

TECNOLOGÍA TOTAL
CONTROL INTEGRAL DE CORROSIÓN

www.tecnologiatotal.net

INTERFERENCIAS Y MITIGACION AC EN DUCTOS.

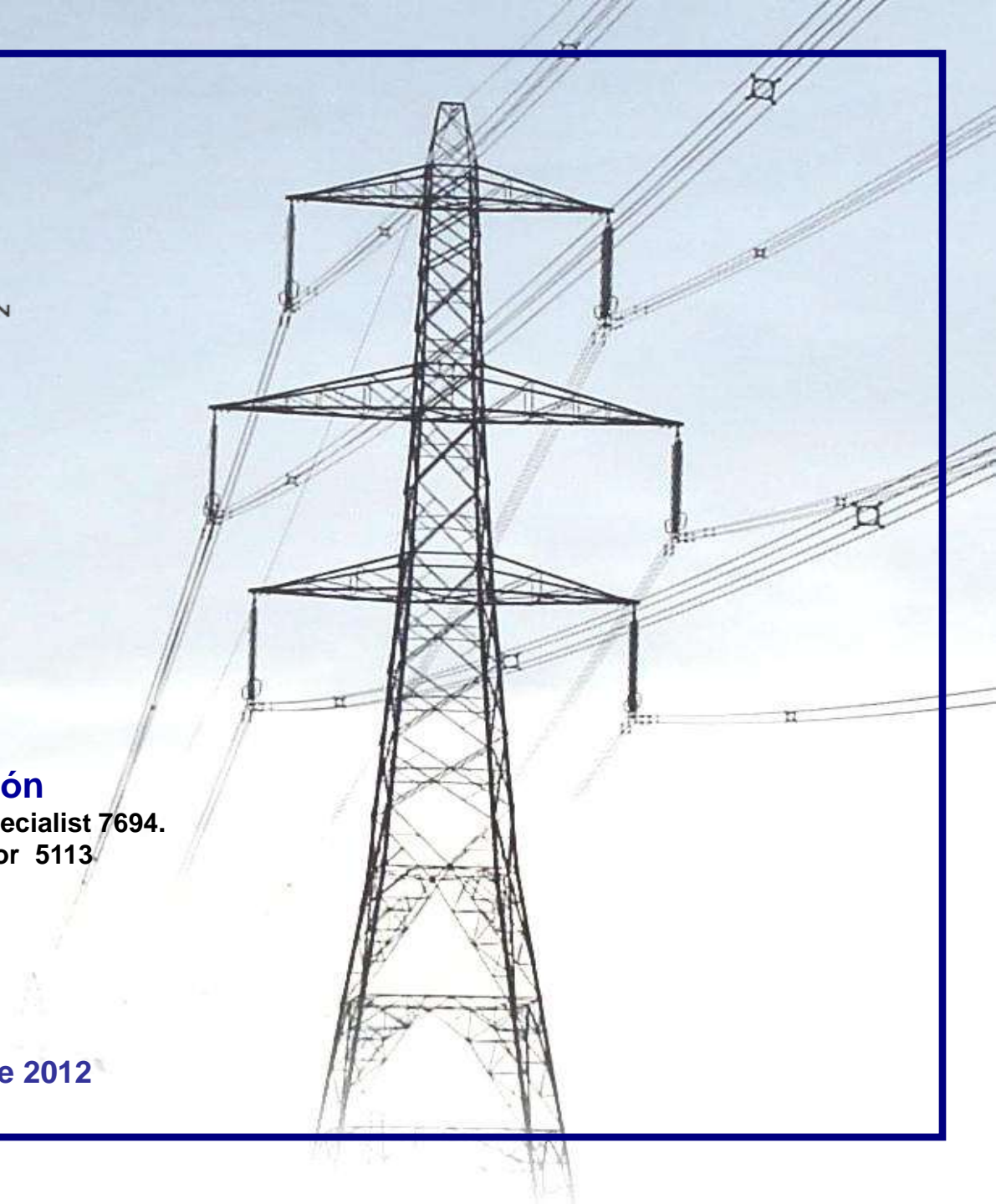
Preparado por :

Ing. Juan Carlos Pachón

NACE Certified Cathodic Protection Specialist 7694.

NACE Certified Coatings Inspector 5113.

Actualizado : Febrero 22 de 2012





Normas de Referencia.

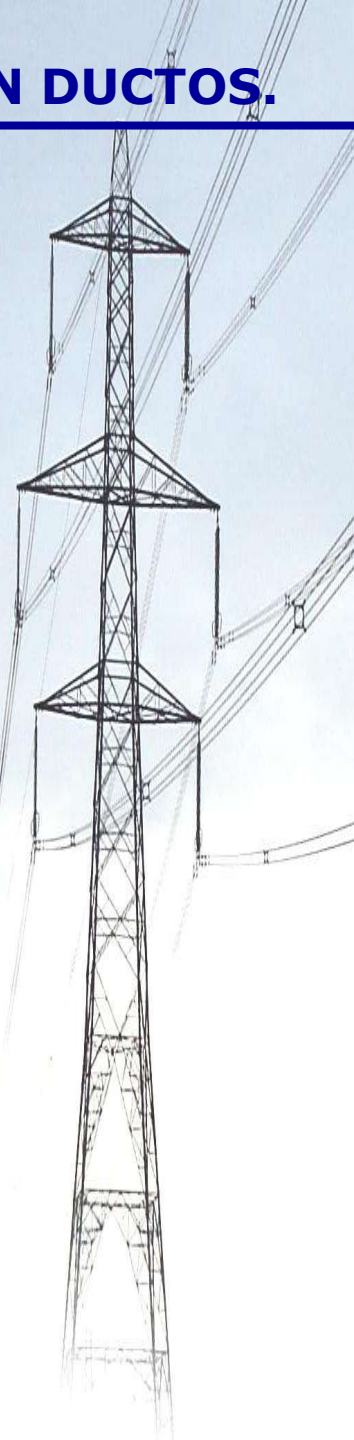
- NACE Standard **RP0177**, Mitigation of Alternating Current and Lightning Effects on Metallic Structures and Corrosion Control Systems.
- C22.3 No. 6-M1987 Principles and Practices of Electrical Coordination Between Pipelines and Electric Supply Lines
- CGA Standard OCC-3, Recommended Practice OCC-3 for the Mitigation of Alternating Current and Lightning Effects on Pipelines, Metallic Structures and Corrosion Control Systems.
- AGA and EPRI Catalog L51278 Vol. 1 and Vol 2. Mutual Design Considerations for Overhead AC Transmission Lines and Gas Transmission Pipelines.
- IEEE Standard 80, Guide for Safety in AC Substation Grounding.
- NFPA Standard 70, National Electric Code.
- OSHA Standard 2207, Construction Safety and Health Regulations.





Documentos de Referencia.

- **Kirkpatrick, E. L.** "Induced AC Voltages on Pipe Lines May Present a Serious Hazard," Pipe line and Gas Journal, October, 1997.
- **Dabkowski, J.,** "A Statistical Approach to Designing Mitigation for Induced AC Voltages on Pipelines," Materials Performance, August, 1996.
- Peabody, A. W., and A. L. Verhiel, "The Effects of High Voltage Alternating Current (HVAC) Transmission Lines on Buried Pipe Lines," Paper No. PCI-70-32, presented at the Petroleum and Chemical Industry Conference, Tulsa, Oklahoma, Sept. 15, 1970.
- Pipeline and Gas Industry, June 1999, Vol 82 No. 6. Induced AC creates problems for pipelines in utility corridors, John S. Smart - John S. Smart Consulting Engineers, Houston Texas; Dirk L. Van Oostendorp - Paragon Engineering Services, Houston, Texas; and William A. "Bud" Wood, ARCO Pipeline Company, Houston, Texas.
- "Lightning Phenomena," Electrical Transmission and Distribution Reference Book, 4th Ed., Westinghouse Electric Corp., East Pittsburgh, PA, 1964, Lichtenstein, Joram
- "AC and Lightning Hazards on Pipe Lines," Materials Performance, December, 1992.





Antecedentes Inducción AC

- Incremento en la cantidad de líneas de alta tensión.
- Trenes electrificados por AC.
- Revestimientos de gran aislamiento.
- El uso de corredores utilitarios. (derecho de vía compartido)
- Incremento en las cargas de corriente en los conductores.
- Mejores recubrimientos disponibles en el mercado.





Riesgos de la Inducción AC

- Riesgo de Corrosión AC
 - 709 casos conocidos (23 en Europa)
Año 2,000 aprox.
 - 4 fugas por corrosión AC.
(Fuente: Geocor, WWI Procat S.L)
Año 2,000 aprox.
- Riesgo de Seguridad.



Riesgos de Seguridad

Corriente	Efectos
1 mA o menor	No hay sensación — no se siente
1–8 mA	Sensación de choque— no dolorosa. El individuo se puede soltar sin pérdida del control muscular.
8–15 mA	Choque doloroso— El individuo se puede soltar sin pérdida del control muscular.
15–20 mA	Choque doloroso— El individuo no se puede soltar, pérdida del control muscular.
20–50 mA	Choque doloroso — Contracción muscular severa, dificultad al respirar.
50–100 mA (posible)	Fibrilación Ventricular – La muerte resulta si no se administra un masaje cardiaco.
50–100 mA (innegable)	Choque desfibrilador debe ser aplicado para restaurar el latido del corazón, la respiración posiblemente está parada.
200 mA o mayores	Quemaduras severas, contracciones musculares severas, los músculos del pecho presionan el corazón y lo paran durante el shock (fibrilación ventricular prevenida). Respiración parada, El corazón podría arrancar después del choque o podría requerirse de un masaje cardiaco.

Fuente: NACE SP0177, Mitigation of Alternating Current and Lightning Effects on Metallic Structures and Corrosion Control Systems.



Riesgos de Seguridad

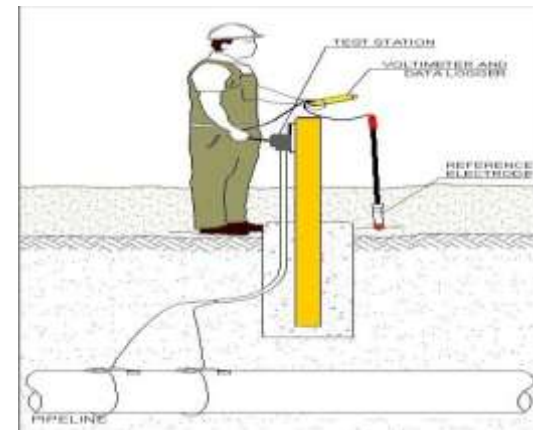
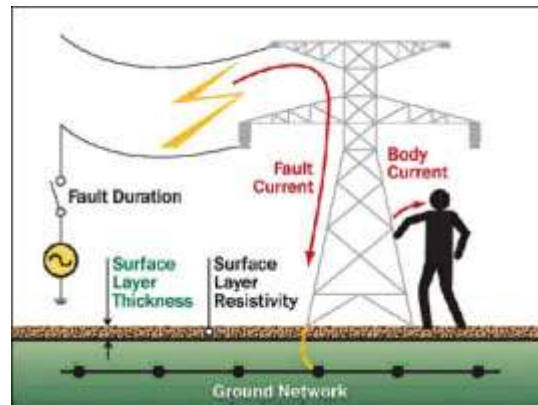
VOLTAJES DE TOQUE

El voltaje de toque (“touch voltage”) es definido como la diferencia de potencial entre una estructura metálica enterrada y un punto sobre la superficie del terreno, separado por una distancia igual al alcance horizontal máximo normal (aproximadamente un 1 metro).

$$V_{\text{touch}_{70}} = (1000 + 1.5\rho) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

[3-16]

$$V_{\text{touch}_{50}} = (1000 + 1.5\rho) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$



- La NACE y la Canadian Standards Association recomienda que el voltaje AC inducido en un ducto se reduzca por seguridad del personal a menos de 15 V AC.



Riesgos de Seguridad

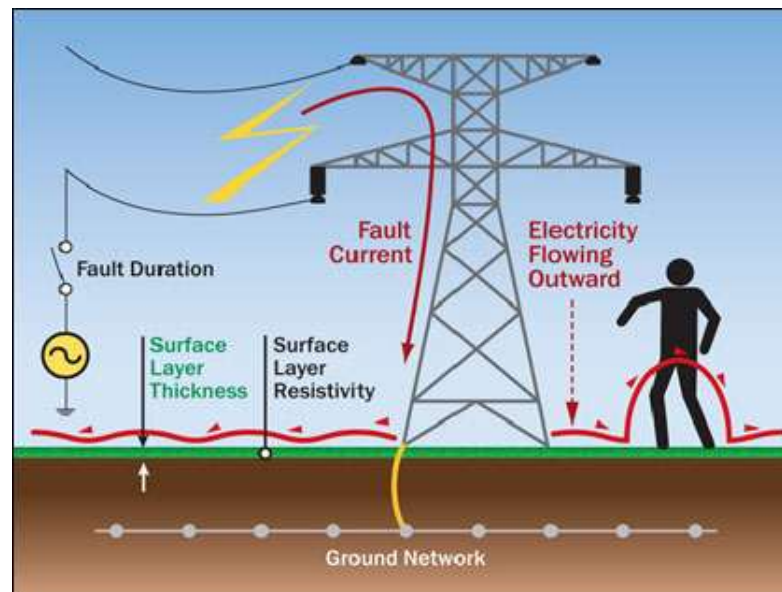
VOLTAJES DE PASO

El voltaje de paso (“step voltage”) es la diferencia de potencial entre dos puntos sobre la superficie del terreno separado por una distancia de un paso (aproximadamente un 1m) en la dirección del máximo gradiente de potencial.

$$V_{\text{step}_{70}} = (1000 + 6\rho) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

[3-15]

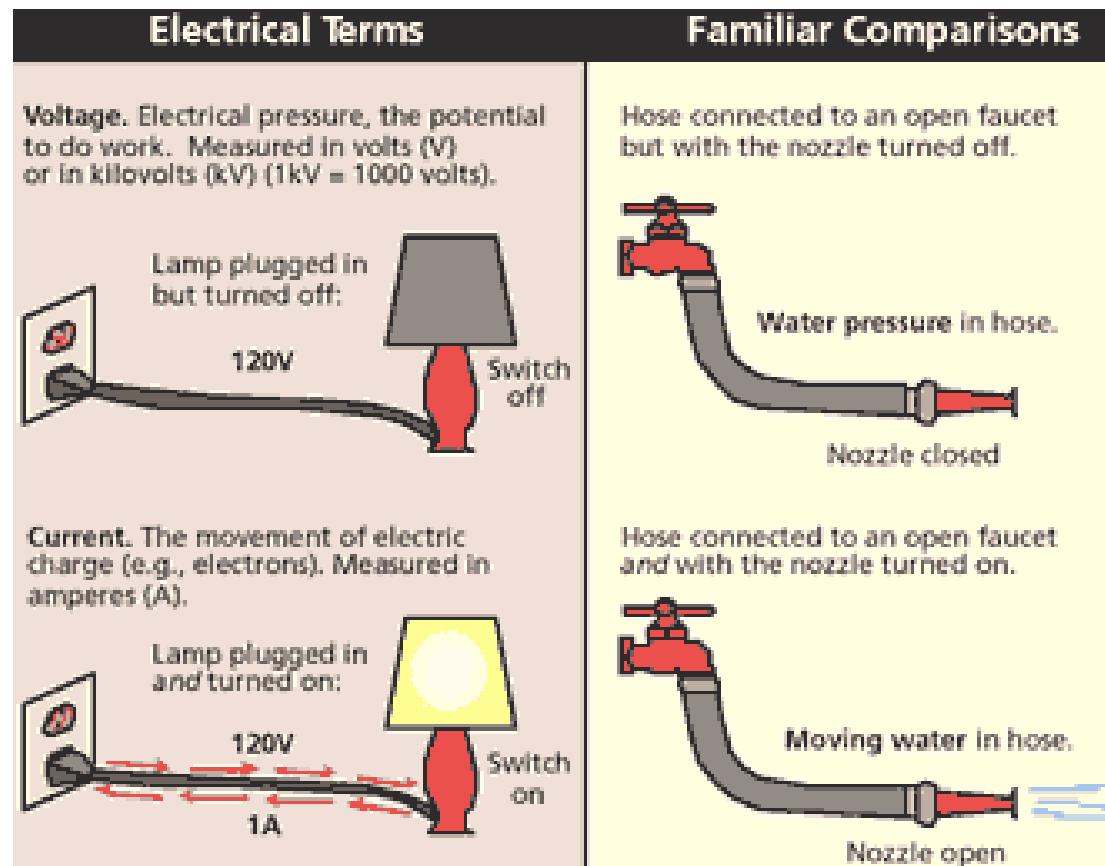
$$V_{\text{step}_{50}} = (1000 + 6\rho) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$





Por que se presenta inducción en ductos ?

Voltaje y Corriente.


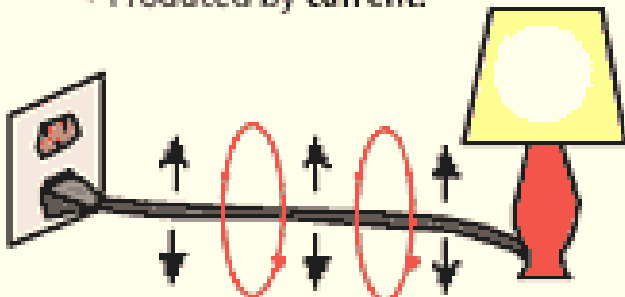




Por que se presenta inducción en ductos ?

Campo Eléctrico y Magnético

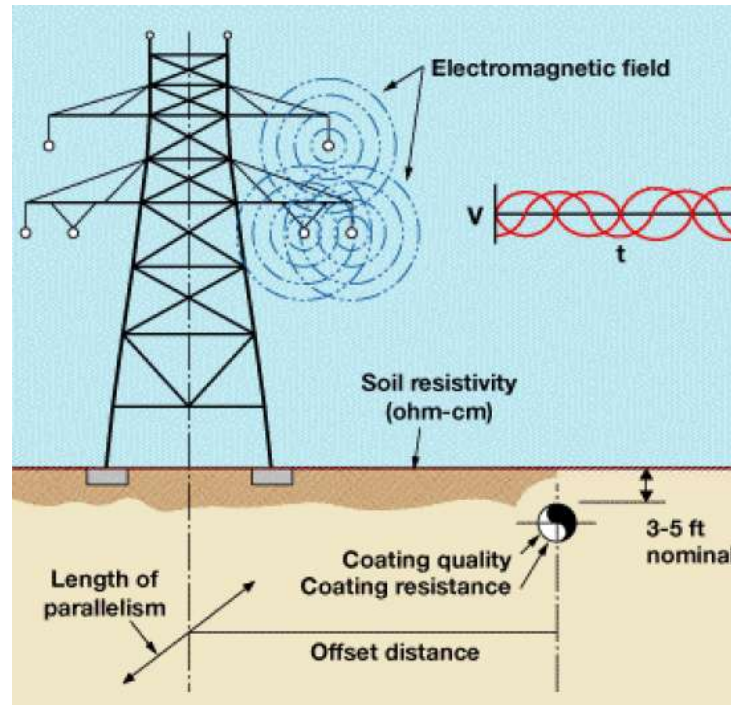
A Comparison of Electric and Magnetic Fields

Electric Fields	Magnetic Fields
<ul style="list-style-type: none">• Produced by voltage.  <p>Lamp plugged in but turned off. Voltage produces an electric field.</p> <ul style="list-style-type: none">• Measured in volts per meter (V/m) or in kilovolts per meter (kV/m).• Easily shielded (weakened) by conducting objects such as trees and buildings.• Strength decreases rapidly with increasing distance from the source.	<ul style="list-style-type: none">• Produced by current.  <p>Lamp plugged in and turned on. Current now produces a magnetic field also.</p> <ul style="list-style-type: none">• Measured in gauss (G) or tesla (T).• Not easily shielded (weakened) by most material.• Strength decreases rapidly with increasing distance from the source.

Tesla (T) es el estándar internacional $1 T = 10,000 G$



Por que se presenta ?



- Se presenta cuando existen tuberías próximas a las líneas de transmisión de alta tensión y sistemas de distribución.
- Se crea un campo magnético por el flujo de corriente alternante.
- Cualquier objeto metálico sujeto a un campo electromagnético alterno exhibirá un voltaje inducido. Además, fallas en los conductores de potencia a la tierra pueden causar altas corrientes en las estructuras enterradas.



Formas de inducción de corrientes y voltajes AC

- ***Inducción electrostática o capacitiva***, donde la estructura actúa como un lado del capacitor con respecto a la tierra. Esta es importante únicamente cuando la estructura es aérea.
- ***Inducción electromagnética o inductiva***, donde la estructura actúa como un simple giro secundario de un transformador de núcleo de aire en la cual la línea de poder aérea es la primaria. Este tipo de inducción podría ocurrir cuando la estructura es tanto aérea como bajo tierra.
- **Acople resistivo o conductivo**, donde la potencia AC es transmitida a la tierra y luego fluye sobre y fuera de la estructura enterrada.



MITIGACION AC EN DUCTOS.

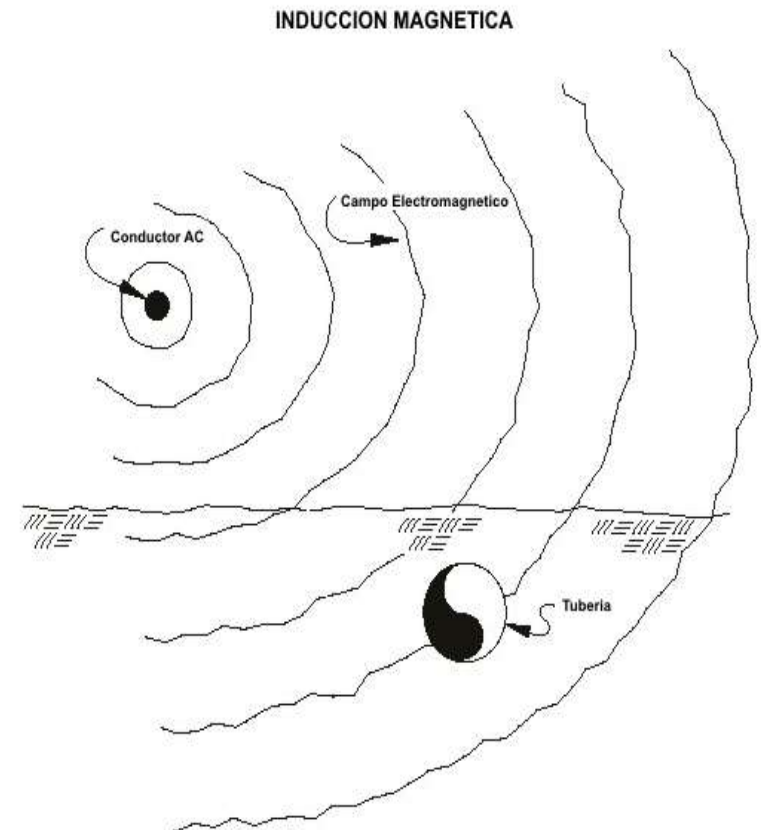
Cuando una línea de alta tensión transporta una carga de corriente eléctrica, se produce un campo magnético alrededor de los cables el cual se acopla a las tuberías que fluyen paralelas causando un voltaje y una corriente alternante inducida.





Voltaje Inducido sobre una Tubería

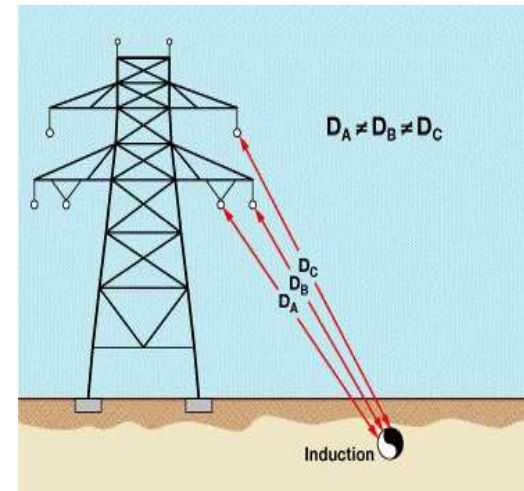
Donde exista una tubería recubierta, eléctricamente continua y paralela a un sistema de transmisión AC por largos espacios (usualmente medido en kilómetros), podría existir una inducción de voltaje en la tubería





Diferentes distancias entre la tubería y cada fase de la línea de transmisión.

- Si una tubería está lo suficientemente cerca y paralela a la línea de transmisión eléctrica, el campo electromagnético “penetrará” la tubería en ángulos rectos





Causas de Interferencia en la Tubería

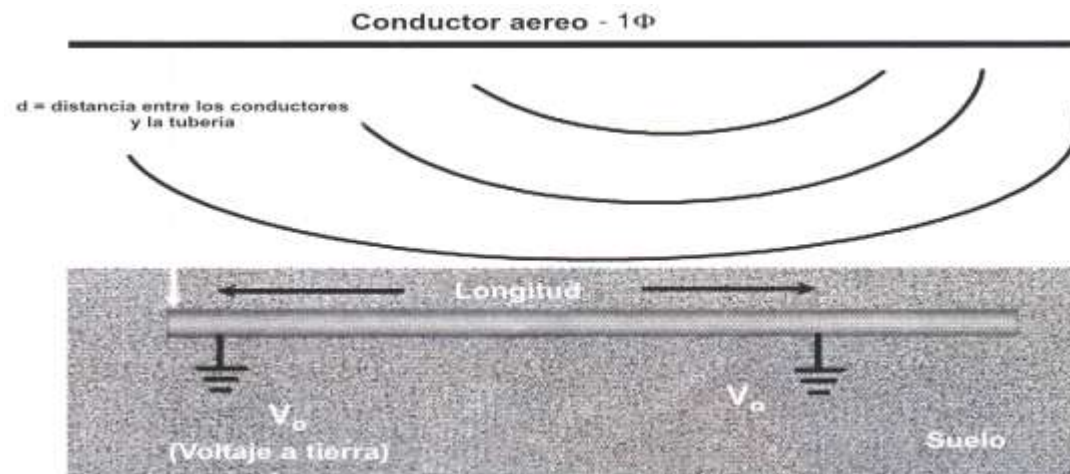
- Magnitud de corriente en los conductores de fase de la misma línea de transmisión (conductiva).
- Corrientes de falla en la línea de transmisión (Interferencia inductiva y conductiva).
- Inyección de corrientes en el tubo (fallas a tierra). (Interferencia conductiva).
- Densidad de flujo magnético.
- Campo eléctrico longitudinal





Voltajes AC inducidos Electromagnéticamente

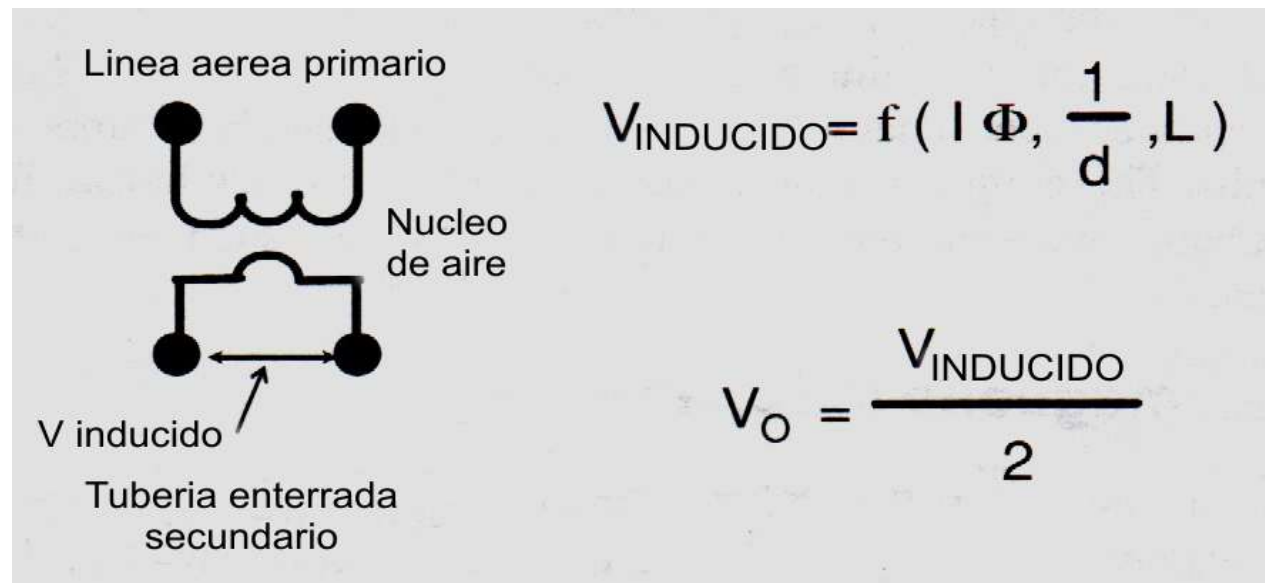
- La magnitud de corriente parásita resultante es directamente proporcional a la fase de la corriente ($I \cos$) y de magnitudes relativas como a la longitud (L) de exposición mutua; y es inversamente proporcional a la distancia relativa (d) entre la estructura y los conductores de la línea de potencia.





Voltajes AC inducidos Electromagnéticamente

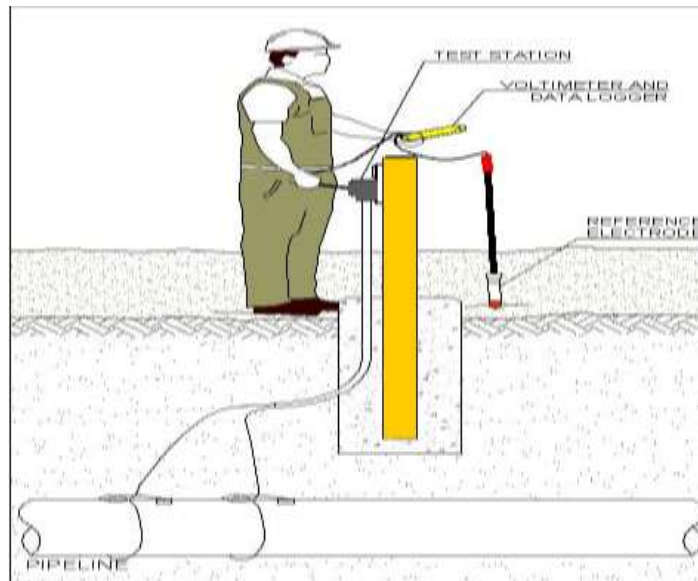
- La tubería actúa como un simple giro secundario de un transformador de núcleo de aire, y las líneas de potencia AC aéreas son primarias. El voltaje inducido (V_{inducido}) aparece al otro lado del final de la tubería.
- El voltaje a tierra (V_o) en cada extremo de la estructura es la mitad del voltaje total inducido.





Identificación de las Corrientes AC

- Las corrientes debidas a interferencias AC pueden ser fácilmente identificadas mediante la medición de potenciales de voltaje AC de la estructura con respecto a la tierra”.
- El electrodo de referencia usado para mediciones de protección catódica puede ser usado como contacto a tierra., no obstante la norma NACE RP0177 recomienda que se realice con una varilla metálica como referencia.



- La NACE y la Canadian Standards Association recomienda que el voltaje AC inducido en un ducto se reduzca por seguridad del personal a menos de 15 V AC.



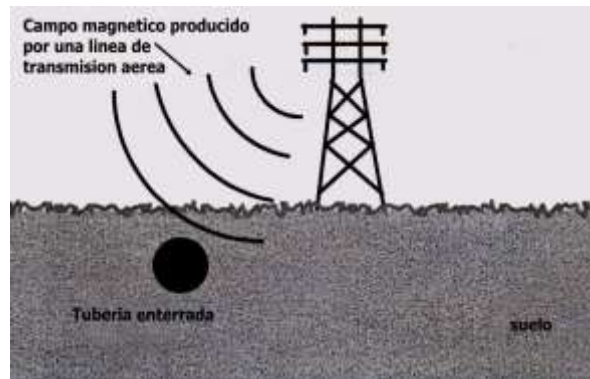
Consideraciones en Estudios de Mitigación AC.

- Causas de interferencia en la tubería
- Cálculo de la inducción
- Cálculo del Campo Eléctrico Longitudinal (LEF)
- Cálculo del nivel de voltaje
- Principales factores que influyen el voltaje inducido.
- Corrosión por interferencias AC
- Características de la corrosión AC
- Factores que afectan la corrosión AC
- Métodos de mitigación
- Sistemas de aterrizamiento.



Cálculo de la Inducción

- Determinar las distancias y ubicaciones apropiadas de los conductores en la geometría del derecho de vía.
- Usando la *ecuación de Carson*, determinar los campos eléctricos longitudinales (LEF) conducidos por la tubería a lo largo de su completa longitud.
- Determinar la constante de propagación y la impedancia característica de los parámetros eléctricos y físicos de la estructura (tubería).
- Desarrollar un modelo del circuito con la estructura y resolverlo para determinar el voltaje y la corriente inducida (Con software especializado)





Riesgos de Seguridad

- **Campo eléctrico longitudinal (LEF):**

$$E = - \left[z_{\phi 0}^T - z_{s0}^T * Z_{ss}^{-1} * Z_{s\phi} \right] * I \quad \text{volts/m}$$

Donde:

- **$n\phi$** conductores en fase activa, y
- **ns** cables de protección pasiva

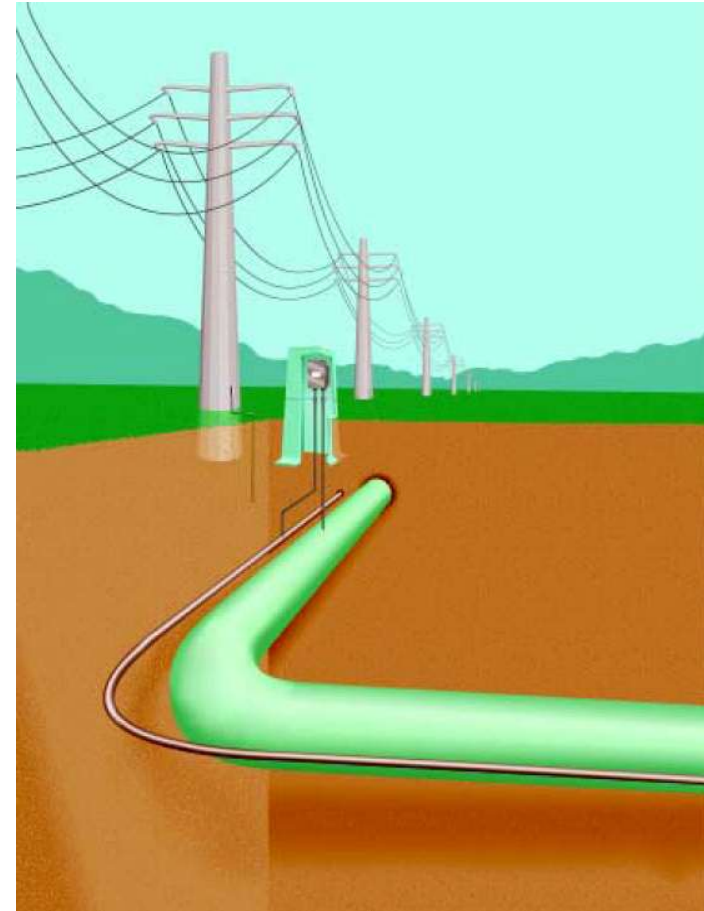
- **Nivel de Voltaje:**

$$V(x) = \frac{E_0}{\gamma} \frac{\{ [Z_2(Z_1 - Z_0) - Z_1(Z_2 + Z_0)e^{\gamma L}] e^{-\gamma x} - [Z_1(Z_2 - Z_0) - Z_2(Z_1 + Z_0)e^{\gamma L}] e^{\gamma(x-L)} \}}{[(Z_1 + Z_0)(Z_2 + Z_0)e^{\gamma L} - (Z_1 - Z_0)(Z_2 - Z_0)e^{-\gamma L}]}$$



Principales Factores Que Influyen en el Voltaje Inducido.

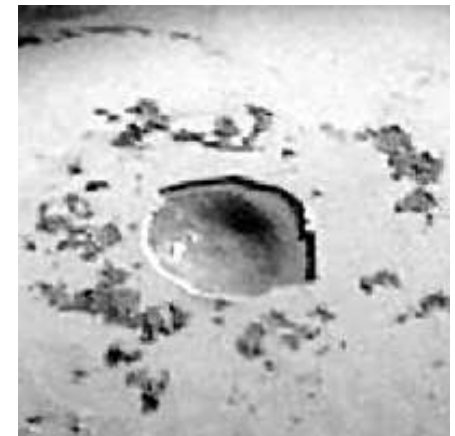
- La resistencia del recubrimiento de la tubería, fuerza o dureza dieléctrica y calidad.
- La resistencia longitudinal de la tubería.
- La longitud a la cual se encuentra paralela el sistema eléctrico de transmisión y la tubería





Corrosión por Interferencias AC.

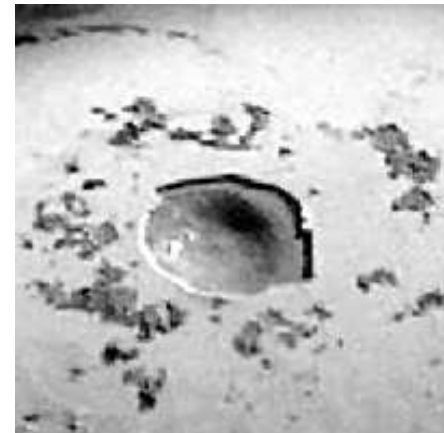
- Menor que la experimentada por DC ($\pm 1\%$).
- f (metal, densidad de corriente alterna inducida)
- El cobre sufre mucho menos daño que el acero.
- Metales activo-pasivos (acero inoxidable y aluminio), daño más grande.
- Puntos de descarga (orificios 1cm²).
- Arco eléctrico (Rayos).





Características de la Corrosión AC.

- Orificio hemisférico.
- Condiciones de pH altos.
- Montículo duro como producto de la corrosión es producido sobre el orificio.
- Apariencia dendrítica, brillantes, con pequeñas "montañas" en los centros de los hoyos..





Características de la Corrosión AC

- Densidades de corriente $< 20 \text{ A/m}^2$, la corrosión no es probable.
- Densidades de corriente AC entre $20 \text{ y } 100 \text{ A/m}^2$, la corrosión es impredecible.
- Densidades de corriente $> 100 \text{ A/m}^2$, debe esperarse corrosión.





Métodos de Monitoreo.

UNIDAD DE MONITOREO REMOTO / DATALOGGER

Aplicaciones:

- Medición de densidad de corrosión de corriente alterna (AC).
- Monitoreo de enlaces crítico
- La integridad de mitigación (AC)
- Estudios de campo CP - ferrocarril eléctrico, líneas de
- transmisión, y cruce de gasoductos
- Prueba de punto de monitoreo CP (protección catódica).

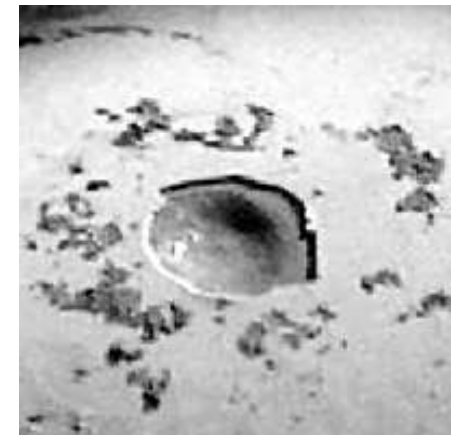


WATCHDOG P2S-AC



Identificación Corrosión AC

Presencia de voltajes de C.A. en las tuberías
Presencia de un defecto de revestimiento (normalmente de pequeño tamaño, como mucho 1 cm ²)
Presencia de corrosión
Las medidas de potenciales de protección catódica no están dentro de un criterio aceptable
El PH es bajo (normalmente por debajo de 10)
La forma de la picadura por corrosión es redondeada (parecida a un cráter)
La picadura de corrosión es mayor que el defecto de revestimiento
Los productos de corrosión pueden retirarse con facilidad en una pieza
Tras retirar los productos de corrosión, aparece una capa oscura-negra, en la superficie del acero
Presencia de una capa, lejos del área corroida o dentro de los productos de corrosión que contiene grandes cantidades de carbonato de calcio
Presencia de magnetita en los productos de corrosión (esto puede ser confirmado con un imán)
Presencia de piedras en el suelo





Factores Que Afectan la Corrosión AC

- La densidad de corriente AC sobre las velocidades de corrosión.
- Densidad de corriente CP.
- Frecuencia AC.
- Ambiente.
- Temperatura.
- Tiempo.
- Área superficial del acero (tamaño del defecto en el recubrimiento).





Métodos de Mitigación

- Separación significativa entre la tubería y el sistema HVAC (Etapa de Diseño y construcción).
- Sistemas de aterrizamiento.
- Accesorios y equipos (PCRs)





Software de Modelamiento.

Steady State Data Input/Output - Pipe Data

	Diameter - m	Burial Depth - m	R - Kohm-m2	Thickness - m
Pipe 1	0,508	-1,5	30,937	0,0007628
Pipe 2				

Steady State Data Input/Output - Shield Wires

Wire	D - m	H - m	R - ohms/Km	GMR - m
Wire 1				
Wire 2	-9999			

Steady State Data Input/Output - Phase Wires

Wire	D - m	H - m	I - Amp	Phase - deg.
Wire 1	-1,6	20	432	0
Wire 2	-1,6	17,9	432	120
Wire 3	-1,6	15,8	432	-120
Wire 4	1,6	20	432	0
Wire 5	1,6	17,9	432	120
Wire 6	1,6	15,8	432	-120

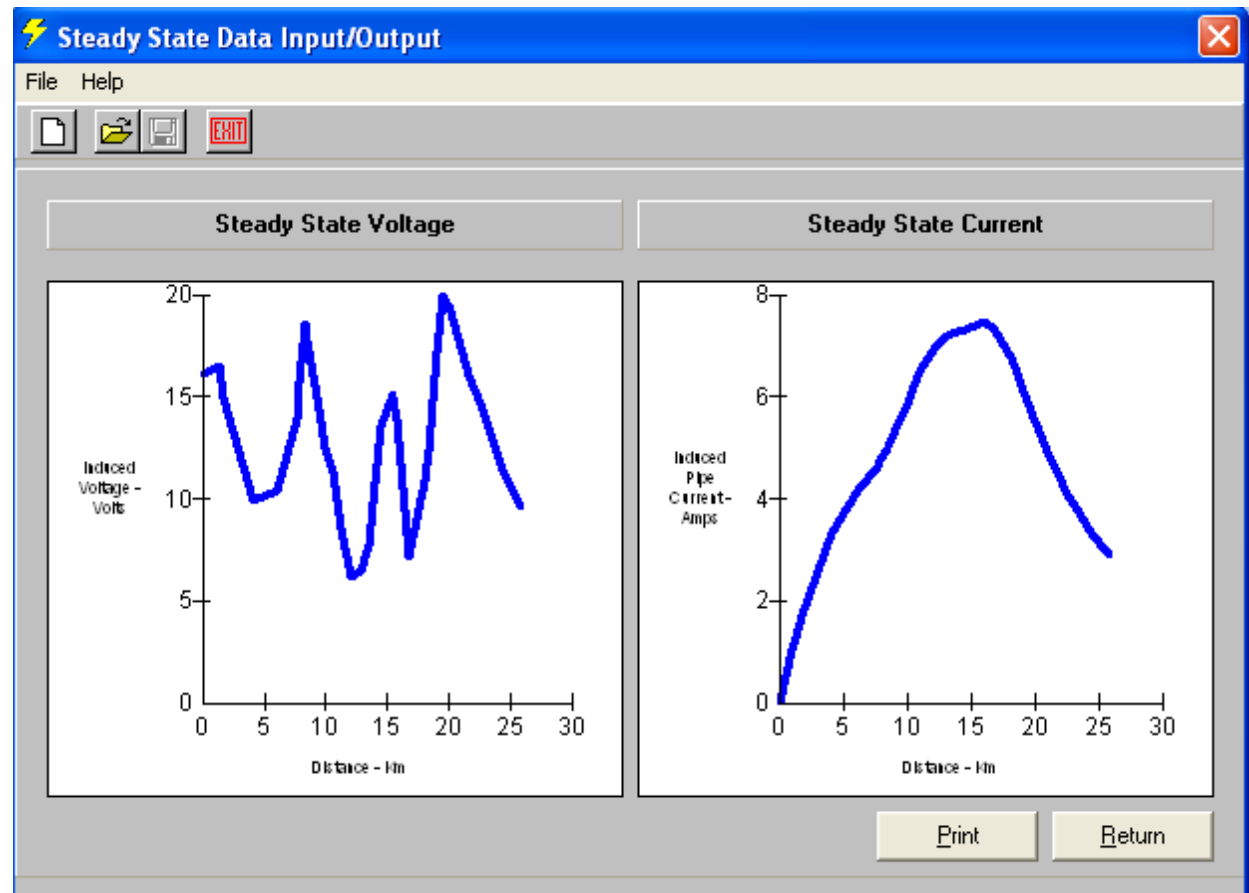
Tower Type: Double Circuit Vertical

Usando software de es posible rápidamente predecir los niveles de AC inducida en un proyecto antes de construir el ducto o simular una situación actual para diseñar correctivos.



Software de Modelamiento

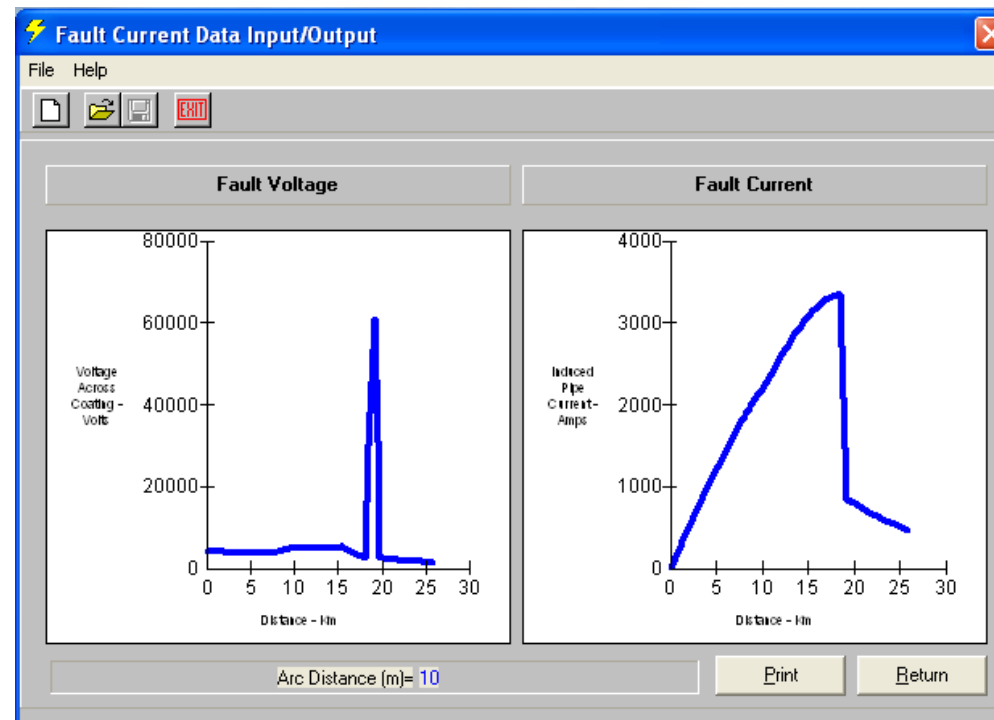
Resultados Modelación Estado Estable.





Software de Modelamiento

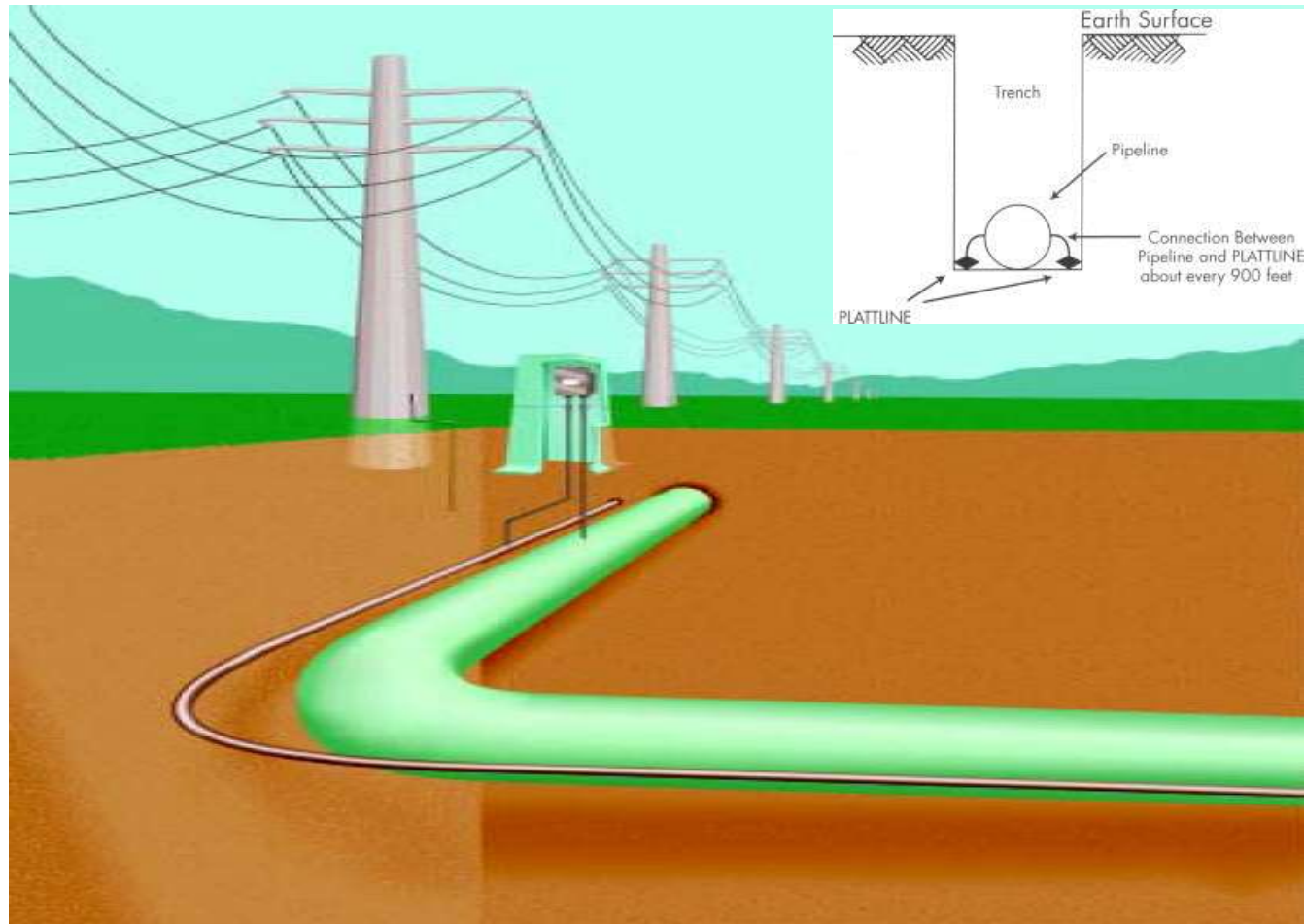
Resultados Modelación Condiciones de Falla.



Con los resultados del modelamiento se diseñan las medidas correctivas.



Sistemas de Aterrizamiento



Ánodos de Zinc continuos.



Sistemas de Aterrizamiento.

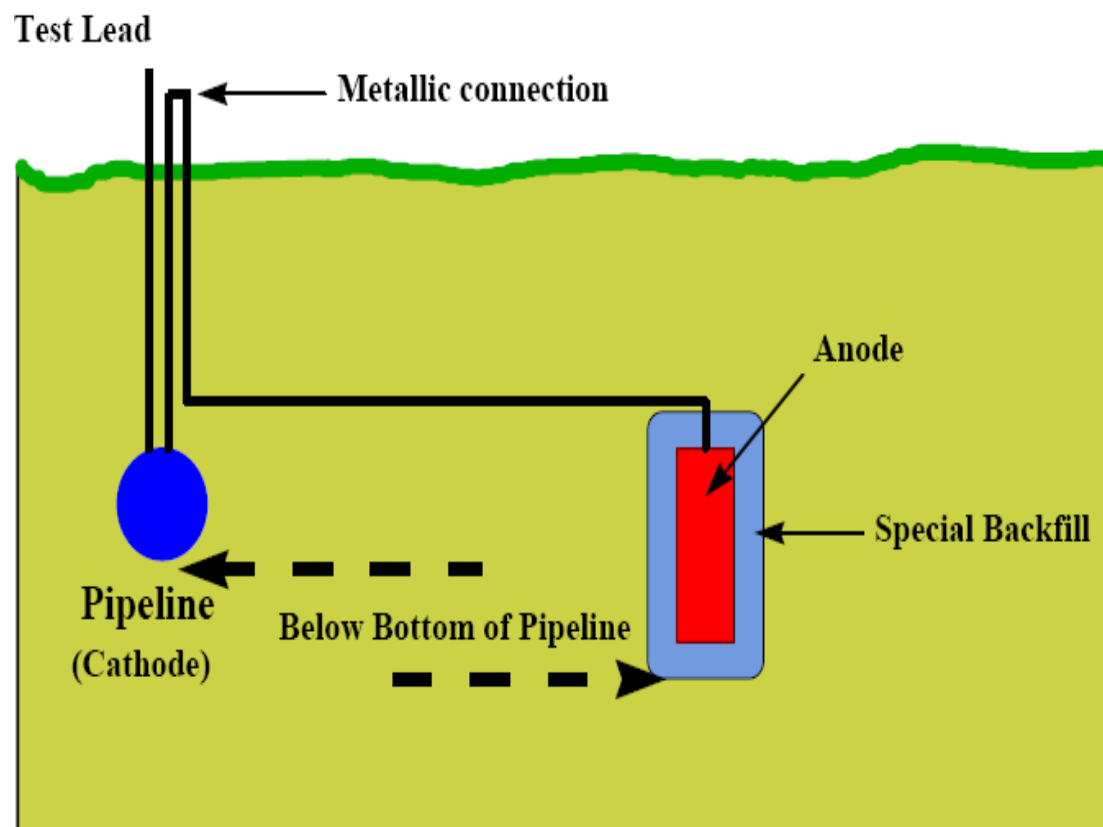
Product Size	 Super	 Plus	 Standard	 Small
Cross section	1" x 1-1/4" 25.4 x 31.75 mm	5/8" x 7/8" 15.88 x 22.22 mm	1/2" x 9/16" 12.7 x 14.28 mm	11/32" x 13/32" 8.73 x 10.32 mm
Weight	2.4 lbs/ft 3.570 kg/m	1.2 lbs/ft 1.785 kg/m	0.6 lbs/ft 0.8925 kg/m	0.25 lbs/ft 0.372 kg/m
Diameter of wire core	0.185" 4.70 mm	0.135" 3.43 mm	0.130" 3.30 mm	0.115" 2.92 mm
Coil length, standard	100 ft 30.5 m	200 ft 61 m	500 ft 152 m	1000 ft 305 m
Coil I.D., standard	36" 91.44 cm	36" 91.44 cm	12" 30.5 cm	12" 30.5 cm
Packaging	Steel banded, random wound open coils.	Steel banded, random wound open coils.	Wood reels	Wood reels

Ánodos de Zinc continuos.



Sistemas de Aterrizamiento

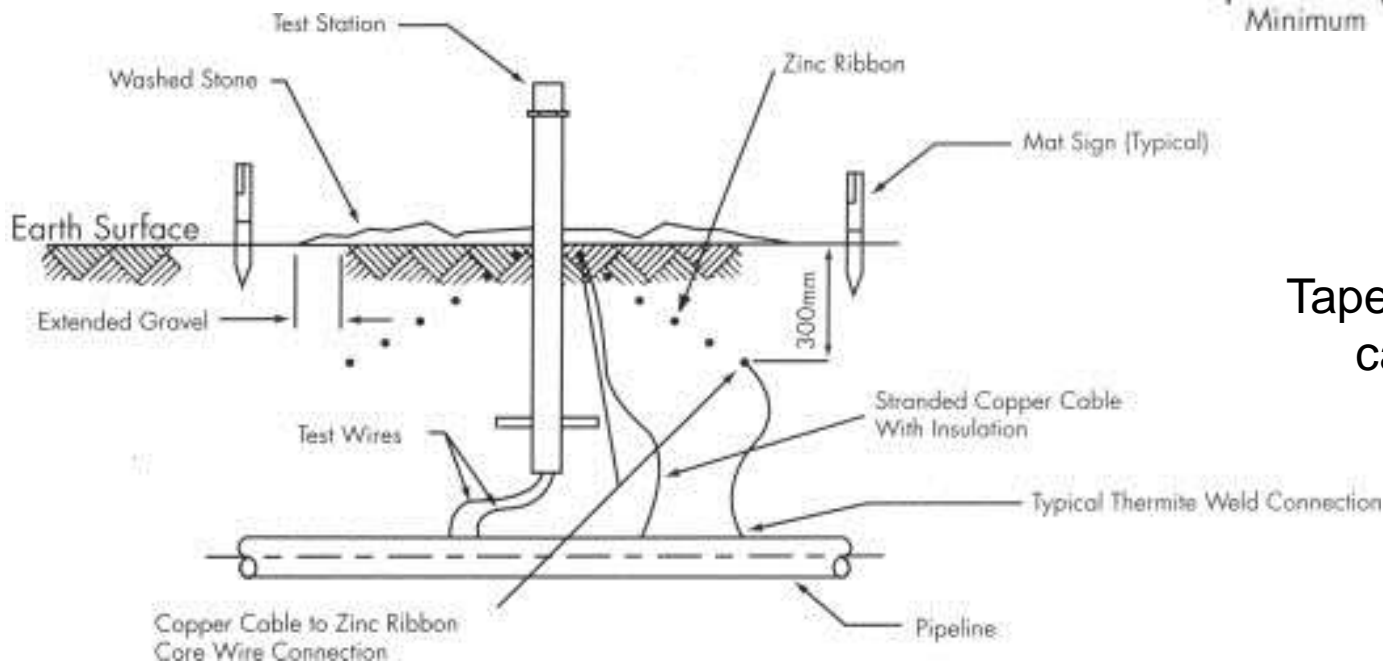
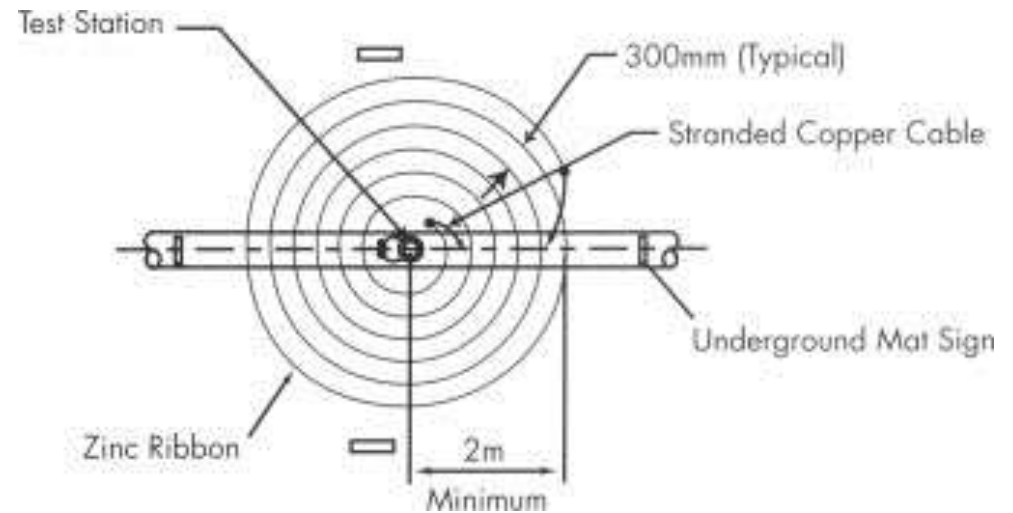
Ánodos galvánicos distribuidos.



Sistemas de Aterrizamiento.



TECNOLOGÍA TOTAL
CONTROL INTEGRAL DE CORROSIÓN



Tapetes enterrados y cables de control.



Accesorios y Equipos.

- Celdas de polarización.
- PCR's
- Unión directa a otros oleoductos o estructuras.
- Acople de la tubería al *casing*.



Kirk Cell



PCR