

# PROTECCIÓN CATÓDICA

**INGENIERÍA QUÍMICA**

**Dr. Ricardo Orozco Cruz**

**Instituto de Ingeniería  
Universidad Veracruzana**



# **“Optativa: Corrosión III” Control y Prevención de la Corrosión**

## **V: PROTECCIÓN CATÓDICA**

### **ÍNDICE**

- 5.1.- Conocimiento de la Celda Electroquímica.**
- 5.2.- Protección Catódica: ¿Cómo funciona?**
- 5.2.- Protección Catódica por Ánodos de Sacrificio.**
- 5.3.- Protección Catódica por Corriente Impresa.**
- 5.4.- Criterios de Protección.**
- 5.5.- Diseño de Sistemas de Protección Catódica.**



# Protección catódica para el control de la corrosión

- Utilizando en estructuras metálicas en soluciones acuosas ( $\text{pH} > 3$ ).
- Descubierta por Sir Humphry Davy (1824).
- La protección de gasoductos y oleoductos comenzó en New Orleans en los años 20's.
- La necesidad de divulgar la tecnología de PC condujo al nacimiento de NACE (1943).



# Protección catódica

## ***Protección Catódica:***

polarización de todas las áreas de potenciales más nobles al potencial de las áreas más activas sobre la superficie metálica.

Se alcanza la protección catódica cuando la estructura se transforma en el cátodo de un sistema de corriente continua.





Universidad Veracruzana

# Fundamentos de la protección catódica



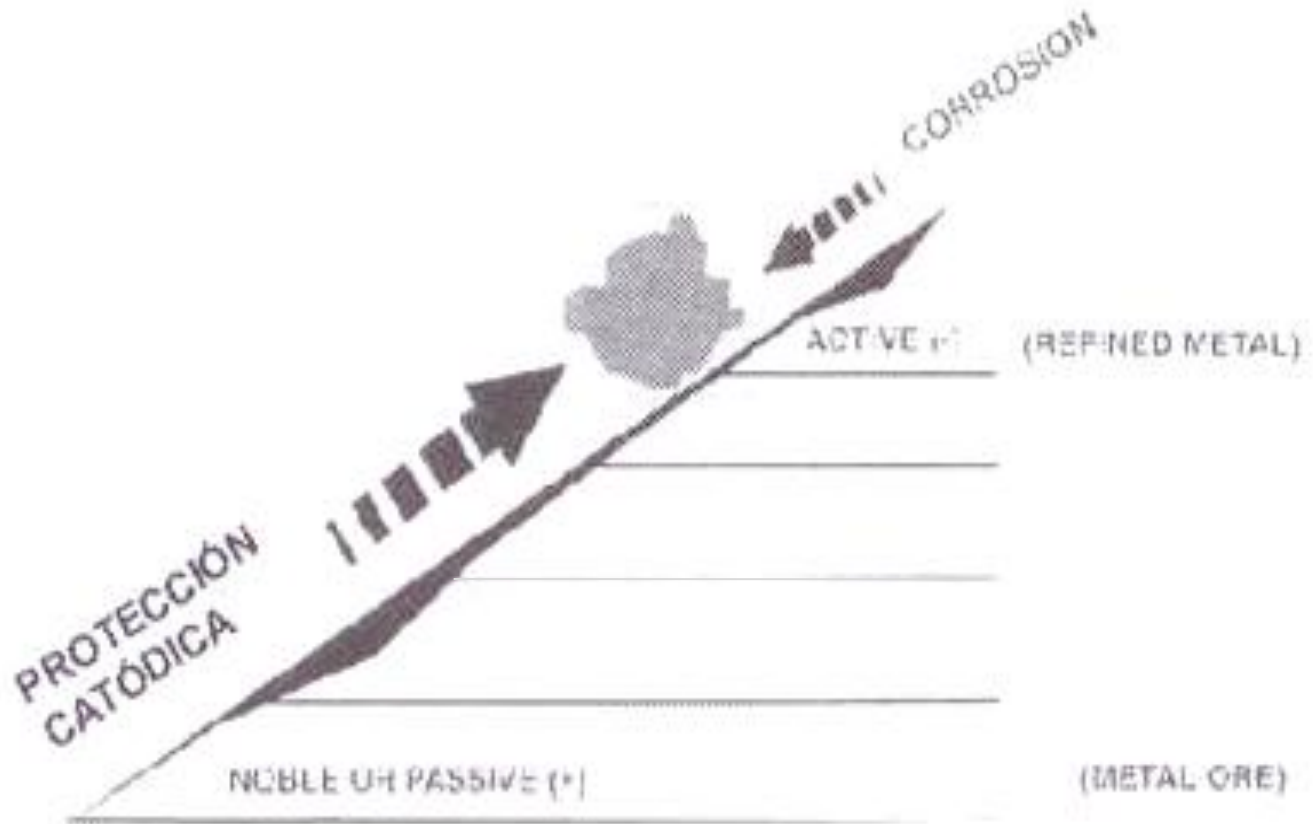
- Concepto de protección catódica.
- Protección por ánodos galvánicos.
- Protección por corriente impresa.
- Factores que inciden sobre la PC.
- Criterios de protección catódica.
- Continuidad eléctrica.
- Aislamiento eléctrico.





Universidad Veracruzana

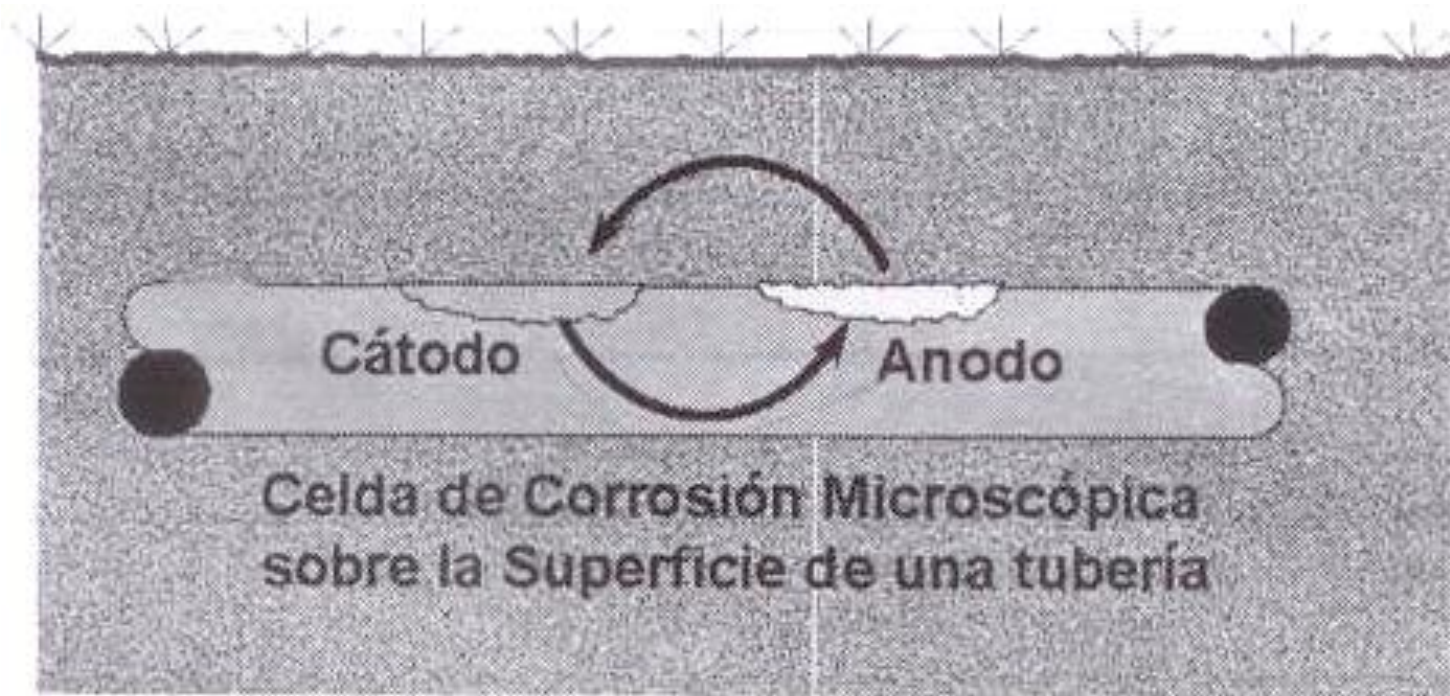
# Mantenimiento del nivel de energía





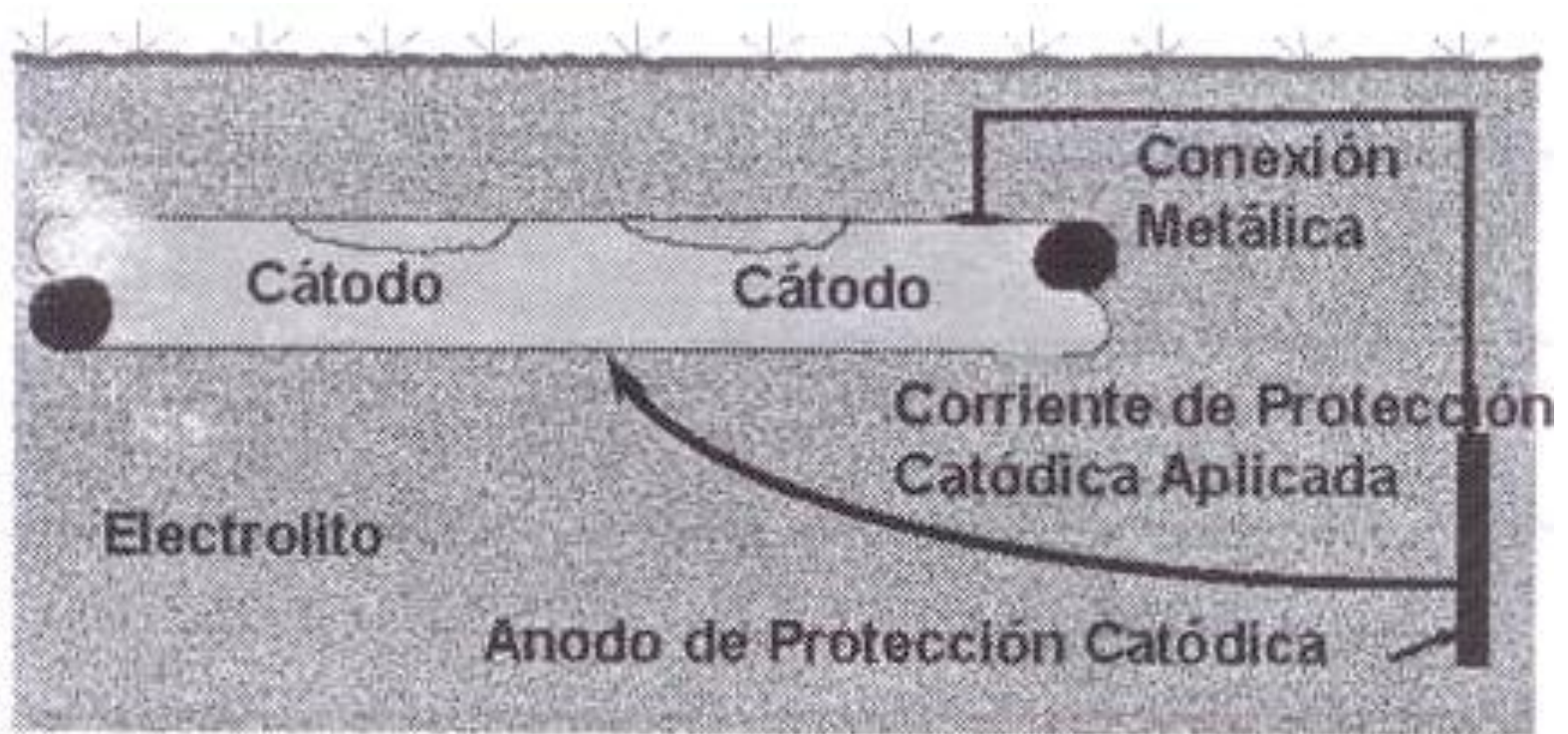
Universidad Veracruzana

# Vista microscópica de una celda de corrosión





# Protección catódica sobre una estructura (visión macroscópica)





# Definiciones

Ánodo	Punto sobre la superficie de la estructura donde la corriente es descargada hacia el electrolito.
Cátodo	Punto sobre la superficie de la estructura donde ingresa corriente.
Unión eléctrica	Conexión eléctrica entre el ánodo y la estructura.
Electrolito	Medio conductor entre la estructura y el ánodo (camino iónico).



# Estructuras que se protegen con PC

- Ductos enterrados.
- Tanques enterrados.
- Ductos sumergidos.
- Fondos de tanques AST.
- Interior de tanques de agua.
- Tanques de balasto.
- Cascos de barcos.
- Muelles.
- Tablestacado.
- Calzada de puentes.
- Pilotes de fundación.
- Interior de intercambiadores de calor.
- Interior de tanques de agua caliente.
- Armaduras en hormigón.
- Interior de tanques de tratamiento de crudo.
- Cables forrados con plomo.





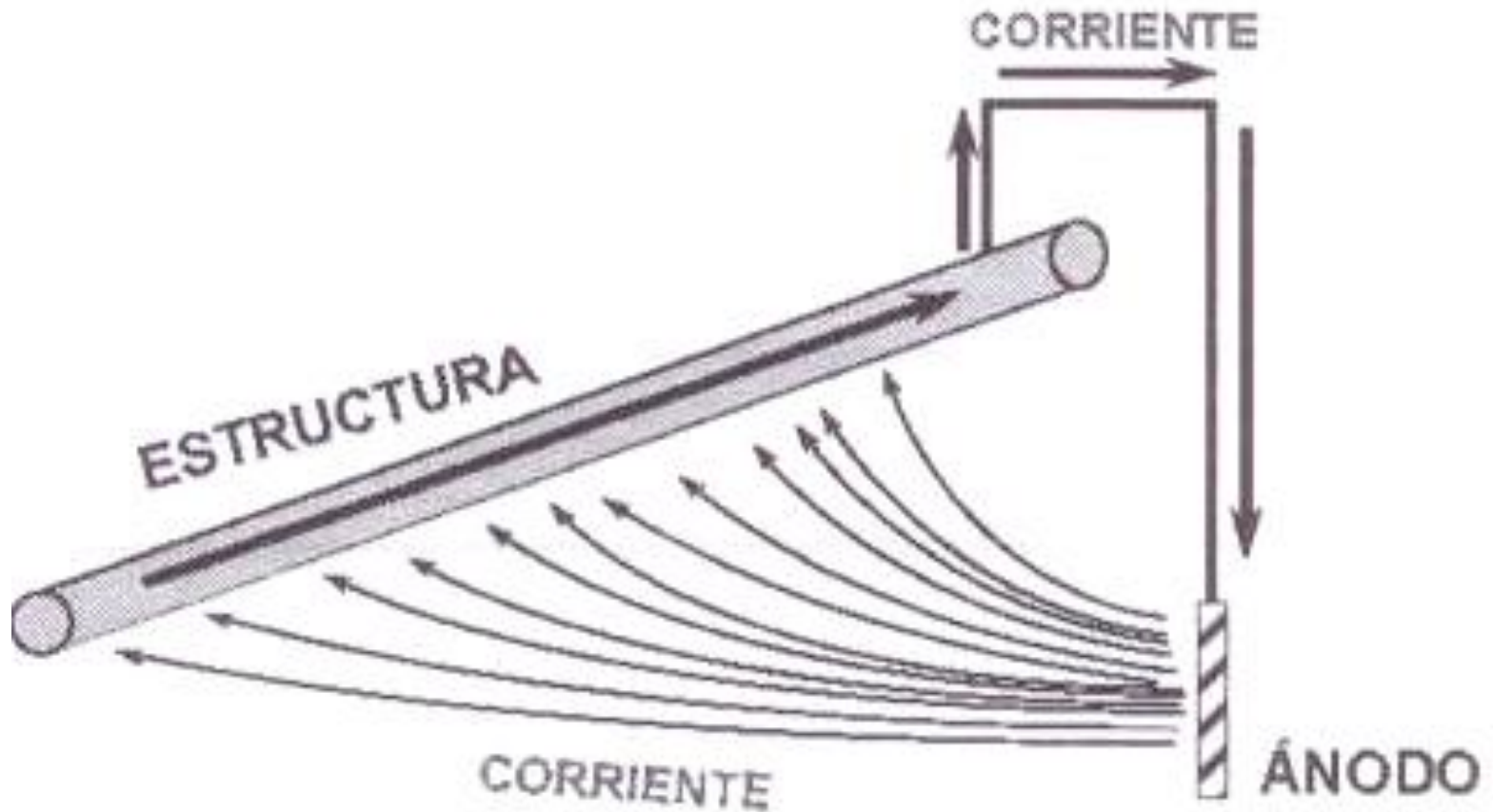
Universidad Veracruzana

# Sistemas de protección catódica

- Ánodos Galvánicos
- Corriente Impresa



# Sistema de protección catódica por ánodos galvánicos







# Aplicaciones de sistemas de ánodos galvánicos

- Cuando se requieren incrementos de corriente moderados y hay un electrolito de baja resistividad.
- Protección catódica localizada sobre una determinada parte de la superficie de una estructura.
- Cuando se requiere refuerzo de corriente en áreas críticas.
- En la zona de descarga de corriente de interferencia.
- Protección sobre estructuras en áreas congestionadas.
- Encamisados en corto.
- Áreas apantalladas.
- Superficies internas de recipientes.
- Estructuras costa afuera (Offshore).
- Válvulas desnudas o mal recubiertas.



Universidad Veracruzana

# Demostración por el Instructor



## EXPERIMENTO 3.1

Dr. Ricardo Orozco Cruz

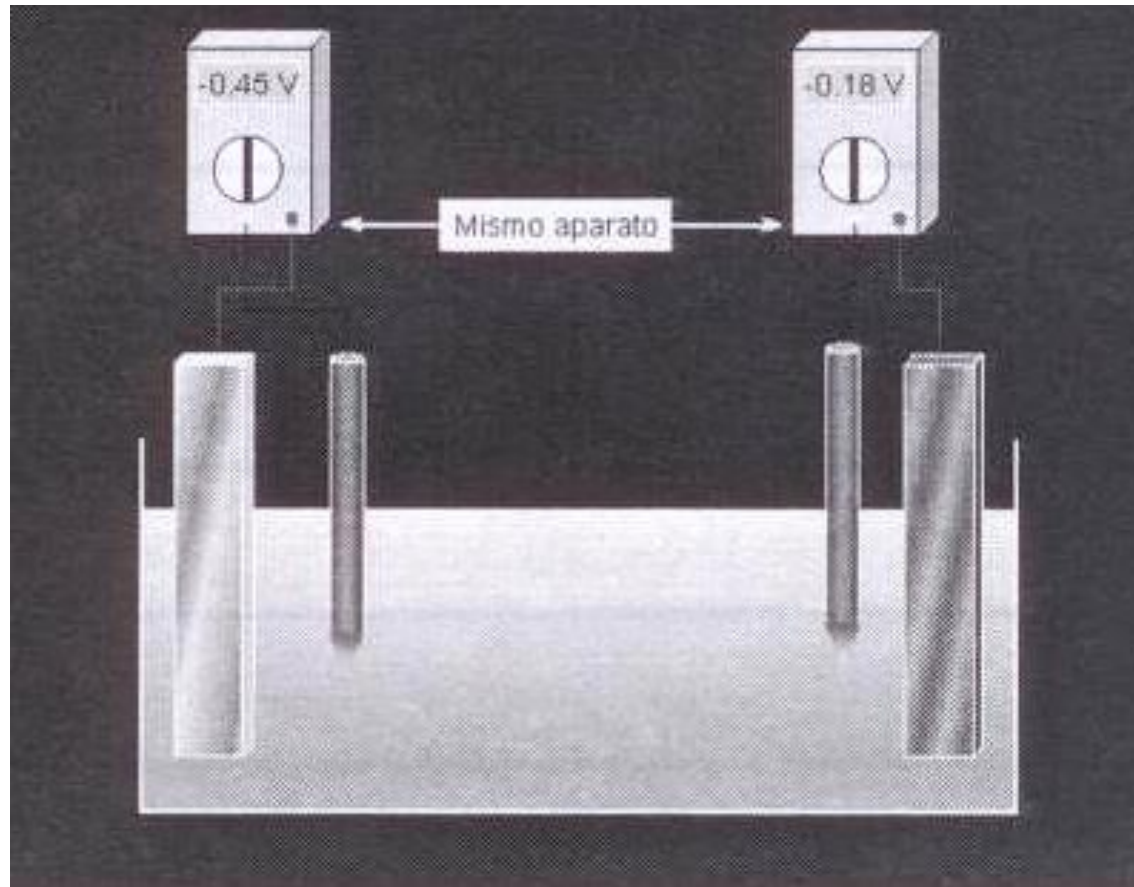


Universidad Veracruzana



Universidad Veracruzana

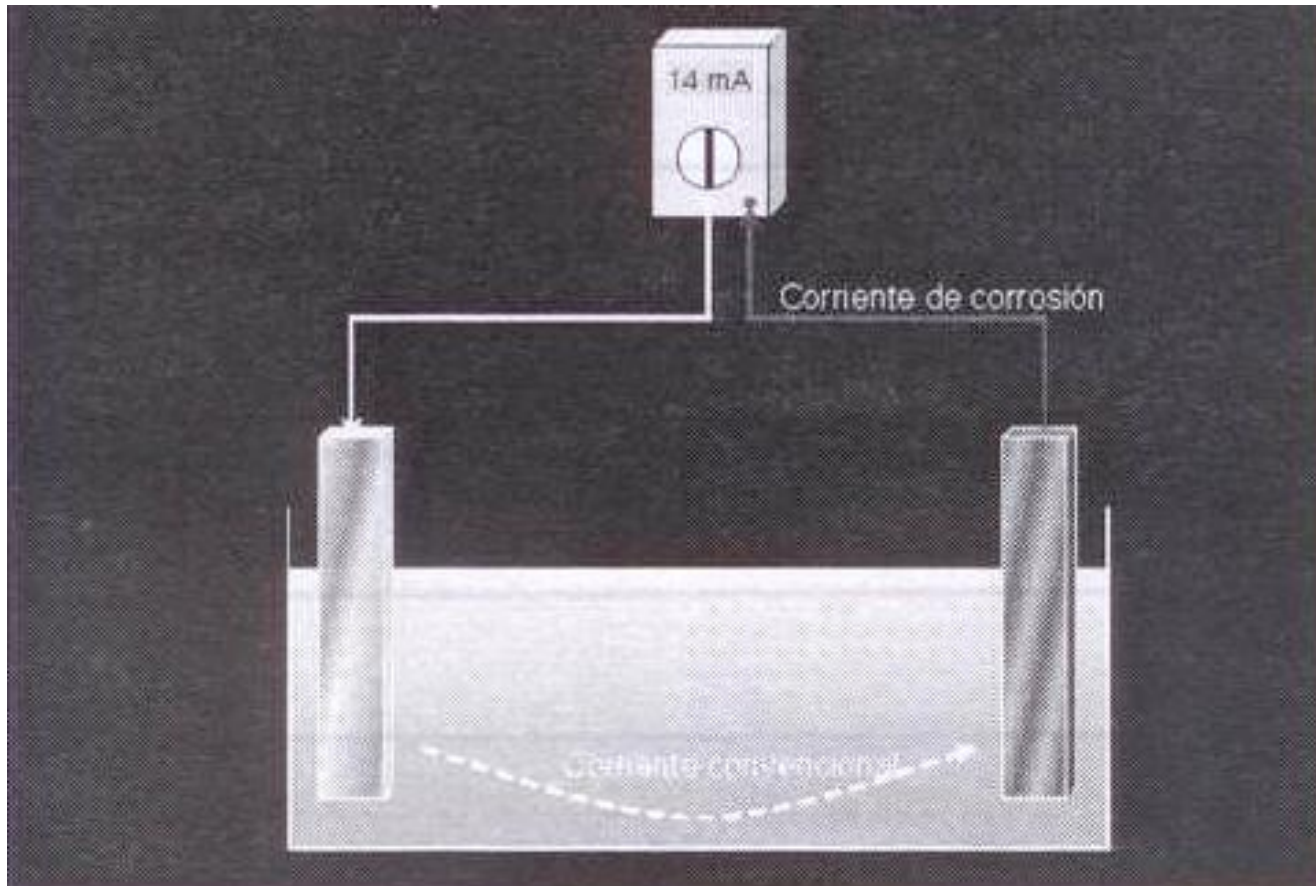
# Experimento 3.1: Pasos A1 – A3





Universidad Veracruzana

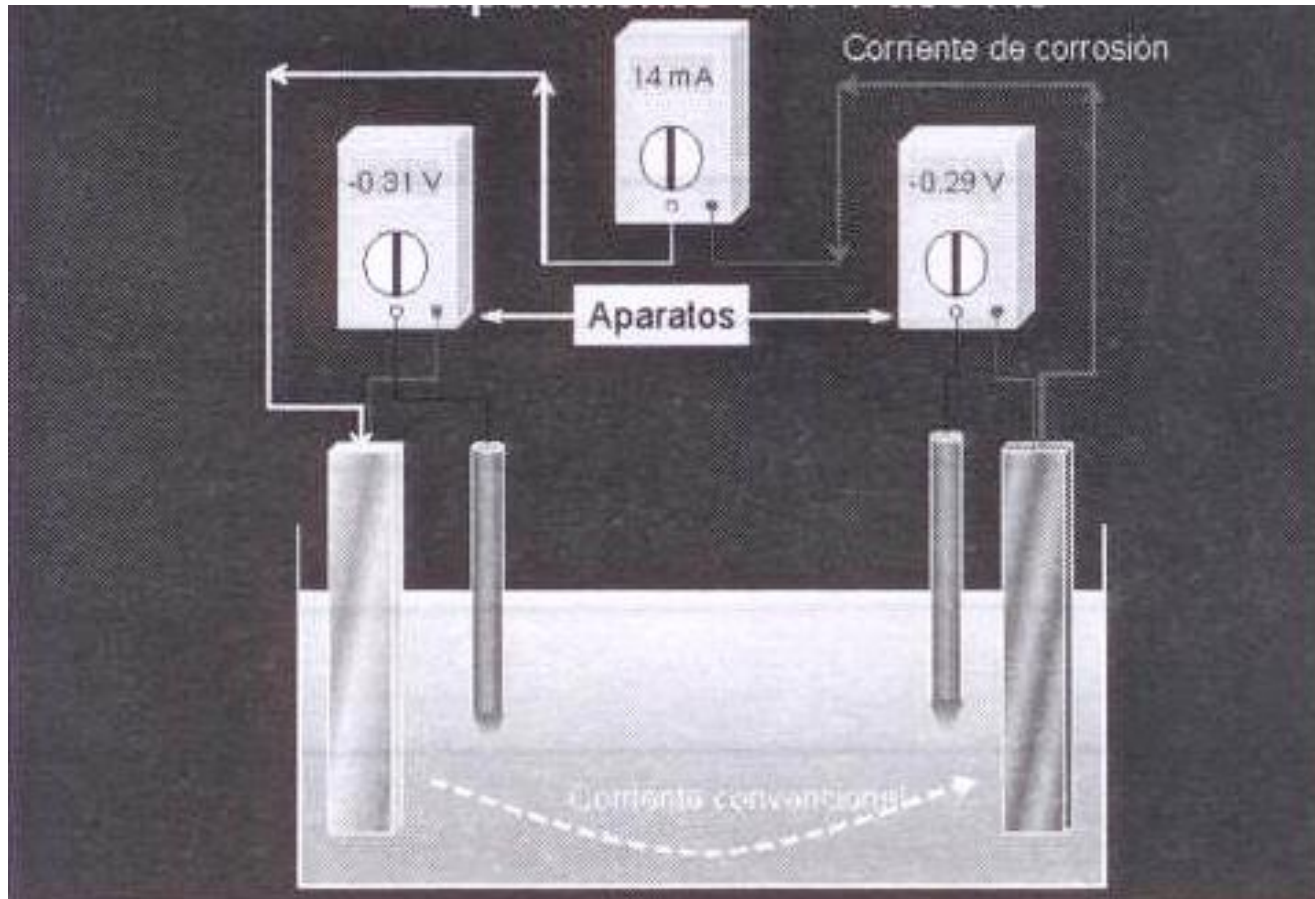
# Experimento 3.1: Pasos A4





Universidad Veracruzana

# Experimento 3.1: Pasos A5

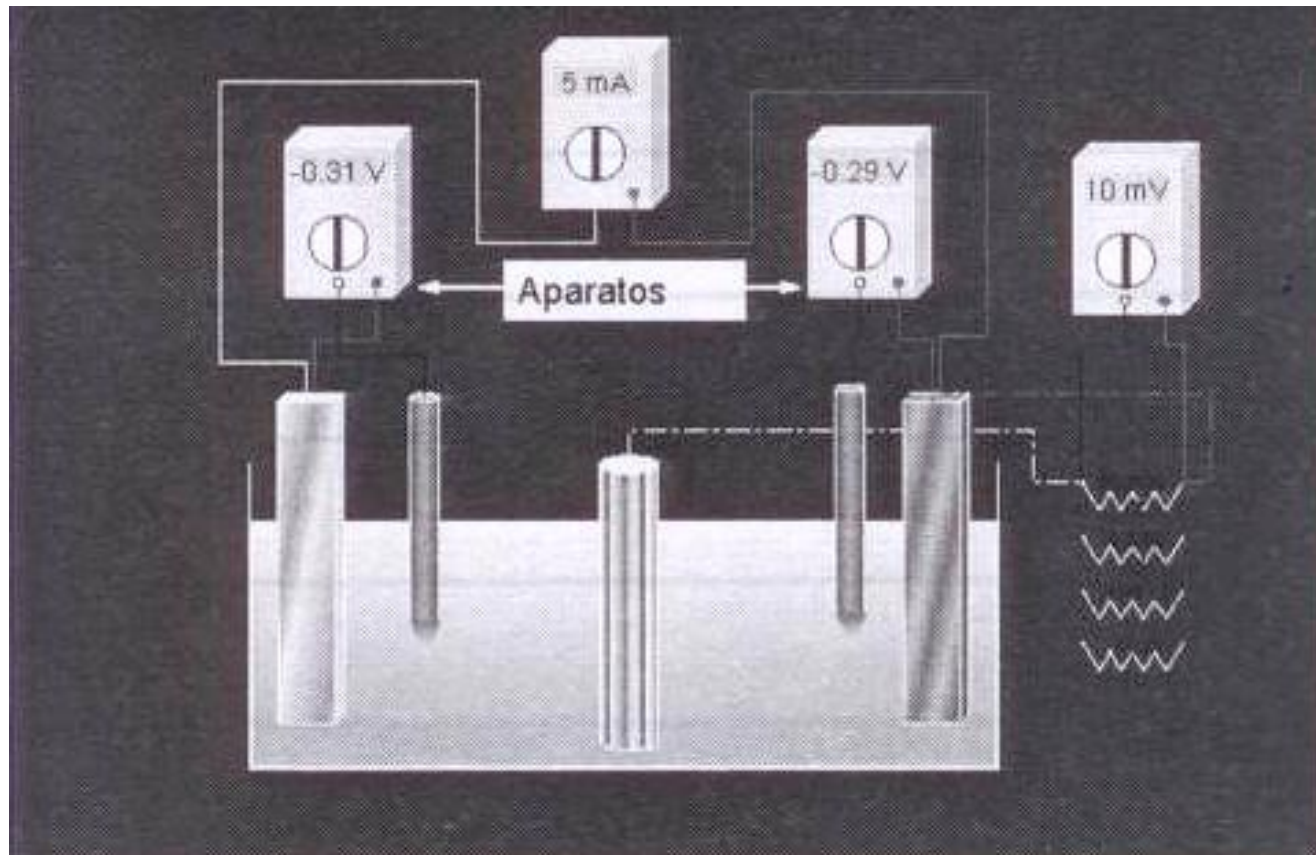






Universidad Veracruzana

# Experimento 3.1: Partes B y C





# Ventajas de los ánodos galvánicos

- No es necesario una fuente externa de energía.
- Requieren menos mantenimiento.
- Drenajes de corriente reducidos, lo que resulta en menor corriente de interferencia.
- Sencillos de instalar.
- Sencillo para agregar ánodos en la mayoría de los casos.
- Provee una buena distribución de corriente.
- Costos de servidumbre reducidos.



- Fuerza impulsora y corriente reducida.
- Pueden ser poco efectivos en zonas de alta resistividad.
- Para estructuras mal recubiertas se puede requerir una cantidad grande de ánodos.
- Mayor costo por ampere de corriente que para los sistemas de corriente impresa debido a la baja eficiencia (consumo propio de los ánodos).





# Ánodos galvánicos

- **Aluminio** – principalmente para uso en agua de mar.
- **Magnesio** – principalmente para uso en suelos y agua dulce.
- **Zinc** – un aleación para uso en agua de mar y otro para uso en suelos y aguas dulces.



# Aleaciones de Magnesio

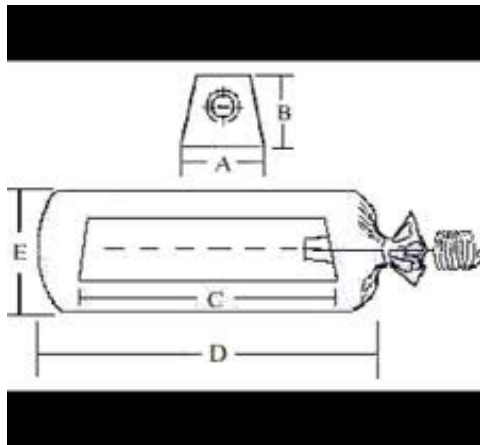
Los ánodos de magnesio están disponibles en los siguientes tipos de aleaciones:

- Alto potencial ( -1.75 vs ECS)
- Aleación Estándar ( -1.55 vs ECS)



Universidad Veracruzana

# Ánodos de Magnesio fundidos, empaquetados y extruidos





Universidad Veracruzana

# Ánodos de Magnesio





# Aleaciones de Zinc

Los ánodos de zinc están disponibles en dos aleaciones:

- Tipo 1 – Agua de mar y Salobre
- Tipo 2 – Suelos y Agua dulce



Universidad Veracruzana

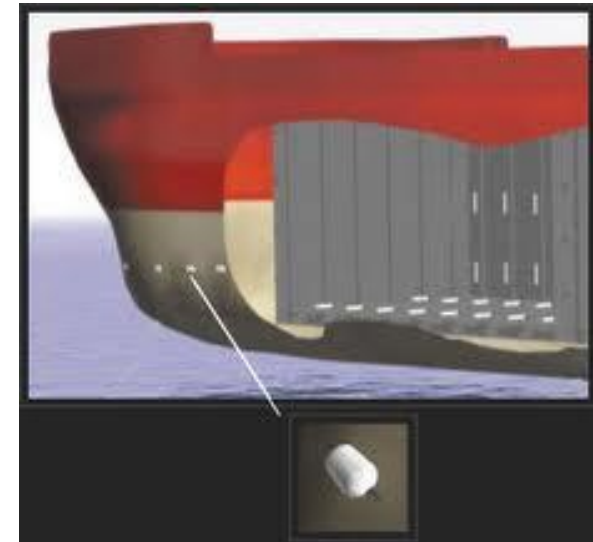
# Ánodos de Zinc y Cinta





Universidad Veracruzana

# Zinc para Cascos de Barcos, Tanques de Balasto y para Condensadores





# Aleaciones de Aluminio

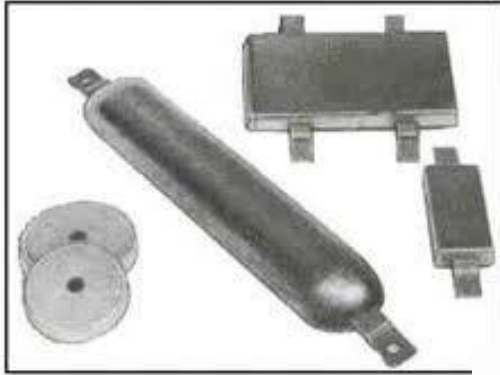
- **Galvalum I<sup>TM</sup>** - incluye zinc y mercurio para uso en agua de mar.
- **Galvalum II<sup>TM</sup>** - contiene zinc y mercurio para uso en lodos salinos.
- **Galvalum III<sup>TM</sup>** - contiene zinc e indio para uso en agua de mar, aguas salobres y lodos salinos.





Universidad Veracruzana

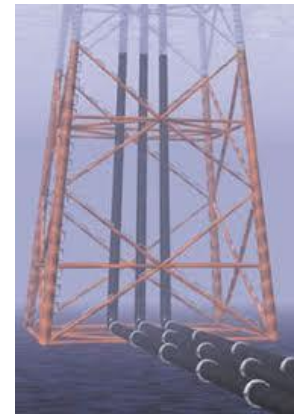
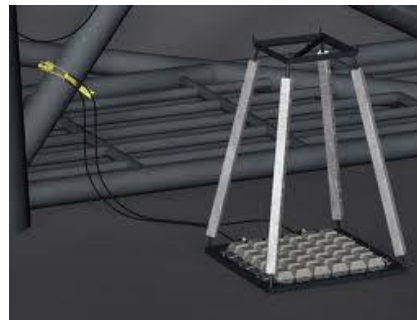
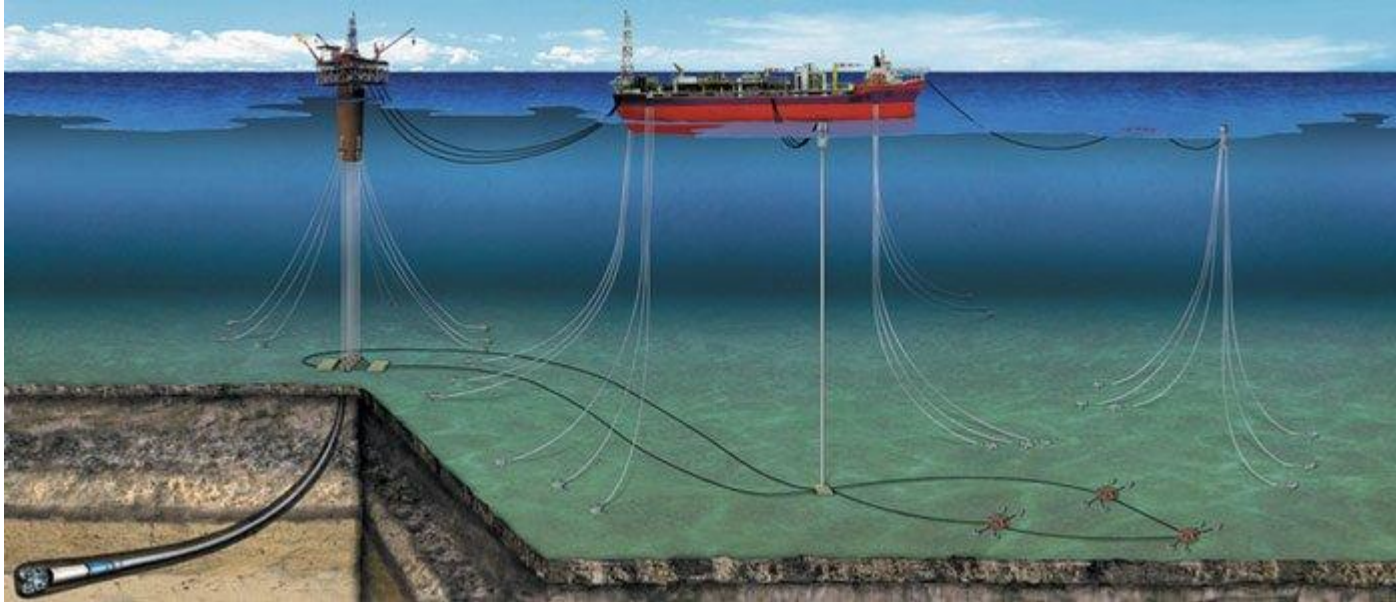
# Ánodos de Aluminio





Universidad Veracruzana

# Ánodos de Aluminio para Estructuras Offshore





# Relleno para Ánodos

- Material
  - 75% yeso
  - 20% bentonita
  - 5% sulfato de sodio
- Finalidad para su uso
  - Baja resistividad (<50 ohm-cm).
  - Absorbe agua.
  - Medio uniforme.





# Fijación de los Ánodos a las Estructuras

- Fijación directa por soldadura exotérmica.
- Soldadura exotérmica y conductor a través de una caja de medición.
- Fijar mecánicamente a la estructura y soldar un chicote con soldadura exotérmica.
- Soldadura directo del alma del ánodo a la estructura.



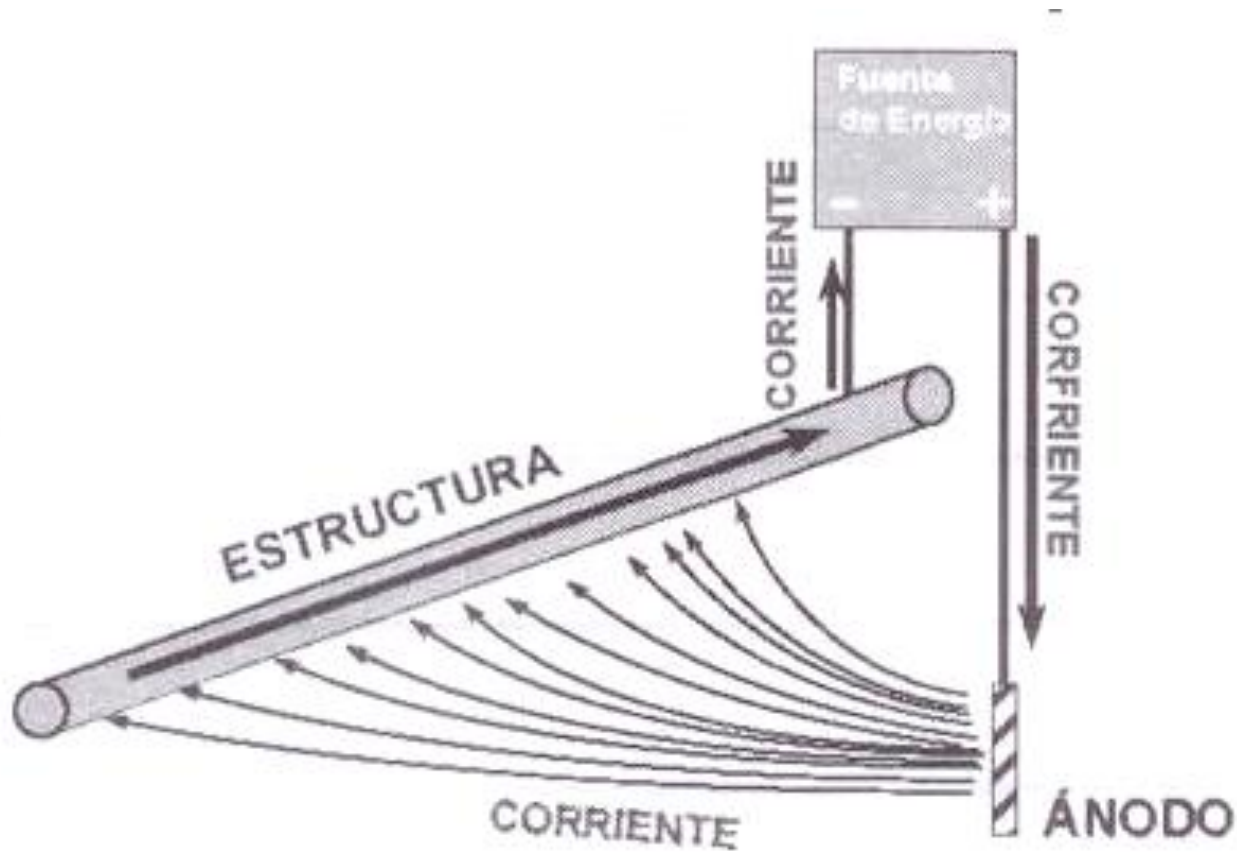
Universidad Veracruzana

# Sistemas de Protección Catódica por Corriente Impresa (SPCCI)

La corriente es suministrada por una fuente de energía y un ánodo más o menos inerte.



# Sistema de Corriente Impresa



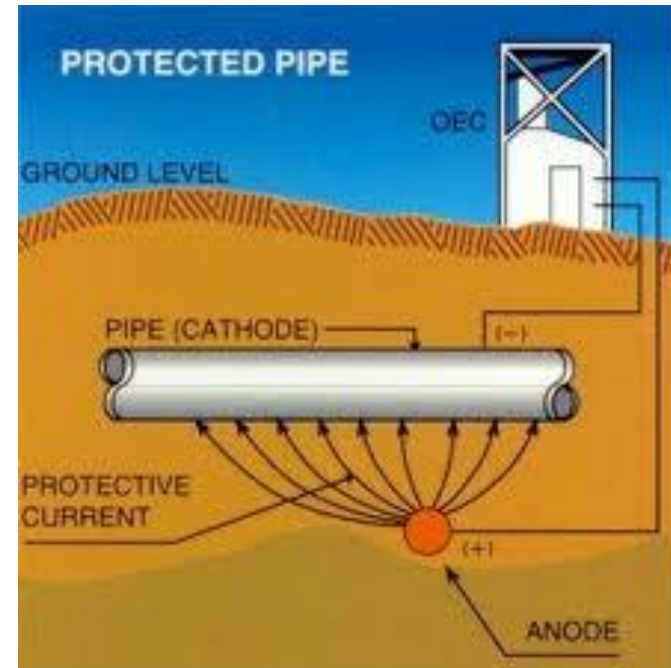
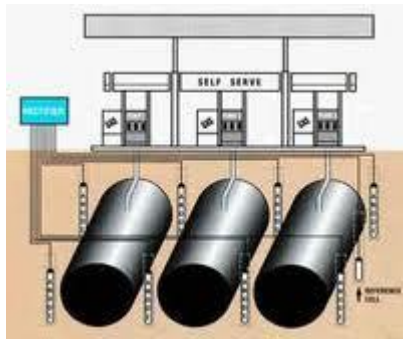




Universidad Veracruzana

# Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa

- Ánodos
- Fuente de energía
- Conductores





# Uso de Sistemas de Protección Catódica por Corriente Impresa

- Requerimientos de corriente elevados.
- Ánodos galvánicos consumidos.
- Grandes intercambiadores de calor.
- Interior de tanques de agua.
- Ductos de gran diámetro.
- Pilotes de fundación.
- Cascos de barcos.
- Cualquier valor de resistividad.
- Compensar corrientes de interferencia.
- Fondos de tanques sobre nivel.
- Tanques de almacenamiento subterráneos.
- Estructuras offshore.





# Ventajas de los Sistemas de Corriente Impresa

- Flexibilidad para el manejo de la tensión disponible y la salida de corriente.
- Elevados requerimientos de corriente que pueden ser resueltos con una única instalación.
- Pueden proteger estructuras recubiertas deficientemente o desnudas.
- Son efectivos en medios de alta resistividad.
- Consumo de ánodos muy bajo.



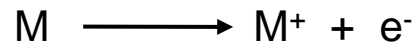
# Desventajas de los Sistemas de Corriente Impresa

- Costos elevados por la inspección y el mantenimiento.
- Requieren de un fuente externa de energía.
- Costo del suministro de energía.
- Mayor riesgo de generar corrientes de interferencia.
- Pueden causar una sobreprotección que lleva a:
  - Daños en el recubrimiento
  - Fragilización por hidrógeno
  - Bloqueo por evolución de gases.



# Reacciones Principales en los Ánodos de Corriente Impresa

- Oxidación del metal



- Evolución de oxígeno



- Evolución del cloro





# Ánodos para Corriente Impresa

- Grafito
- Hierro con alto contenido de Silicio y Cromo
- Materiales recubiertos con Platino
- Aluminio
- Magnetita
- Titanio recubierto con mezclas de óxidos metálicos
- Polímeros conductores
- Hierro de rezago
- Aleaciones de Plomo-Plata



Universidad Veracruzana

# Ánodos de Grafito





Universidad Veracruzana

# Hierro-Silicio-Cromo Tubulares





Universidad Veracruzana

# Ánodo Polimérico







Universidad Veracruzana

# Ánodo Tubular de MMO







Universidad Veracruzana

# Cinta de MMO y Barra Colectora





# Releno de Carbón

Los relenos de carbón son utilizados en instalaciones enterradas.

- El relleno de carbón tiene como propósito:
  - Reducir la resistencia del ánodo al suelo.
  - Aumentar la capacidad de corriente por aumento de la superficie de contacto.
  - Reducir el consumo del ánodo por la transferencia de corriente en forma electrónica.



Universidad Veracruzana

# Instalación de Ánodo de Corriente Impresa





Universidad Veracruzana

# Fuentes de Energía

- Rectificadores
- Paneles Solares (Fotovoltaicos)
- Motos Generadores
- Generadores Eólicos
- Generadores Termoeléctricos



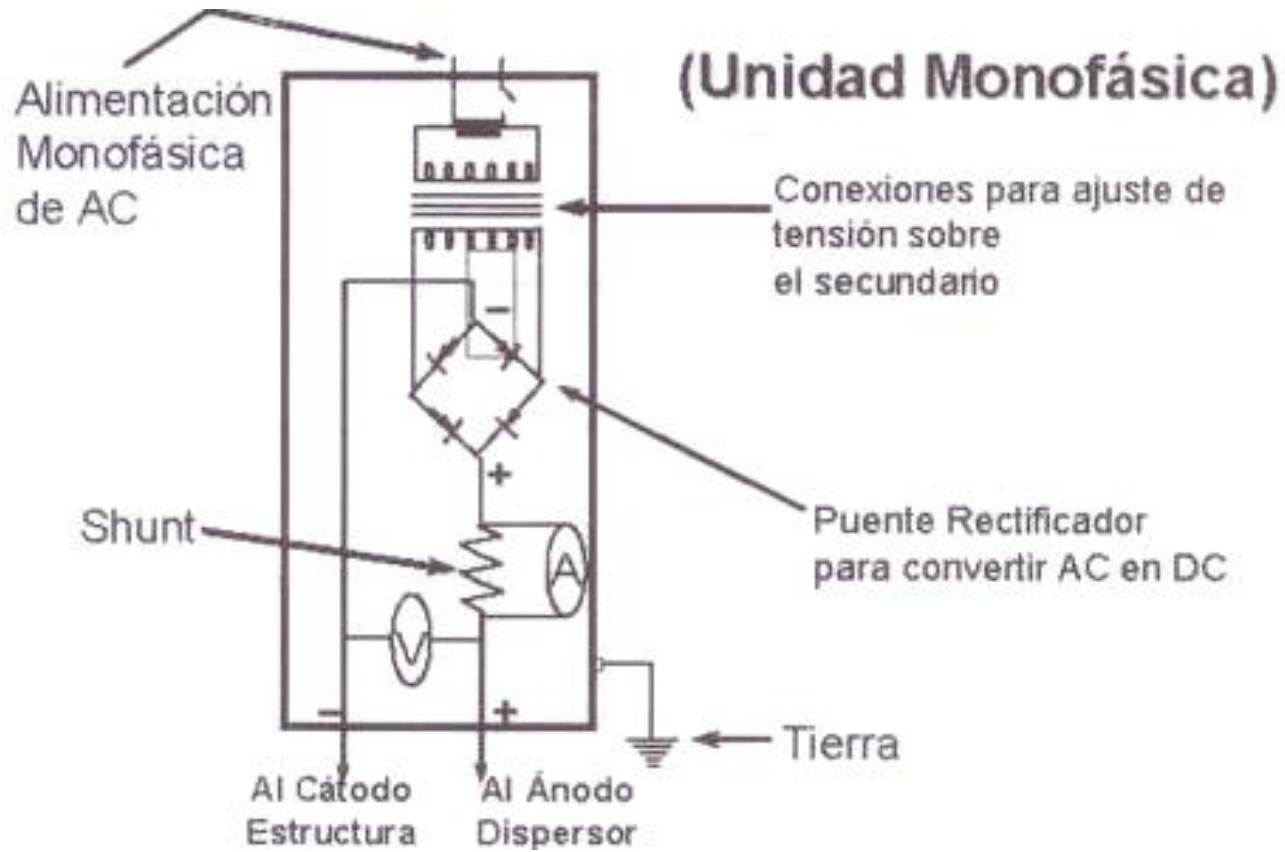
Universidad Veracruzana

# Rectificador





# Diagrama Esquemático de un Rectificador (Unidad Monofásica)





# Tipos de Rectificadores

***Tensión Constante.-*** La tensión de salida en bornes se mantiene constante.

***Corriente Constante.-*** La corriente de salida se mantiene constante independientemente de la resistencia del circuito.

***Potencial Constante.-*** La corriente y la tensión de salida se modifican para mantener una diferencia de potencial estructura/terreno prefijada.



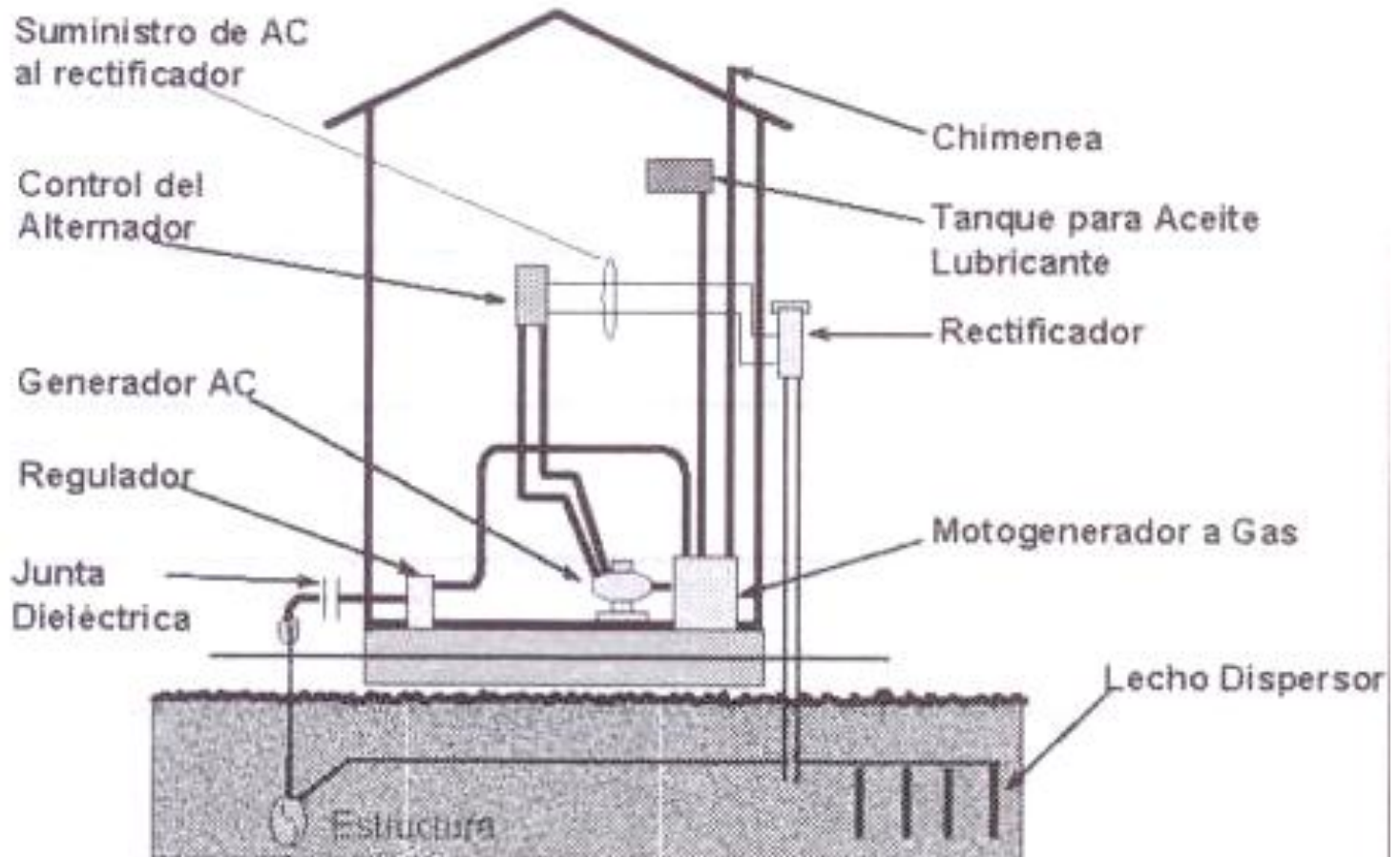


Universidad Veracruzana

# Panel Solar



# Instalación de un Moto Generador





Universidad Veracruzana

# Generador Eólico

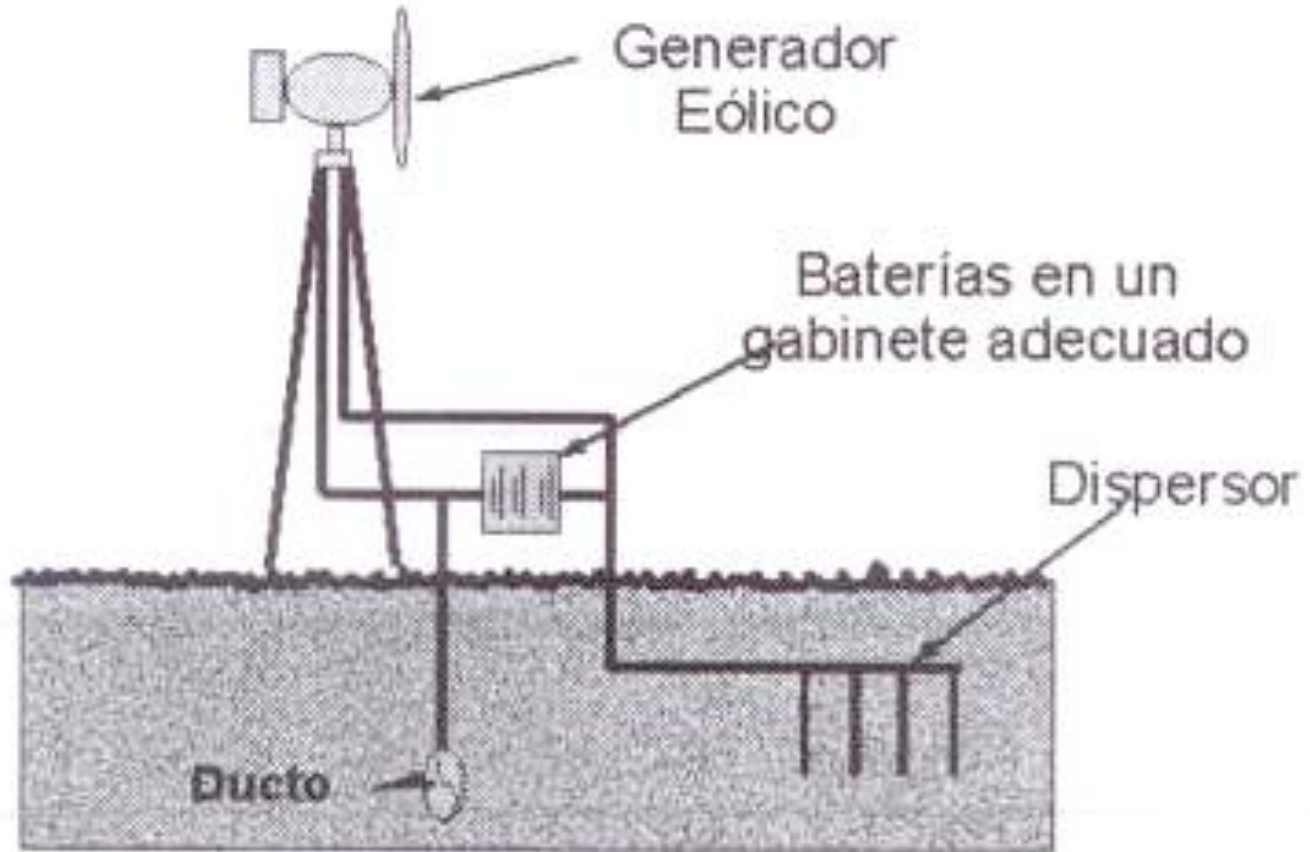






Universidad Veracruzana

# Instalación de Protección Catódica con Generador Eólico





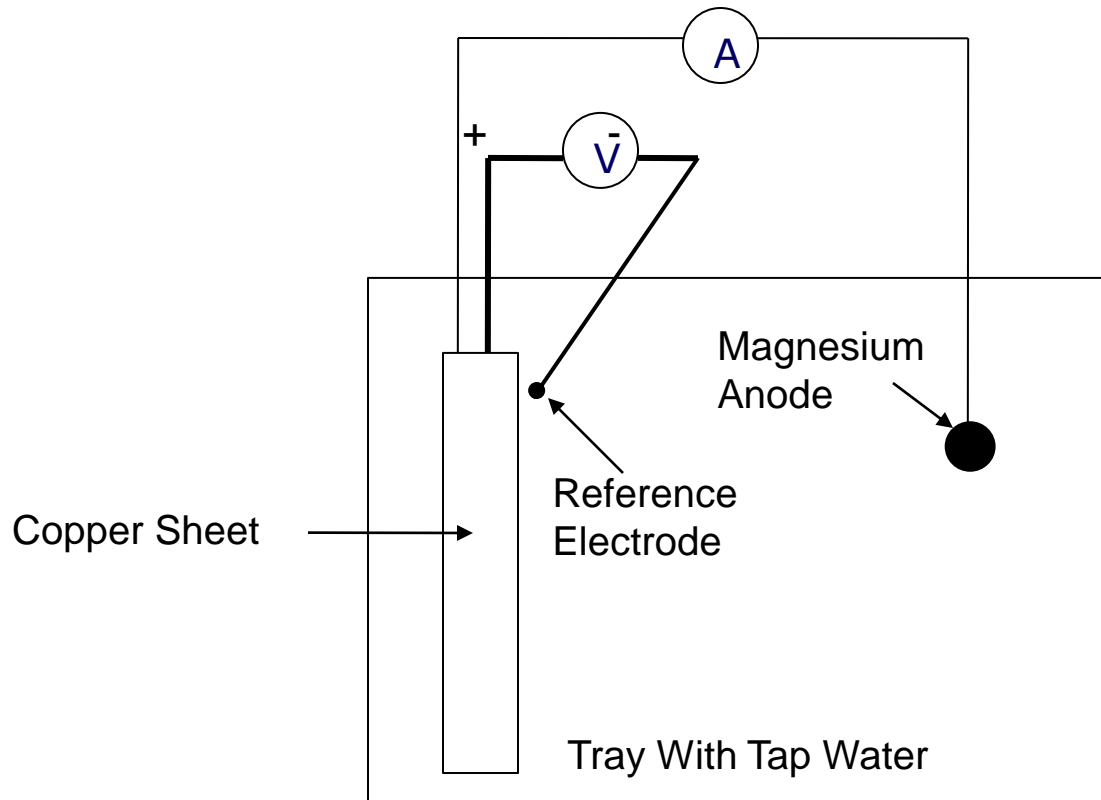
Universidad Veracruzana

# Demostración por el Instructor

## EXPERIMENTO 3.2



# Experimento 3.2





# Factores que Afectan el Funcionamiento de la PC

- Contenido de humedad del suelo
- Recubrimiento
- Textura del suelo
- Temperatura
- Contenido de oxígeno
- Movimiento relativo de la estructura y el medio
- Composición del electrolito
- Apantallamiento eléctrico





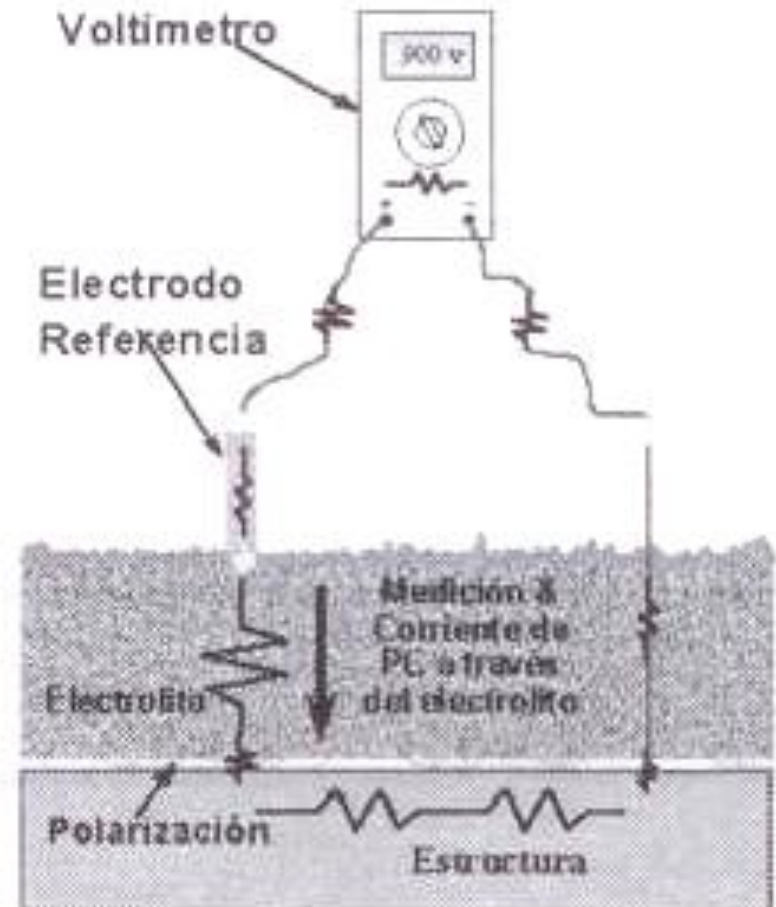
# Determinación de la Efectividad de la PC

- En la práctica se hace uso de la medición de los potenciales de la estructura con respecto al electrolito.
- La protección catódica es efectiva si cumple los criterios establecidos por NACE.

# Medición de Potenciales Estructura/Suelo

## Resistencias

- Cable conductor (+)
- Contacto cable/celda de ref. (+)
- Celda de referencia
- Contacto del electrodo de referencia del electrolito
- Electrolito
- Polarización
- Estructura
- Contacto del cable con la estructura
- Cable para el ensayo
- Contacto con cables de ensayo y de medición
- Cable conductor (-)
- Resistencia interna instrumento





Universidad Veracruzana

# Métodos para la Corrección de la Caída IR

- Interrupción de la corriente
- Ubicación del electrodo de referencia
- Cupones
- Análisis de la forma de onda



# Normas de Aplicación de la NACE

- RP0169 Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems.
- RP0285 Corrosion Control of Underground Storage Tank Systems by Cathodic Protection
- RP0193
- RP0290
- TM0497

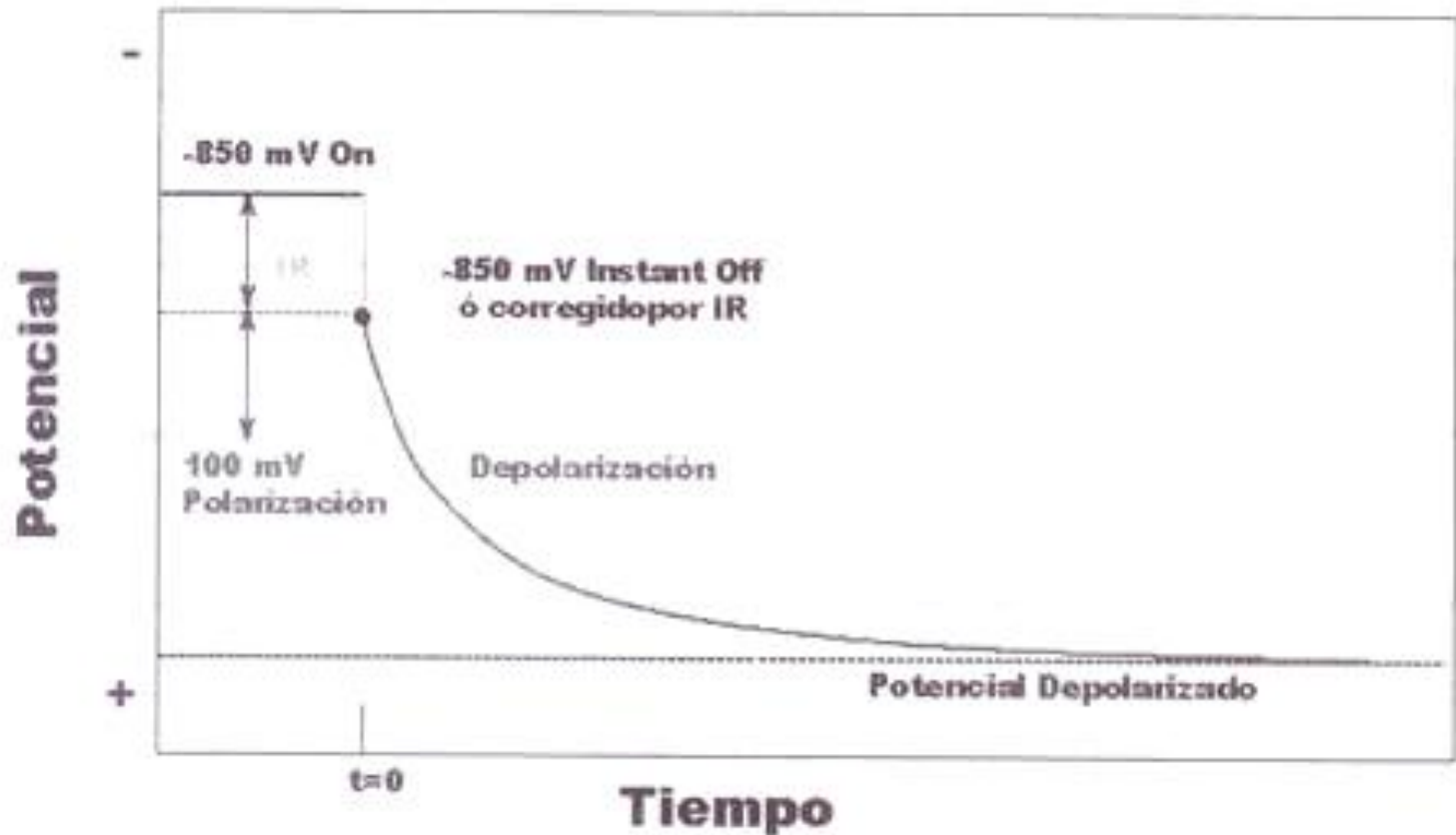


# Criterios para Estructuras Enterradas ó Sumergidas de Hierro ó Acero

- -0.850 voltios – **Un potencial negativo (catódico) de por lo menos 850mV con la corriente aplicada.**
- -0.850 voltios de potencial polarizado  
**-Potencial de polarización (o polarizado) mínimo de 850mV.**
- 100 milivoltios de polarización – **Un mínimo de 100mV de polarización catódica.**



# Potenciales Tubería/Suelo





# Algunas Observaciones sobre los Criterios de Protección Catódica

- Cuando hay presencia de bacterias o bien en ambientes a elevada temperatura, los criterios pueden no ser suficientes.
- En suelos de alto drenaje, bien aireados, la protección catódica puede alcanzarse a potenciales menos electronegativos.
- En el caso de estructuras mal recubiertas o desnudas, una corriente de protección que ingresa en aquellas zonas predeterminadas como descarga de corriente (anódicas) pueden ser suficiente.





# Criterio para Estructuras Enterradas ó Sumergidas de Aluminio ó Cobre

- 100 milivoltios de polarización

**Nota:** el aluminio es un metal anfótero y no debe polarizarse a potenciales más negativos que  $-120\text{mV}$ .



Universidad Veracruzana

# Criterios para Par Metálico

- Alcanzar un potencial negativo igual al potencial del metal más **activo**.



# Plataformas Offshore en Agua de Mar

## ***RP0176 Control de la Corrosión de Plataformas de Petróleo Offshore, Fijas y de Acero.***

- -0.800 voltios medidos entre la superficie de la plataforma y un electrodo de Plata/Cloruro de Plata en contacto con el agua de mar.



# Interior de Tanques de Agua

## ***RP0388 “Protección Catódica por Corriente Impresa de Interior de Tanques de Almacenamiento de Agua”***

- Un potencial negativo mínimo de 850mV medido con electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre saturado.



# Recipientes Calentadores de Petróleo (Oil Heater-Treater)

## ***RP0575 Protección Catódica Interna de Recipientes de Tratamiento de Petróleo.***

- Un potencial negativo de  $-850\text{mV}$  vs ECS ( $-800\text{mV}$  vs Ag/AgCl).
- Cuando hay presencia de sulfuros o de ácido sulfídrico, un potencial mínimo de  $-950\text{mV}$  vs ECS ( $-900\text{mV}$  vs Ag/AgCl).



# Hormigón Armado

## ***RP0290 Protección Catódica de Armaduras en Estructuras Expuestas a la Atmósfera.***

- Una polarización mínima de 100mV.
- Un potencial igual al potencial donde comienza la zona de Tafel en una curva E/log I.
- Un potencial de polarización más negativo que el valor de potencial natural estadístico, considerada la desviación estándar de estos.



# Estándar Internacional ISO 15589-1 Industrias del Gas Natural y Petróleo Protección Catódica de Ductos de Transporte

## Parte 1 Ductos Terrestres

- Potencial del metal al electrolito elegido para que la velocidad de corrosión resulte inferior a 0.01 mm/año (0.39mils/año)
- Potencial de polarización más negativo que  $-850\text{mV}_{\text{CSE}}$
- Limitar el potencial a valores no más negativos a  $-1,200\text{mV}_{\text{CSE}}$
- En suelos anaeróbicos o presencia de bacterias reductoras de sulfatos (SRB) potenciales más negativos que  $-950\text{mV}_{\text{CSE}}$





# Norma ISO 15589-1

## Parte 1 Ductos Terrestres

- Suelos de alta resistividad
  - 750mV<sub>CSE</sub> para  $100 < \rho < 100,000 \Omega\text{-cm}$
  - 650mV<sub>CSE</sub> para  $\rho > 100,000 \Omega\text{-cm}$
- Polarización Catódica de 100mV
- Precauciones:
  - Evitar el uso del criterio de los 100mV bajo condiciones de altas temperaturas (60°C), SRB, corrientes de interferencia, ecualización de corrientes, corrientes telúricas, metales disímiles o cuando hay probabilidad de SCC potenciales más positivos que -850mV<sub>CSE</sub>.



Universidad Veracruzana

# Normas Internacionales

- **Canadá**
  - Canadian Standards Association
  - Standard z662-96
  - RP OCC-1
- **Alemania**
  - DIN 30676



# Normas Internacionales

- **Japón**
  - The Overseas Coastal Development Institute of Japan
  - Japanese Port Authority Association, Part 1
  - Japanese Water Piping Association, WSP-050
- **Australia**
  - Australian Standards Institute Standard No.2832, Parts 1 - 3