEDANCIA DE ENTRADA

$$E_{true} = \frac{V_h(1 - K)}{1 - K \frac{V_h}{V_l}}$$

Where

E_{true} = potencial verdadero en V

K = relación de resistencia de entrada $\frac{R_l}{R_h}$

R_l = resistencia de entrada más baja en ohms

R_h = resistencia de entrada más alta en ohms

V_l = voltaje medido con la resistencia de entrada más baja en V

V_h = voltaje medido con la resistencia de entrada más alta medido en V

LONGITUD DE LA ESTRUCTURA SIN RECUBRIMIENTO RECIBIENDO PROTECCIÓN

$$L = 2d \tan 60^{\circ}$$

Donde

d = distancia perpendicular entre ánodo y estructura

L = longitud de la estructura recibiendo protección

CAPA DE BARNES

$$R_{L2} = \frac{R_1 R_2}{(R_1 - R_2)}$$

Where

R_{L2} = resistencia de la capa 2 en ohms

R_1 = resistencia medida a la profundidad S_1 en ohms

R_2 = resistencia medida a la profundidad S_2 en ohms

$L_2 = S_2 - S_1$

LEY DE KIRCHHOFF

$$V_m = \frac{R_m}{R_t} \times E_t$$

Donde

V_m = Caída de voltaje a través del voltímetro

R_m = resistencia de entrada del voltímetro

R_t = resistencia total

E_t = potencial verdadero

ECUACIÓN DE NERNST

$$E_M = E_{M^o} + \frac{RT}{nF} \ln \frac{\alpha^{M^{n+}}}{\alpha^{M^o}}$$

Where

E_M = potencial del metal

E_{M^o} = potencial del metal a condiciones estandarizadas

R = constante universal de los gases (J/mol-°K)

T = temperature absoluta en Kelvin

F = Constante de Faraday (96,500 Coulombios)

$\alpha^{M^{n+}}$ = actividad iónica del metal

α^{M^o} = actividad del metal

n = número de electrones transferidos

CONVERSIONES

EMF	electromotive force – any voltage unit
E or e	any voltage unit
V	volts
mV	millivolts
μ V	microvolts
I	any amperage unit
mA	milliamperes or milliamps
μ A	microamperes or microamps
R or Ω	Resistance

1,000,000 volts	= 1 megavolt
1,000 volts	= 1 kilovolt
1.0 volt	= 1000 millivolts
0.100 volt	= 100 millivolts
0.010 volt	= 10 millivolts
0.001 volt	= 1 millivolt
0.000001 volt	= 1 microvolt

1,000,000 amperes	= 1 mega-ampere
1,000 amperes	= 1 kiloampere
1.0 ampere	= 1000 milliamperes
0.100 ampere	= 100 milliamperes
0.010 ampere	= 10 milliamperes
0.001 ampere	= 1 milliampere
0.000001 ampere	= 1 microampere

1,000,000 ohms	= 1 mega-ohm
1,000 ohms	= 1 kilo-ohm
1.0 ohms	= 1000 milliohms
0.100 ohm	= 100 milliohms
0.010 ohm	= 10 milliohms
0.001 ohm	= 1 milliohm
0.000001 ohm	= 1 micro-ohm

1 meter	= 100 cm
1 meter	= 1000 mm
1 inch	= 2.54 cm
1 foot	= 30.48 cm

Conversiones Métricas para Unidades de Medición Habituales en los Estados Unidos Comúnmente Empleadas en Publicaciones Relacionadas con Corrosión

1 A/ft ²	= 10.76 A/m ²	1 inH ₂ O	= 249.1 Pa
1 acre	= 4,047 m ² = 0.4047 ha	1 knot	= 0.5144 m/s
1 Ah/lb	= 2.205 Ah/kg	1 ksi	= 6.895 MPa
1 bbl (oil, U.S.)	= 159 L = 0.159 m ³	1 lb	= 453.6 g = 0.4536 kg
1 bpd (oil)	= 159 L/d = 0.159 m ³ /d	1 lbf/ft ²	= 47.88 Pa
1 Btu	= 1,055 J	1 lb/ft ³	= 16.02 kg/m ³
1 Btu/ft ²	= 11,360 J/m ²	1 lb/100 gal (U.S.)	= 1.198 g/L
1 Btu/h	= 0.2931 W	1 lb/1,000 bbl	= 2.853 mg/L
1 Btu/h-ft ²	= 3.155 W/m ² (K-factor)	1 mA/in ²	= 0.155 mA/cm ²
1 Btu/h-ft ² -°F	= 5.678 W/m ² K	1 mA/ft ²	= 10.76 mA/m ²
1 Btu-in/h-ft ² -°F	= 0.1442 W/mK	1 Mbpd (oil)	= 159 kL/d = 159 m ³ /d
1 cfm	= 28.32 L/min = 0.02832 m ³ /min	1 mile	= 1.609 km
	= 40.78 m ³ /d		
1 cup	= 236.6 mL = 0.2366 L	1 square mile	= 2.590 km ²
1 cycle/s	= 1 Hz	1 mile (nautical)	= 1.852 km
1 ft	= 0.3048 m	1 mil	= 0.0254 mm = 25.4 μm
1 ft ²	= 0.0929 m ² = 929 cm ²	1 MMcfd	= 2.832 x 10 ⁴ m ³ /d
1 ft ³	= 0.02832 m ³ = 28.32 L	1 mph	= 1.609 km/h
1 ft-lbf (energy)	= 1.356 J	1 mpy	= 0.0254 mm/y = 25.4 μm/y
1 ft-lbf (torque)	= 1.356 N-m	1 oz	= 28.35 g
1 ft/s	= 0.3048 m/s	1 oz fluid (Imp.)	= 28.41 mL
1 gal (Imp.)	= 4.546 L = 0.004546 m ³	1 oz fluid (U.S.)	= 29.57 mL
1 gal (U.S.)	= 3.785 L = 0.003785 m ³	1 oz/ft ²	= 2.993 Pa
1 gal (U.S.)/min (gpm)	= 3.785 L/min = 0.2271 m ³ /h	1 oz/gal (U.S.)	= 7.49 g/L
1 gal/bag (U.S.)	= 89 mL/kg (water/cement ratio)	1 psi	= 0.006895 MPa = 6.895 kPa
1 grain	= 0.06480 g = 64.80 mg	1 qt (Imp.)	= 1.1365 L
1 grain/ft ³	= 2.288 g/m ³	1 qt (U.S.)	= 0.9464 L
1 grain/100 ft ³	= 22.88 mg/m ³	1 tablespoon (tbs)	= 14.79 mL
1 hp	= 0.7457 kW	1 teaspoon (tsp)	= 4.929 mL
1 microinch (μin)	= 0.0254 μm = 25.4 nm	1 ton (short)	= 907.2 kg
1 in	= 0.0254 m = 2.54 cm = 25.4 mm	1 U.S. bag cement	= 42.63 kg (94 lb)
1 in ²	= 6.452 cm ² = 645.2 mm ²	1 yd	= 0.9144 m
1 in ³	= 16.387 cm ³ = 0.01639 L	1 yd ²	= 0.8361 m ²
1 in-lbf (torque)	= 0.113 N-m	1 yd ³	= 0.7646 m ³
1 inHg	= 3.386 kPa		

TABLAS / ESCALAS

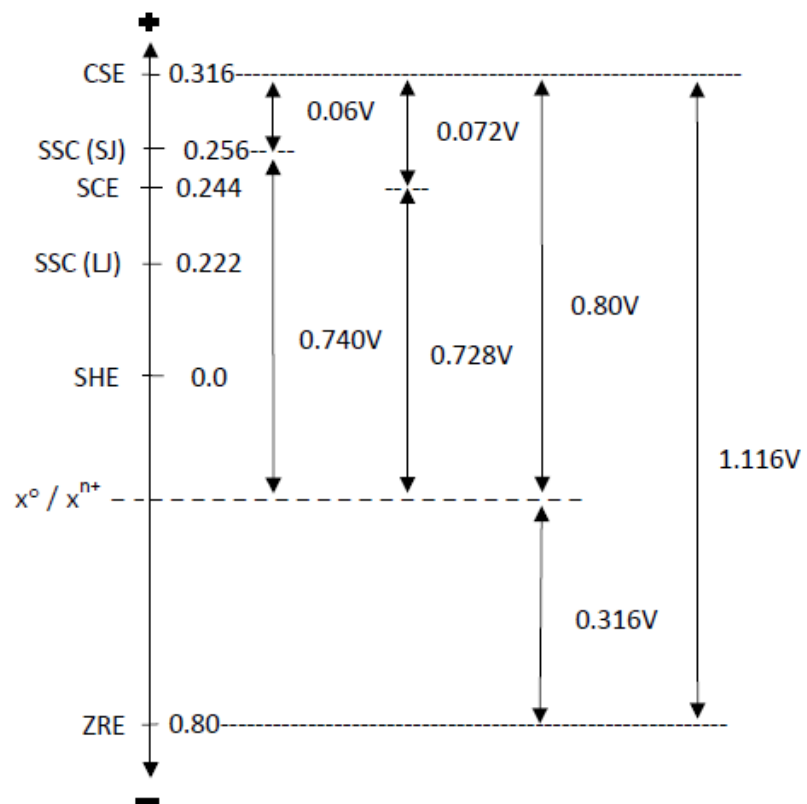
ELECTRODOS DE REFERENCIA COMÚNES, SUS POTENCIALES Y COEFICIENTES DE TEMPERATURA

Electrodo de referencia	Solución del electrolito	Potencial @ 25°C (V/ _{SHE})	Coefficiente de Temperatura (mV/°C)
Cu / CuSO ₄ (CSE)	Sat. CuSO ₄	+0.316	0.9
Ag / AgCl (SJ) (SSC)	0.6M NaCl (3½%)	+0.256	-0.33
Ag / AgCl (LJ) (SSC)	Sat. KCl	+0.222	-0.70
Ag / AgCl (LJ) (SSC)	0.1N KCl	+0.288	-0.43
Sat. Calomel (SCE)	Sat KCl	+0.244	-0.70
Zn (ZRE)	Solución salina	-0.79	---
Zn (ZRE)	Suelo	-0.80	---

SJ – Junta Sólida

LJ – Junta Líquida

ESCALA DE CONVERSIÓN DE ELECTRODOS DE REFERENCIA



(SJ) = only solid silver chloride (AgCl) over the silver wire.

(LJ) = a silver wire surrounded by a concentrated solution of KCl.

(SJ) = solo cloruro de plata sólido (AgCl) sobre alambre de plata.

(LJ) = un alambre de plata rodeado por una solución de KCl concentrada.

TASA DE CONSUMO TÍPICA Y CAPACIDAD DE DIFERENTES MATERIALES DE ÁNODOS EN SUELOS O AGUA DULCE

		Theoretical Consumption Rate		Theoretical Capacity		Typical Efficiency (1)
		kg / A-y	lb. / A-y	A-y / kg	A-y / lb.	%
Galvanic Anode Material	Magnesium	3.98	8.76	0.250	0.114	50
	Zinc	10.76	23.50	0.093	0.042	90
	Aluminum	2.94	6.49	0.340	0.155	85 - 95
Impressed Current Anode	Graphite / Carbon	0.1 to 1.0	0.22 to 2.2	10.1 to 1.0	4.5 to 0.45	
	High Silicon Iron	0.25 to 1.0	0.55 to 2.2	4.0 to 1.0	1.8 to 0.45	
	Steel	9.1	20	0.11	0.05	90

Note: Platinum clad and mixed metal oxide coated anodes are quantified by thickness of the surface film rather than by weight.

(1) Efficiency of galvanic anodes is dependent on the anode current density.

Theoretical Consumption Rate = Tasa de Consumo Teórica
 Theoretical Capacity = Capacidad Teórica
 Typical Efficiency = Eficiencia Típica
 Galvanic Anode Material = Material del ánodo galvánico
 Impressed Current Anode = Ánodo de Corriente Impresa

Magnesium = Magnesio Graphite / Carbon = Grafito / Carbón
 Zinc = Zinc High Silicon Iron = Hierro al Alto Silicio
 Aluminum = Aluminio Steel = Acero

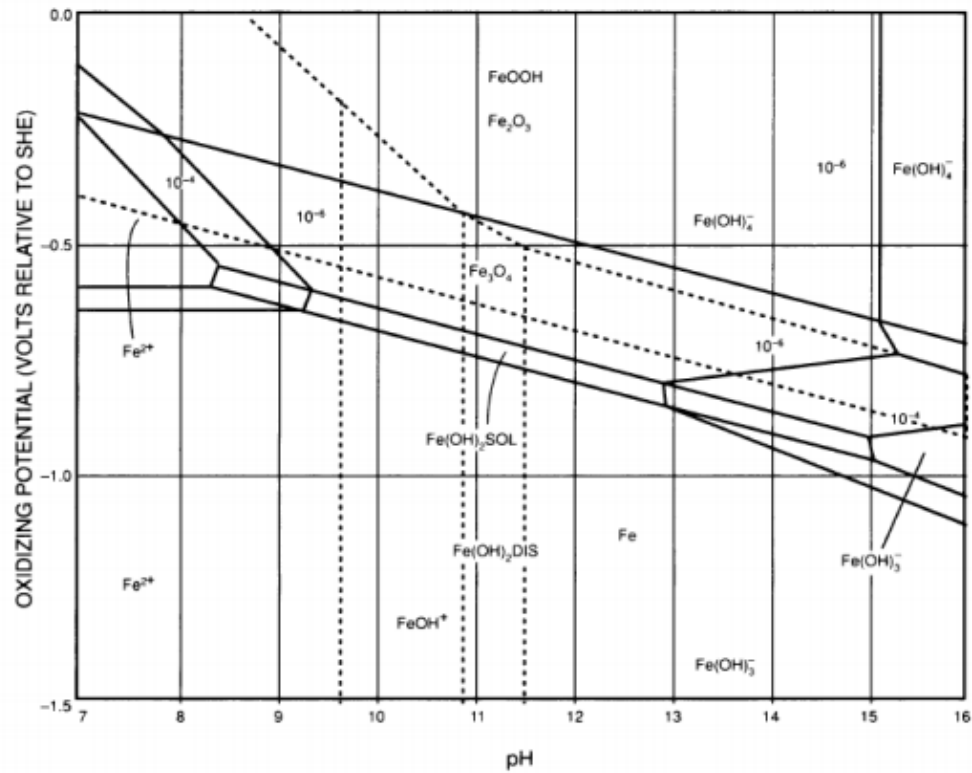
Nota: Los ánodos revestidos de platino o de óxidos metálicos son cuantificados por el espesor de la película de la superficie en lugar de su peso.
 (1) La eficiencia de los ánodos galvánicos depende de la densidad de corriente del ánodo.

DIAGRAMA POTENCIAL-Ph (POURBAIX) TÍPICO PARA HIERRO EN AGUA A 25°C

POTENCIAL DE OXIDACIÓN (VOLTS CON REFERENCIA A SHE)

ESPECIES IÓNICAS SE ENCUENTRAN EN ACTIVIDADES DE 10^{-4} Y 10^{-6}

TYPICAL POTENTIAL-pH (POURBAIX) DIAGRAM IRON IN WATER AT 25°C



IONIC SPECIES ARE AT ACTIVITIES OF 10^{-4} AND 10^{-6}

REFERENCIAS Y NORMAS EMPLEADOS PARA DESARROLLAR EL MATERIAL DE REFERENCIA

Peabody's Control of Pipeline Corrosion (No. Ed 2). Peabody, A.W. (2001). NACE International.

- Derived from equations in "Calculation of Resistance to Ground," by H.B. Dwight. *Electrical Engineering*, (1936).
- Derived from equations in "Earth Conduction Effects in Transmission Systems," by Erling D., Sunde. D. Van Nostrand Co., Inc. (1949).

Corrosion Tests and Standards: Application and Interpretation—Second Edition. (2005). Baboian, R. ASTM.

Handbook of Cathodic Corrosion Protection—Third Edition. Von Baeckmann, W., Schwenk, W., Prinz, W. (1997) Gulf Professional Publishing.

Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions. Pourbaix, M. (1974). NACE.

NACE Corrosion Engineers Reference Handbook, Baboian, 3rd Edition (2002)

Pipe Line Corrosion and Cathodic Protection, Parker, M.E. 3rd Edition (1999)

"A Comparison of Anodes for Impressed Current Systems," Jakobs, J.A., NACE Canadian Region, Western Conference. (1980)

"Soil Investigation Employing a New Method of Layer-Value Determination for Earth Resistivity Interpretation," Barnes, H.E. (1952). Michigan State Highway Department

"Improved Pipe-to-Soil Potential Survey Methods, PRCI Final Report," PR-186-807. Thompson, N.G., Lawson, K.M. (1991)

"American National Standard for Use of the International System of Units (SI): The Modern Metric System" ASTM SI 10. (2002). ASTM

NACE International SP 0207 (2007). "Performing Close Interval Potential Surveys and DC Surface Potential Gradient Surveys on Buried or Submerged Metallic Pipelines." NACE International.

NACE International Publication 35110 (2010). "AC Corrosion State-of-the-Art Corrosion Rate, Mechanism, and Mitigation Requirements." NACE International Task Group 327.

NACE International SP 0169 (2013). "Control of External Corrosion on Underground of Submerged Metallic Piping Systems." NACE International.

NACE International SP 0177 (2014). "Mitigation of Alternating Current and Lightning Effects on Metallic Structures and Corrosion Control Systems." NACE International.