

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



PROTECCIÓN CATÓDICA APLICADA A TUBERÍAS DE ACERO DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL EN LIMA Y CALLAO

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELÉCTRICISTA

PRESENTADO POR:

JUAN JOSÉ GÓMEZ GÓMEZ

**PROMOCIÓN
2005- I**

**LIMA – PERÚ
2010**

**PROTECCIÓN CATÓDICA APLICADA A TUBERÍAS DE
ACERO DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL
EN LIMA Y CALLAO**

Un agradecimiento especial a Dios, a mis padres Moisés y Cirila, mis hermanos, a mi esposa Alejandra, a mi alma mater la UNI y a la FIEE.

SUMARIO

El presente informe de suficiencia trata sobre la Protección Catódica por Corriente Impresa aplicada a tuberías de acero de distribución de gas natural en Lima y Callao, basándose en las Normas Internacionales NACE (National Association of Corrosion Engineers) y ASME (American Society of Mechanical Engineers).

Dicho método nos presenta una solución eficaz para prevenir la corrosión en las tuberías de acero enterradas, estando estas expuestas a medios agresivos y a soluciones salinas presentes en suelos, con el tiempo sin una prevención adecuada se estarían deteriorando.

Dicha actividad de prevención de la corrosión, tiene que estar respaldado con personal capacitado, una logística apropiada, programas y planes de mantenimiento adecuados.

Cabe mencionar, que la elección de los planes de mantenimiento se realizó mediante el análisis de la información recopilada, de los tipos de equipos e instalaciones que vienen operando en la actualidad y de la experiencia de ingenieros y técnicos que laboran en el área de mantenimiento.

INDICE

PROLOGO	1
CAPITULO I	
ANTECEDENTES	
1.1 Objetivo	2
1.2 Alcances	2
1.3 Situación actual	2
1.4 Tipo de mantenimiento implementado	2
CAPITULO II	
CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE GAS	
NATURAL PARA LIMA Y CALLAO	
2.1 Localización de las tuberías de acero	3
2.1.1 Red de alta presión	3
2.1.2 Red de media presión	5
2.1.3 Red de baja presión	5
2.1.4 Esquema y diseño conceptual del sistema de distribución	7
2.2 Características de las tuberías de acero instaladas	9
2.3 Tratamiento de superficies de tuberías de acero	10
2.4 Etapas durante la construcción de las redes de acero	11
2.4.1 Preparación del terreno	11
2.4.2 Desfile de tuberías	12
2.4.3 Excavación	12
2.4.4 Preparación de zanjas	12
2.4.5 Doblado de tuberías al frio	12
2.4.6 Proceso de soldadura	13
2.4.7 Recubrimiento de uniones soldadas	13
2.4.8 Bajado de zanjas	13
2.4.9 Relleno y compactación	14

2.4.10	Tendido de triductos en zanja	14
2.4.11	Recomposición final del terreno	15
2.5	Pruebas aplicadas a las tuberías de acero	15
2.5.1	Pruebas antes y durante la instalación	15
2.5.2	Pruebas finales, después de la instalación	17
2.6	Casos particulares	18
2.6.1	Interferencias con otras instalaciones	18
2.6.2	Cambio de dirección	19
2.6.3	Cruces de ríos y avenidas	19

CAPITULO III

CONTROL DE LA CORROSIÓN EN REDES DE TUBERÍAS DE

GAS NATURAL

3.1	Concepto de corrosión del acero en el suelo	21
3.2	Tipos de corrosión por suelos del acero	21
3.2.1	De acuerdo a la naturaleza del medio	21
3.2.2	De acuerdo a su mecanismo	22
3.2.3	De acuerdo a la apariencia del metal corroído	23
3.3	Métodos de control de corrosión	25
3.3.1	Protección Catódica	25
3.3.2	Inhibidores	29
3.3.3	Recubrimientos	29
3.3.4	Diseño	30
3.3.5	Protección anódica	30
3.3.6	Modificación del medio ambiente	31

CAPITULO IV

METODO DE PROTECCIÓN APLICADO A LA RED DE GAS NATURAL

4.1	Diseño del Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa	32
4.1.1	Información útil para el diseño	32
4.1.2	Software para el diseño del Sistema de Protección Catódica	34
4.1.3	Salida de datos del software	38
4.1.4	Caso práctico	39
4.2	Interferencia DC y AC	40

4.2.1 Interferencia DC	41
4.2.2 Interferencia AC	41
4.3 Componentes del Sistema de Protección Catódica	42
4.3.1 Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa	42
4.3.2 Sistema de Protección Catódica por Ánodos de Sacrificio	43
4.4 Aterramiento y protección de descargas	45
4.5 Casos registrados en cercanía a la red de distribución	46
4.6 Marco regulatorio	47
4.6.1 Reglamento nacional	47
4.6.2 Estándares de referencia	47

CAPITULO V

CONTROL DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA.

5.1 Mantenimiento preventivo	48
5.1.1 Relevamiento de potenciales	48
5.1.2 Inspección de unidades de corriente impresa	50
5.1.3 Monitoreo de puntos de inyección de corriente	50
5.1.4 Verificación de juntas aislantes	50
5.2 Mantenimiento correctivo	51
5.3 Mantenimiento Predictivo	51
5.3.1 External Corrosion Direct Assessment (ECDA)	51
5.4 Técnicas de inspección	52
5.4.1 Evaluación Close Interval Survey (CIS)	52
5.4.2 Direct Current Voltage Gradient (DCVG)	52
5.4.3 Inspección de potenciales “On – Off” sobre puntos de referencia fijos o poste a poste	53
5.4.4 Resistividad	53
5.5 Parámetros de control de la Protección Catódica (V, I)	53
5.5.1 Voltaje	53
5.5.2 Corriente	53
5.5.3 Resistencia	53
5.5.4 Criterios de protección catódica según Norma NACE RP 0169	54
5.6 Evaluación económica de los programas de mantenimiento	54

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
ANEXOS	57
BIBLIOGRAFIA	64

PROLOGO

El propósito del presente informe es abordar el tema de la protección contra la corrosión de las tuberías de acero enterradas que distribuyen el gas natural en Lima y Callao, mostrándolo en teoría y en la práctica que se logra satisfactoriamente mediante el uso del método de Protección Catódica por Corriente Impresa.

Previamente a la explicación del método nos ocuparemos de aspectos concurrentes como la construcción del sistema de tuberías de distribución de gas natural, las características básicas de la corrosión del acero en el suelo y los métodos de control y protección contra la corrosión que se conocen y aplican.

Luego, ya en el desarrollo del tema nos ocuparemos del diseño y los componentes del sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa, las interferencias DC y AC y casos registrados en cercanía a la red de distribución, aterramiento y protección contra descargas y finalmente las Normas y los organismos fiscalizadores que forman parte de esta actividad, lo cual se complementa con los mantenimientos preventivo, predictivo y las técnicas de inspección a cargo del personal técnico especializado y por parte del personal Contratista.

Cabe resaltar en este caso la importancia que he tenido de participar en la operación del sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa, que me permitió aplicar mis conocimientos de ingeniera eléctrica, así como familiarizarme con las actividades y procedimientos en una empresa de distribución de gas natural formando parte de un equipo multidisciplinario en el departamento de mantenimiento e ingeniera, participando en la elaboración anual de los programas y planes de mantenimiento, la generación y análisis de los indicadores de gestión y las tendencias de los datos actuales e históricos relacionados a la inspección y monitoreo del método en estudio, buscando la disminución en los costos y la rentabilidad a la empresa, que le permitan una economía firme y crecimiento a mediano y largo plazo.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

1.1 Objetivo

Aplicar la técnica de Protección Catódica para el control de corrosión en las tuberías de acero del sistema de distribución de gas natural mediante el método de Corriente Impresa de acuerdo a las Normas Internacionales aplicables indicadas en el punto 4.6.2 del presente informe.

1.2 Alcances

El presente informe detalla actividades de aplicación de uno de los principales métodos para el control de la corrosión en las tuberías de acero instaladas en el sistema de distribución de gas natural en Lima y Callao, involucra también los estudios previos, la puesta en servicio, operación, mantenimiento y una evaluación continua del método de control de corrosión en estudio.

1.3 Situación actual

Actualmente, el sistema de distribución de gas natural para Lima y Callao, cuenta con tres (3) Sistemas de Protección Catódica por Corriente Impresa, estos se encuentran instalados en Lurín, Estación Terminal y la ERP El Agustino.

1.4 Tipo de mantenimiento implementado

El sistema de distribución de gas natural por tuberías enterradas cuenta con programas de mantenimiento para el Sistema de Protección Catódica netamente preventivos, sin embargo las tuberías expuestas a la atmósfera ubicadas en las estaciones de gas son controladas por actividades de mantenimiento correctivos programados.

Adicionalmente al requerimiento por mantenimiento, por parte de la empresa se realizan otros estudios denominados: 1) Inspección de Potenciales a Intervalos Cortos (Close Interval Survey (CIS)), 2) Mapeo de corriente en tuberías (Pipeline Current Mapper (PCM)) y 3) Gradiente de Voltaje de Corriente Continua (Direct Current Voltage Gradient (DCVG)). Estos dos últimos estudios forman parte de la evaluación directa de la corrosión externa (ECDA).

CAPITULO II

CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL PARA LIMA Y CALLAO.

La actividad desarrollada en una empresa distribuidora de gas natural, me permitieron conocer el ciclo de un proyecto típico, desde localización, características, tratamiento, etapas de construcción, pruebas aplicadas y casos particulares de tuberías de acero instaladas en el sistema de distribución de gas natural en Lima y Callao, cuya experiencia básica detallo a continuación.

2.1 Localización de las tuberías de acero

Las tuberías de acero se encuentran instaladas en zanjas a lo largo de la servidumbre del gasoducto troncal y sus derivaciones y ramales, estas tuberías de acero conforman redes de acero para alta presión, media presión y baja presión.

2.1.1 Red de alta presión

La red de alta presión cuya presión de diseño es 50 barg (725.2 psi), está conformado principalmente por el gasoducto troncal – derivaciones, ramal a Etevensa y Sudamericana de fibras, derivación a Estaciones de Regulación de Presión (ERP) y derivaciones y extensiones de red a clientes industriales.

a) Gasoducto Troncal

Se denomina gasoducto troncal al conjunto de tuberías de 20'' (0.508m) de diámetro y accesorios para conducir gas natural desde el punto de recepción (City Gate) hasta el final del mismo (Estación Terminal), pasando por varios distritos de Lima y la Provincia Constitucional del Callao.

Descripción de la ruta:

Su recorrido inicial lo realiza desde la estación principal City Gate (puerta de entrada a la ciudad), ubicada al sur de Lima en el distrito de Lurín Av. Industrial s/n, dirigiéndose al oeste hasta alcanzar la antigua Panamericana Sur Km. 38. En este punto gira hacia el norte en un trazado semi rural acompañando el recorrido de dicha ruta hasta aproximadamente el Km. 9, donde gira hacia el este por algunos centenares de metros y se dirige nuevamente al

norte cruzando el río Lurín aproximadamente en el Km. 10. Luego del cruce el gasoducto atraviesa una zona netamente rural hasta el Km. 15. Desde allí avanza paralelo a la Av. Pachacutec y dirigiéndose hacia el norte cruza zonas cada vez más urbanizadas.

Avanza paralelo a la vía Evitamiento hasta las proximidades del río Rímac. Antes de cruzar las vías del ferrocarril, en el Km. 39.5 del trazado gira francamente hacia el oeste y se introduce en la faja de las vías férreas acompañando su trazado.

En la intersección de las vías con la Av. Gambetta el ducto gira nuevamente hacia el norte. Cruza el río Rímac y acompaña la citada avenida hasta el punto final de la Estación Terminal, aproximadamente en el Km. 61 del trazado. (Ubicada al norte de Lima – Provincia Constitucional del Callao)

A continuación se presenta un esquema de la trayectoria del Gasoducto Troncal, por los diferentes distritos de Lima y la Provincia Constitucional del Callao.

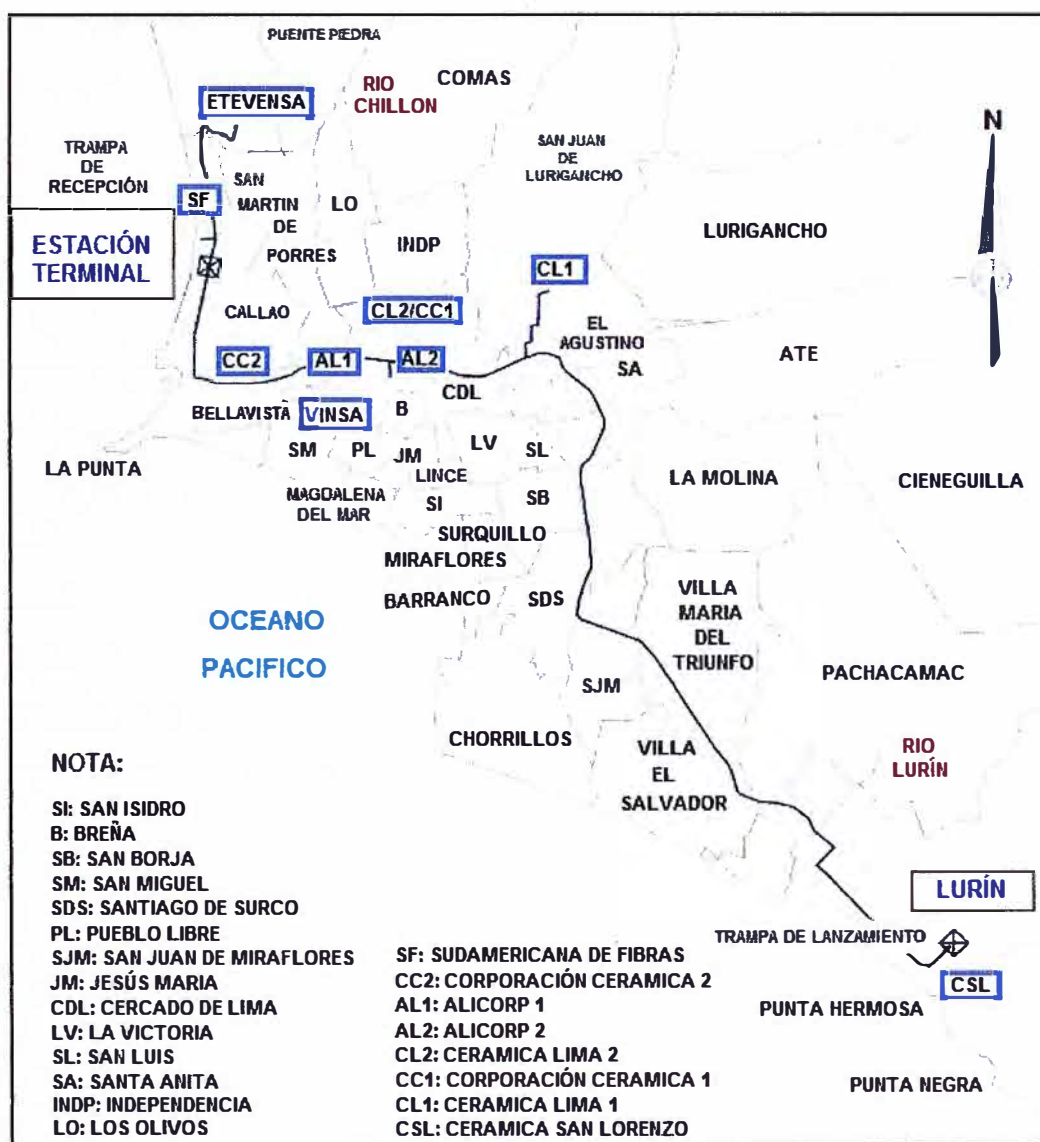


Fig. 2.1 Plano de ubicación, gasoducto troncal – derivaciones

El gasoducto troncal del sistema de distribución de Lima y Callao contempla:

Trampa de lanzamiento de scraper diseñada para manejar sondas de limpieza (pig's) inteligentes.

Aproximadamente 61 Km. de tubería de acero al carbono de 20'' (0.508m) de diámetro y espesor 0.438'' (11.13mm)

Un total de 10 válvulas de bloqueo actuadas de 20'' (0.508m) están distribuidas a lo largo del gasoducto troncal. La distancia máxima entre las mismas está de acuerdo a lo especificado en el código ASME B31.8.

Estaciones reguladoras de presión que alimentan a gasoductos urbanos, industrias o termoeléctricas.

Finalmente la trampa de recepción de scraper diseñada para manejar sondas de limpieza (pig's) inteligentes.

2.1.2 Red de media presión

La red de media presión cuya presión de diseño es de 19 barg (275.6 psi), está conformado principalmente por el ramal a Cerámica Lima 2/ Corporación Cerámica 1, ramales, derivaciones y extensiones de red a clientes industriales.

2.1.3 Red de baja presión

La red de baja presión cuya presión de diseño es de 10 barg (145 psi), está conformado principalmente por el ramal a Cerámica Lima 1, ramal a Vinsa, ramales, derivaciones y extensiones de red a clientes industriales.

a) Ramales

Los gasoductos ramales o urbanos, son aquellos sistemas de tuberías que conforman una red de distribución de gas natural, dentro de una población urbana o rural para atender el suministro domiciliario, comercial e industrial de este combustible.

Dependiendo de las necesidades de caudal y presión requeridos por los consumidores, y atendiendo a las necesidades futuras, los ramales son de 16'' (0.4064m), 14'' (0.3556m), 12'' (0.3048m), 10'' (0.254m), 8'' (0.2032m), 6'' (0.1524m), 4'' (0.1016m), 3'' (0.0762m), 2 ½'' (0.0635m) y 2'' (0.0508m) de diámetro.

En la Fig. 2.2, se muestra el ramal a Etevensa con un recorrido aproximado de 7 Km. de longitud y de 14'' (0.3556m) de diámetro, de igual forma se muestra el ramal a Sudamericana de Fibras con un recorrido aproximado de 150 m. de longitud y de 8'' (0.2032m) de diámetro, ambos forman parte de la red de alta presión. En la Fig. 2.3, se muestra el ramal a Cerámica Lima 2 (CL02)/Corporación Cerámica Lima 1 (CC01) con un

recorrido aproximado de 6 Km. de longitud y de 8" (0.2032m), 6" (0.1524m) y 4" (0.1016m) de diámetro, de igual forma se muestra el ramal a Vinsa con un recorrido aproximado de 4.6 Km. de longitud y de 8" (0.2032m) de diámetro, ambos forman parte de la red de media y baja presión respectivamente.



Fig. 2.2 Plano, Ramal a Etevensa y Sudamericana de Fibras en alta presión



Fig. 2.3 Plano, Ramal a CL02/CC01 y Ramal a Vinsa, en media y baja presión

La Fig. 2.4 muestra el corte transversal del gasoducto troncal donde se muestra la profundidad y materiales utilizados.

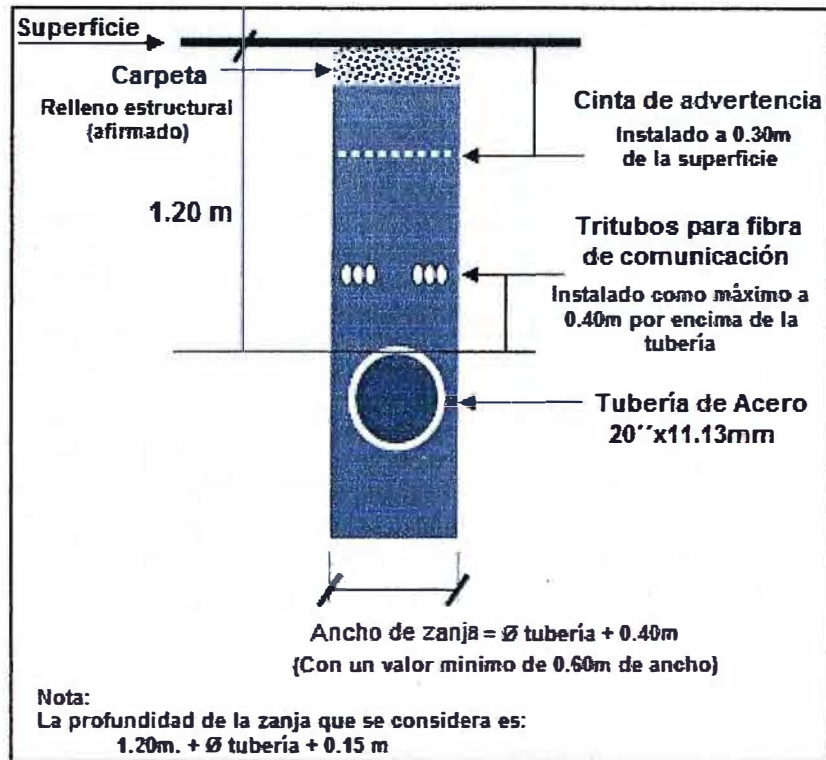


Fig. 2.4 Corte transversal de gasoducto para red troncal

Las siguientes figuras muestran: Trampa de lanzamiento y recepción, estación reguladora de presión y válvulas de línea.



Fig. 2.5 Fotos, Trampa de Lanzamiento – Lurín (Costado estación City Gate) y Trampa de Recepción – Callao (Costado estación Terminal)



Fig. 2.6 Foto, Estación reguladora de presión y Válvula de línea

2.1.4 Esquema y diseño conceptual del sistema de distribución

El siguiente esquema resume la estructura y diseño conceptual del sistema de distribución de gas natural.

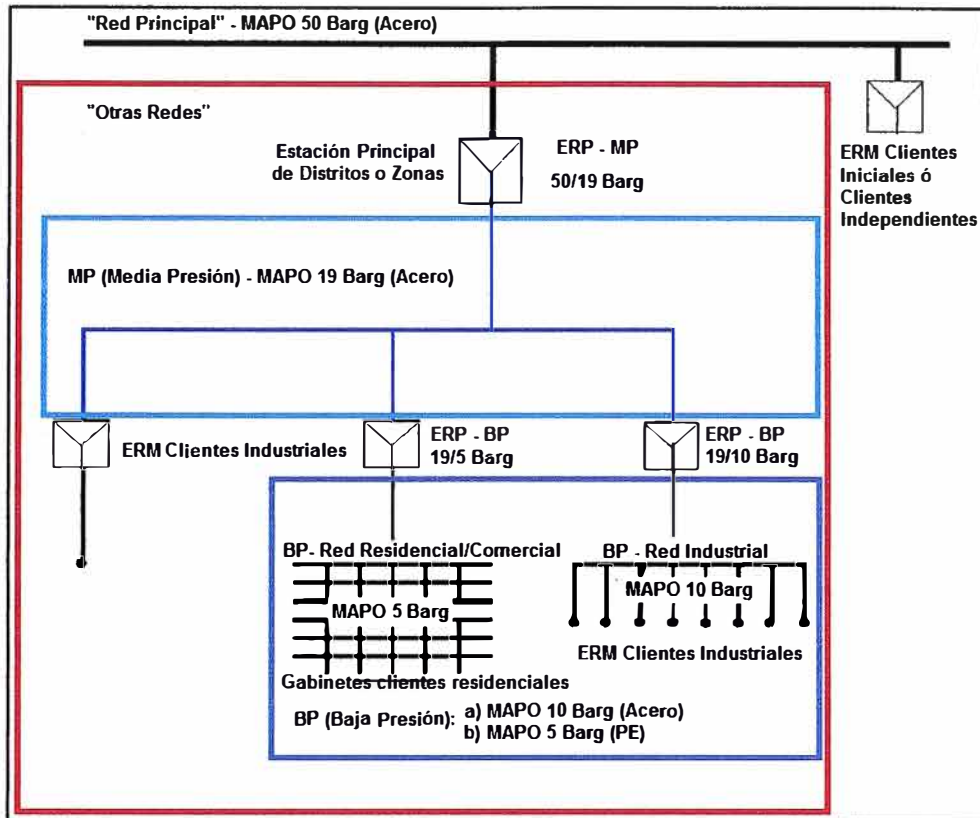


Fig. 2.7 Esquema y diseño conceptual del sistema de distribución de gas natural

a) Descripción general operativa del sistema

La Red Principal, cuya presión de diseño es de 50 barg, comprende tanto un gasoducto principal de 20'' de diámetro como las derivaciones o ramales de otros diámetros (14'' (0.3556m), 8'' (0.2032m), 6'' (0.1524m), 4'' (0.1016m) y 3'' (0.0762m)), las cuales alimentan las redes de media presión a través de las ERP-MP, así como grandes clientes industriales conectados directamente a través de ERM, tales como los clientes iniciales.

Las redes en media presión, están constituidas por tuberías de acero de 10'' (0.254m), 8'' (0.2032m), 6'' (0.1524m), 4'' (0.1016m), 3'' (0.0762m) y 2 ½'' (0.0635m) de diámetro y tienen por objeto, en general, ingresar con el gas natural en zonas más urbanizadas con respecto a donde se ubica la red principal y tienen como función alimentar las ERP-BP de las redes de baja presión y el suministro a clientes industriales en los casos que la situación así lo determine a través de ERM.

Las redes de baja presión en acero, constituidos por tuberías de 16'' (0.4064m), 12'' (0.3048m), 10'' (0.254m), 8'' (0.2032m), 6'' (0.1524m), 4'' (0.1016m), 3'' (0.0762m), 2 ½'' (0.0635m) y 2'' (0.0508m), tendrán como objeto principal la distribución en zonas industriales, alimentando los clientes industriales a través de ERM. También alimentaran las ERP-BP de las redes de baja presión en polietileno.

Finalmente, operando al más bajo nivel de presión, las redes de baja presión en polietileno, constituidas por tuberías de 200mm, 160mm, 110mm, 90mm, 63mm, 32mm y 20mm, tendrán como objeto principal la distribución residencial, comercial y pequeña industria, alimentando dichos clientes a través de gabinetes de regulación y medición.

Fundamentalmente, las Otras Redes consistirán en:

- Un sistema de distribución para clientes industriales, comerciales y residenciales, el cual consistirá de redes de baja presión en polietileno; y,
- Un sistema de distribución a las estaciones reguladoras de presión y a los clientes industriales, el cual consistirá de redes de acero en baja y media presión.

2.2 Características de las tuberías de acero instaladas

Las tuberías de acero instaladas fueron fabricadas de acuerdo a la Norma API 5L. El grado de acero depende del nivel de presión al cual operarán las tuberías, así tenemos:

TABLA N° 2.1 Características tubería de acero – red de alta presión

RED DE ACERO	MATERIAL	DIÁMETRO NOMINAL (NPS)		DIÁMETRO EXTERIOR REAL		e (mm)	REVESTIMIENTO	CÓDIGO DE DISEÑO	FACTOR DE DISEÑO	PRESIÓN DE DISEÑO (barg)
		Ø (")	Ø (mm)	Ø (")	Ø (mm)					
Alta Presión	API 5L X70	24	609.6	24	609.6	11.13	Tricapa	ASME B31.8	0.3	50
	API 5L X56	20	508.0	20	508.0	11.13	Tricapa	ASME B31.8		
	API 5L X56 API 5L X42	14	355.6	14	355.6	11.13	Tricapa/ Cinta	ASME B31.8		
		10	254.0	10 3/4	273.1	11.13		ASME B31.8		
		8	203.2	8 5/8	219.1	11.13		ASME B31.8		
		6	152.4	6 5/8	168.3	11.13		ASME B31.8		
		4	101.6	4 1/2	114.3	11.13		ASME B31.8		
		3	76.2	3 1/2	88.9	11.13		ASME B31.8		

TABLA N° 2.2 Características tubería de acero – red de media presión

RED DE ACERO	MATERIAL	DIÁMETRO NOMINAL (NPS)		DIÁMETRO EXTERIOR REAL		e (mm)	REVESTIMIENTO	CÓDIGO DE DISEÑO	FACTOR DE DISEÑO	PRESIÓN DE DISEÑO (barg)
		Ø (")	Ø (mm)	Ø (")	Ø (mm)					
Media Presión	API 5L X56 API 5L X42 API 5L Gr.B	16	406.4	16	406.4	9.53	Tricapa/ Cinta	ASME B31.8	0.4	19
		12	304.8	12 3/4	323.9	9.53		ASME B31.8		
		10	254.0	10 3/4	273.1	9.27		ASME B31.8		
		8	203.2	8 5/8	219.1	8.18		ASME B31.8		
		6	152.4	6 5/8	168.3	7.11		ASME B31.8		
		4	101.6	4 1/2	114.3	6.02		ASME B31.8		
		3	76.2	3 1/2	88.9	5.49		ASME B31.8		
		2 1/2	63.5	2 7/8	73.0	5.16		ASME B31.8		
		2	50.8	2 3/8	60.3	3.91		ASME B31.8		

TABLA N° 2.3 Características tubería de acero – red de baja presión

RED DE ACERO	MATERIAL	DIÁMETRO NOMINAL (NPS)		DIÁMETRO EXTERIOR REAL		e (mm)	REVESTIMIENTO	CÓDIGO DE DISEÑO	FACTOR DE DISEÑO	PRESIÓN DE DISEÑO (barg)
		Ø (")	Ø (mm)	Ø (")	Ø (mm)					
Baja Presión	API 5L X42 API 5L Gr.B	16	406.4	16	406.4	9.53	Tricapa/ Cinta	ASME B31.8	0.4	10
		12	304.8	12 3/4	323.9	9.53		ASME B31.8		
		10	254.0	10 3/4	273.1	9.27		ASME B31.8		
		8	203.2	8 5/8	219.1	8.18		ASME B31.8		
		6	152.4	6 5/8	168.3	7.11		ASME B31.8		
		4	101.6	4 1/2	114.3	6.02		ASME B31.8		
		3	76.2	3 1/2	88.9	5.49		ASME B31.8		
		2 1/2	63.5	2 7/8	73.0	5.16		ASME B31.8		
		2	50.8	2 3/8	60.3	3.91		ASME B31.8		

Los accesorios (bridas, válvulas, reducciones, entre otros) cumplirán con las Normas ANSI/ASME B16 y serán serie 150# o 300# (según la clase de presión) de grado de acero acorde con las tuberías.

Codos, tees y reducciones: ANSI/ASME B16.9/MSS-SP-75 o Normas Técnicas Internacionales equivalentes.

Bridas: ANSI/ASME B16.5 MSS-SP-44 o Normas Técnicas Internacionales equivalentes.

Weldolets: MSS-SP-97 o Normas Técnicas Internacionales equivalentes.

Tuercas y espárragos: ANSI/ASME B18.2.1 y ANSI/ASME B18.2.2/ASTM A 193 B7/ASTM A 194 2H o Normas Técnicas Internacionales equivalentes.

Empaquetaduras espiraladas para bridas: ANSI/ASME B16.5/MS-SP-44 o Normas Técnicas Internacionales equivalentes.

2.3 Tratamiento de superficies de tuberías de acero

La preparación de superficie y aplicación de pinturas en tuberías de acero son realizadas según procedimientos de trabajo y basándose en estándares internacionales como son la American Society for Testing and Materials (ASTM), International Standard Organization (ISO) y Society for Protective Coatings (SSPC), las cuales se listan a continuación:

ASTM E337 Método estándar para la medición de humedad con un psicrómetro.

ASTM D4417 Método estándar para la medición del perfil de rugosidad.

ASTM D4285 Método estándar para indicar la presencia de agua o aceite en el aire comprimido.

ASTM D4414 Práctica estándar para la medición del espesor de película húmeda de pintura.

ASTM D3359 Método estándar para medir la adhesión con una cinta de prueba.

ASTM D4541 Método estándar para evaluar la adhesión por tracción de un recubrimiento utilizando equipos de adhesión portátiles.

ASTM D3363 Método estándar para la determinación de la dureza de la película de un recubrimiento orgánico mediante prueba de lápiz.

ISO 8502-3 Prueba para medir el nivel de contaminantes en una superficie limpiada.

SSPC-SP1 Limpieza con solvente.

SSPC-SP2 Limpieza con herramientas manuales.

SSPC-SP3 Limpieza con herramientas manuales motrices.

SSPC-SP5 Limpieza con chorro abrasivo al metal blanco.

SSPC-SP1 Limpieza al metal desnudo con equipos de poder.

SSPC VIS1 Estándares visuales para la limpieza con chorro abrasivo.

SSPC-PA1 Pintado de acero para taller, campo y mantenimiento.

SSPC-PA2 Medición de espesores de película seca.

SSPC-AB1 Especificación para abrasivos minerales y escorias.

SSPC-AB2 Especificación para limpieza de abrasivos metálicos ferrosos reciclados.

SSPC-AB3 Especificación para abrasivos metálicos ferrosos.

SSPC Guía 15 Método de campo para extraer y analizar sales solubles en el acero y otros sustratos no porosos.

2.4 Etapas durante la construcción de las redes de acero

A continuación se describe la secuencia de trabajos ejecutados para la construcción del gasoducto troncal de distribución de gas natural realizado en Lima y Callao.

Las tuberías utilizadas en la construcción de los gasoductos llegaron al puerto del Callao vía marítima.



Fig. 2.8 Desembarco de las tuberías de acero en el puerto del Callao

2.4.1 Preparación del terreno

La preparación del terreno consistió en el reconocimiento de la ruta, evaluación de posibles interferencias con otras instalaciones, definición y trazado de la ruta por donde se realizó las excavaciones. Existieron casos donde se evaluaron otras alternativa más convenientes de ruta, para ello se solicitó el permiso correspondiente ante las autoridades llevándose a cabo estas mejoras.



Fig. 2.9 Marcado del trazo

2.4.2 Desfile de tuberías

Es el proceso de ubicación de las tuberías una tras otra adjunta lo más cercano posible a la ruta. Se colocan sobre soportes a fin de no tomar contacto directo con el suelo para evitar posibles daños del revestimiento.



Fig. 2.10 Desfile de tuberías

2.4.3 Excavación

Se ejecutó con maquinaria de movimiento de tierra a lo largo de la ruta, se tuvo permanente cuidado de encontrarse con instalaciones y ser deterioradas.

El ancho y profundidad de las zanjas fueron determinadas de acuerdo al diseño. (Véase Fig. 2.4)



Fig. 2.11 Excavación de zanja

2.4.4 Preparación de zanjas

Consistió en darle las condiciones adecuadas para que las tuberías puedan ser ubicadas dentro de estas, evitando que sufran daño producto ya sea por las condiciones del terreno, ubicación de instalaciones ajenas, etc.

2.4.5 Doblado de tuberías al frío

A lo largo de la traza se encontraron desniveles y curvas, las cuales se tuvieron que acondicionar las tuberías para estas condiciones, es decir, el doblado de acuerdo a cada situación. Para ello se utilizó una maquina dobladora en frío, verificando permanentemente el ángulo de dobles. (ASME B31.8 841.23), véase la Fig. 2.12.

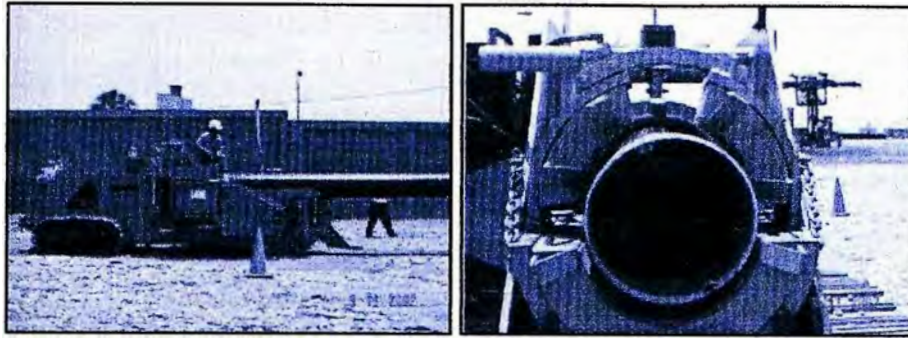


Fig. 2.12 Máquina dobladora y Sujeción de la tubería

2.4.6 Proceso de soldadura

El proceso consiste en juntar las tuberías mediante herramientas que permiten mantenerlos nivelados, luego se aplica el cordón de soldadura en toda la unión evitando imperfecciones. Este trabajo fue realizado por soldadores calificados y con personal de apoyo, utilizando procedimientos de soldadura elaborados en base al estándar API 1104, los cuales deben contar con sus correspondientes registros.



Fig. 2.13 Proceso de soldadura

2.4.7 Recubrimiento de uniones soldadas

Las áreas expuestas de las uniones soldadas serán revestidas por medio de mantas termocontraíbles o cintas según revestimiento de las tuberías adyacentes.

Unas de las marcas aceptadas para mantas termocontraíbles es: Raychem HTLP-60 (“Wraparound Pipe Sleeve and Epoxy Primer System”) o similar.

Los accesorios no revestidos enterrados cuyas superficies no sean irregulares serán recubiertos con las cintas, por ejemplo el producto Raychem HTLP-60 Cintas FlexClad o ThermaClad.

2.4.8 Bajado de zanjas

Una vez que los varillones se encuentran preparados, se procede al bajado a la zanja evitando de tomar contacto con cuerpos extraños que puedan dañar el recubrimiento.

Dentro de la zanja el varillón quedará sobre apoyos para realizar la prueba de Holiday Detector quien verificará si existió algún daño durante su traslado.

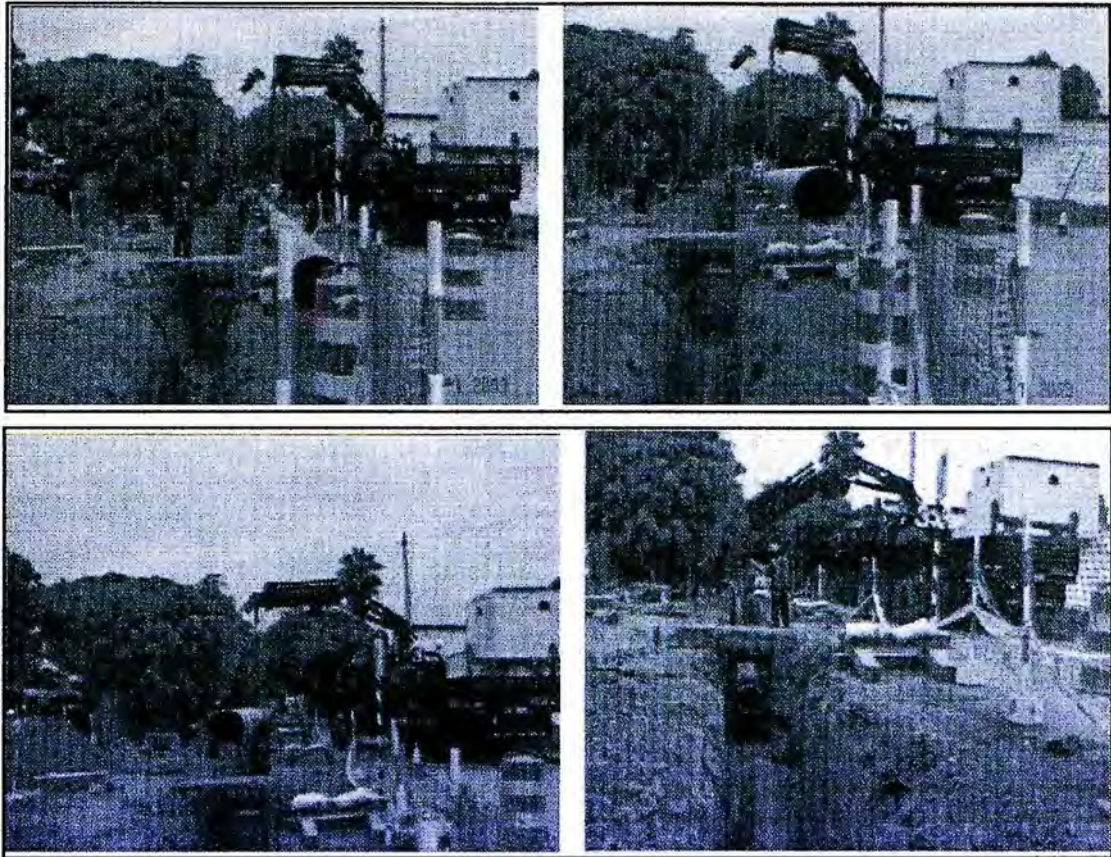


Fig. 2.14 Varillón apoyado, inicio de izaje, desplazamiento y acomodo

2.4.9 Relleno y compactación

La siguiente etapa es rellenar el ducto con un colchón de arena para una protección de base y proceder luego a su compactación, tal como se muestra en la Fig. 2.15.

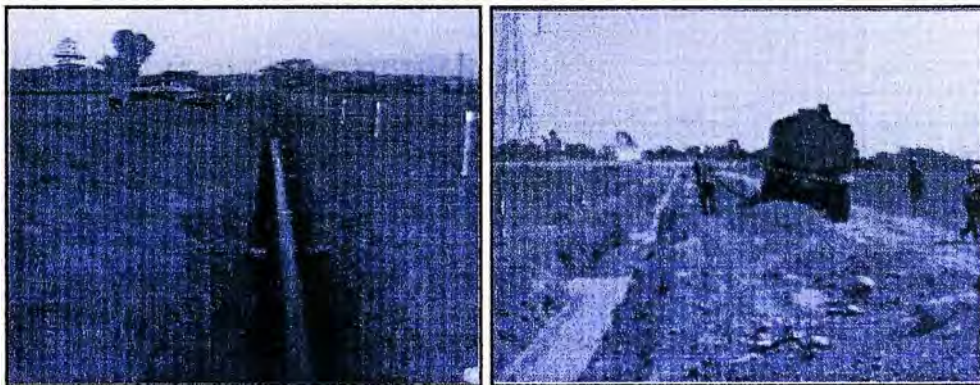


Fig. 2.15 Relleno con arena y Compactación hidráulica

2.4.10 Tendido de triductos en zanja

El gasoducto troncal estará monitoreado desde el City Gate mediante la adquisición de datos en puntos diferentes, para ello se instalarán triductos para el tendido de la fibra óptica

de las cuales solamente se utilizará un ducto, quedando pendiente el resto para quienes lo requieran en el futuro.



Fig. 2.16 Desplazamiento, tendido y empalme de triducto

2.4.11 Recomposición final del terreno

Una vez culminado todas las instalaciones y pruebas respectivas se procede a culminar el trabajo realizando una compactación final y el asfaltado, dejando así el área resanada.

Antes del cierre definitivo se instalará una cinta de advertencia de seguridad que tiene por objetivo alertar en caso se realice alguna obra futura por la zona.



Fig. 2.17 Colocación de cinta de seguridad, compactación final y asfaltado



Fig. 2.18 Asfaltado y estado final

2.5 Pruebas aplicadas a las tuberías de acero

Las pruebas aplicadas a las tuberías de acero la detallaremos a continuación:

2.5.1 Pruebas antes y durante la instalación

a) Ensayos no destructivos

Son pruebas para detectar posibles imperfecciones durante el proceso de soldadura y consiste en una primera prueba de inspección visual donde se podría detectar fallas que

resaltan a simple vista como por ejemplo exceso de soldadura las cuales deberían ser rebajadas, entre otros defectos que pudiera ocurrir. Es importante destacar que cuando hay observaciones en la unión estas son marcadas indicando la fecha, hora, ubicación, etc. del defecto para su posterior reparación. Luego de esta primera inspección se procede a utilizar el ROTOSCAN, que es un equipo que detecta fallas mediante ultrasonido, no perjudicial al medio ambiente sin efectos radiactivos y son reportados en una computadora.



Fig. 2.19 Instalación de equipo y prueba de ultrasonido

b) Detección de fallas del recubrimiento

Se verificará la correcta aplicación de las mantas o cintas, mediante la inspección visual y pruebas de adherencia.

Para el caso de las mantas termocontraíbles el ensayo de adherencia se efectuará a la mañana siguiente de la aplicación de la manta, considerando ensayar en un tiempo mínimo de 15 horas o lo recomendado por el fabricante.

La frecuencia del ensayo será de una prueba por trabajo ejecutado en una jornada por un mismo equipo de trabajo. La distancia de desprendimiento no debe superar los 100 mm.



Fig. 2.20 Prueba de adherencia y parche con leyenda

Una vez que la instalación y/o reparación de la manta esté terminada, se deberá realizar la prueba de “Holiday Detector”.

La prueba Holiday detector se realiza antes y después de bajar la tubería a la zanja y tiene como objetivo detectar agujeros, grumos o goteos en el revestimiento, para ello el voltaje de detección recomendado para las cintas será de 8 KV +/- 20%, verificándose a lo que recomienda el fabricante, el cual deberá aplicarse en constante movimiento, de acuerdo a la

ASTM G62 ó NACE RP0274. El voltaje de detección máximo recomendado será de 5KV por cada mm de espesor del recubrimiento más 5KV. Por ejemplo para un espesor de 2.5 mm corresponde 17.5 KV. Ahora si existe un defecto, se debe marcar el orificio con un marcador adecuado, como tiza, crayola, para identificar el área que luego será reparada.



Fig. 2.21 Prueba de holiday detector antes de bajar el varillón y dentro de la zanja

c) Prueba de Pearson Test

Una vez tapada la tubería con arena se echa agua a la zanja y estando esta húmeda se realiza la prueba de Pearson Test, que tiene como objetivo localizar discontinuidades, contactos indeseados, fallas o roturas (metal desnudo) en los revestimientos de un conducto enterrado sin la necesidad de acceder a la superficie del tubo revestido. Asegurando que el revestimiento del ducto enterrado se encuentre en condiciones aptas para que la aplicación de la protección catódica sea efectiva.



Fig. 2.22 Prueba de Pearson Test

2.5.2 Pruebas finales, después de la instalación

a) Prueba Hidrostática

Previamente se debe pasar espumas y la sonda escobilla (brushing pig) para asegurar que no hay un elemento extraño dentro de las tuberías. Luego se llena con agua hasta el valor de prueba. Se inicia con la Prueba de Resistencia por 8 horas y continúa con la Prueba de

Hermeticidad por 24 horas (Total 32 horas), esta prueba se realiza según norma ANSI/ASME B 31.8. También se efectúan pruebas neumáticas a los SPOOLS por 04 horas, para lo cual las juntas de soldadura deben estar descubiertas y pasar agua jabonosa para detectar alguna fuga.

➤ **Prueba de resistencia**

La prueba de resistencia se realiza con la finalidad de asegurar que la tubería sea lo suficientemente resistente para la función bajo las condiciones normales de operación. En el caso de este proyecto la prueba de resistencia se realizó a una presión 50% mayor a la presión de diseño.

TABLA N° 2.4 Presiones de diseño y prueba

PRESION DE DISEÑO	PRESION DE PRUEBA
50 bar	75 bar
19 bar	28.5 bar
10 bar	15 bar

➤ **Prueba de hermeticidad**

La prueba de hermeticidad se realizará al finalizar la prueba de resistencia, se reducirá la presión hasta el 90% del valor de prueba de resistencia. Esta prueba se realiza con la finalidad de probar la hermeticidad del tramo de tubería liberado ya sometido a la prueba de resistencia, de demostrar la inexistencia de fugas en la tubería, la presión de prueba se mantendrá durante 24 horas como mínimo.

2.6 Casos particulares

2.6.1 Interferencias con otras instalaciones

Durante el proceso de construcción del gasoducto troncal se han encontrado con una serie de interferencias tales como:

- Cruce de ductos de agua
- Cruce de cables de energía
- Instalaciones eléctricas clandestinas
- Ductos de desagüe, etc.

Las cuales en algunos casos no figuraban en los planos actuales de los concesionarios, detectándose y tomando las precauciones debidas para protegerlos y evitar deterioros.

Ello origino algunos contratiempos que fueron afrontados exitosamente logrando superarlos y cumplir con los plazos establecidos. En las fotos que se muestran a continuación se observa algunos de ellos.



Fig. 2.23 Cables de energía

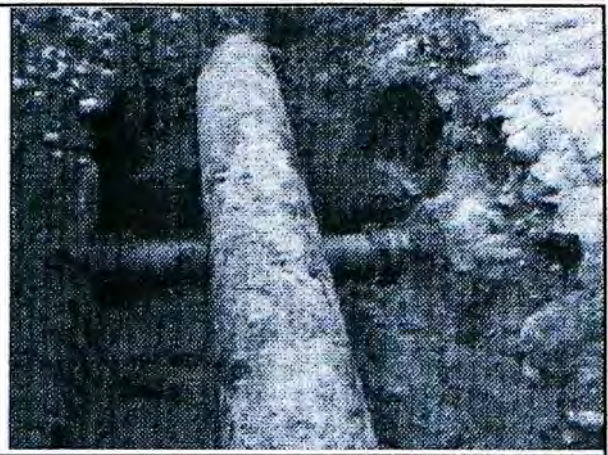


Fig. 2.24 Cruce con ducto de agua

2.6.2 Cambio de dirección

Otro aspecto constructivo fue instalar los gasoductos en avenidas con trayectorias no rectilíneas, es decir, haciendo curvas para un cambio de dirección en plano verticales y/o horizontales según sea el caso.

Para ello, previamente se realizaba el doblado en lugares acondicionados para tal propósito de acuerdo a tramo, luego son llevados al lugar para su instalación.

A continuación se muestra algunos detalles:

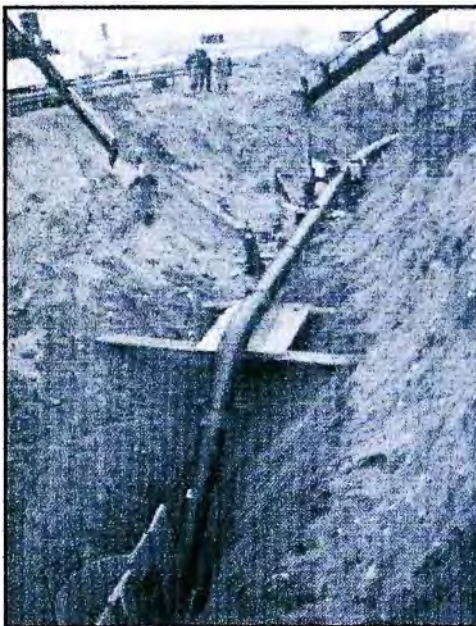


Fig. 2.25 Cambio de dirección en plano vertical y horizontal

2.6.3 Cruces de ríos y avenidas

Los mayores inconvenientes durante la construcción se dan cuando se encuentra situaciones como: Cruce de vías principales, circuitos múltiples (Trébol de Javier Prado) o cruce de ríos, etc. Ante estas circunstancias se evalúa la conveniencia de túneles tal como se muestra a continuación:



Fig. 2.26 Construcción de Tunelling

En los cruces de ríos se protegió a la tubería con un recubrimiento de concreto a fin de contrarrestar los efectos del empuje del agua y a su vez de protegerlo mecánicamente. La ejecución de los cruces se realizó teniendo en cuenta los estudios hidrológicos de los cursos de agua, a partir de los cuales se definieron la profundidad a la cual debía instalarse la tubería. Todos los cruces han sido subterráneos y han sido ejecutados con el mínimo impacto sobre los cursos.



Fig. 2.27 Bajado de la tubería en el cruce del Rio Lurín

CAPITULO III

CONTROL DE LA CORROSIÓN EN REDES DE TUBERÍAS DE GAS NATURAL

En este capítulo tocaremos temas relacionados a la definición de la corrosión, los tipos de corrosión del acero registrados en el suelo y métodos de control de corrosión aplicados en las tuberías de acero de distribución de gas natural.

3.1 Concepto de corrosión del acero en el suelo

El concepto de corrosión presente en las tuberías de acero de distribución de gas natural, instaladas en la superficie y enterrados en suelos de Lima y Callao, se puede definir como “el deterioro del material por acción electrolítica del ambiente que lo rodea”.

Las tuberías de acero expuestas a medios agresivos o corrosivos, como lo son: La atmosfera, soluciones salinas presentes en suelos, el aire húmedo, los vapores ácidos, etc., se oxidaran originando su posterior deterioro.

3.2 Tipos de corrosión por suelos del acero

3.2.1 De acuerdo a la naturaleza del medio

a) Corrosión atmosférica

Presente en casi todas las instalaciones industriales. Se asume que todas las atmósferas están compuestas principalmente de una mezcla de oxígeno (cerca al 20%) y Nitrógeno (78%). Mientras el oxígeno esté presente en la atmósfera natural es importante en los ambientes corrosivos, así como la presencia de CO₂ presente en atmósferas urbanas.

b) Corrosión subterránea

La corrosividad en ambientes subterráneos tiene un gran rango. El ambiente subterráneo será descrito en términos de características de suelos. Para el presente informe los suelos serán considerados como un material solido que cubre una estructura y puede consistir de arena, sedimentos, arcilla, rocas, o una mezcla de estos componentes. La corrosividad en ambientes subterráneos depende de:

Características físicas del suelo

Las características físicas primarias que afectan la corrosión son el tamaño de grano y su respectiva distribución, la retención de humedad y aireación.

Características químicas del suelo

El pH tiene un gran efecto en la corrosión de muchos materiales; sin embargo el efecto no es uniforme. A alcalinidades de pH de 8 – 10 el acero no es atacado por la corrosión al contrario de lo que pasa con el aluminio, el contenido de especies químicas como cloruros y sulfatos es muy importante.

Humedad

La humedad tiene tres efectos principales:

- Provee el solvente para el electrolito necesario para la corrosión.
- Afecta incrementando la conductividad del suelo.
- Afecta las condiciones ambientales que repercuten en el suelo.

Resistividad eléctrica

Es una propiedad de los materiales. La resistividad nos indica la resistencia unitaria que ofrece un material al flujo de cargas.

Aireación

A mayores incrementos en la aireación, la velocidad de corrosión en los aceros es mayor. Sin embargo, a aireaciones más bajas puede acelerar el ataque por corrosión, como en los aceros inoxidable.

Bacterias

Una bacteria particularmente agresiva es la bacteria sulfato reductora, la cual produce sulfuros como productos corrosivos.

Ambientes líquidos

La inmersión en líquidos presenta una gran variedad de ambientes corrosivos. Los líquidos son generalmente aguas, aguas tratadas, o fluidos de procesos químicos. Como los líquidos son llamados fluidos acuosos. Los líquidos no acuosos como los alcoholes, acetona, etc., también puede causar deterioro en otros materiales como plásticos o elastómeros. Los principales factores que afectan la corrosión en ambientes líquidos son: El pH, configuración física del sistema, limpieza química, velocidad de flujo, temperatura, presión y organismos biológicos.

3.2.2 De acuerdo a su mecanismo

a) Corrosión electroquímica

Esta reacción ocurre sobre la superficie del material, como el de la tubería enterrada que distribuye gas natural, expuesta a suelos con diferentes composiciones, humedad y oxígeno.

La mezcla de estos tres componentes se llama electrolito, es decir, una solución con especies iónicamente disueltas en agua capaz de transmitir la corriente eléctrica.

3.2.3 De acuerdo a la apariencia del metal corroído

a) Corrosión Uniforme

Donde la corrosión actúa uniformemente sobre toda la superficie del metal, causando la mayor pérdida en peso del metal.

En este tipo de corrosión, los ánodos y cátodos cambian de ubicación.

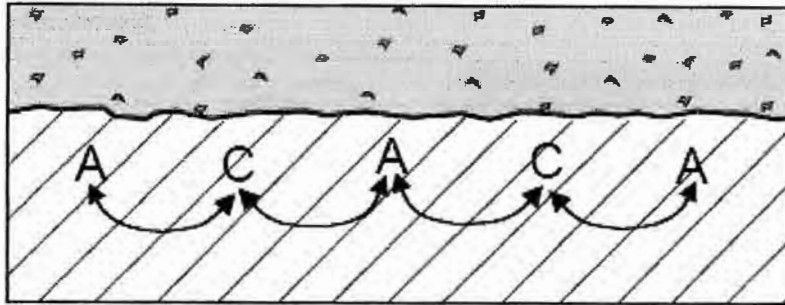


Fig. 3.1 Corrosión Uniforme

b) Corrosión localizada

Se presenta en sitios discretos sobre la superficie del metal. Constituye la forma más peligrosa de corrosión.

Dentro de los tipos de corrosión localizada tenemos:

b.1) Corrosión galvánica

Ocurre cuando metales diferentes se encuentran en contacto, ambos metales poseen potenciales eléctricos diferentes lo cual favorece la aparición de un metal como ánodo y otro como cátodo, a mayor diferencia de potencial el metal más activo sufre una corrosión más acelerada, mientras que la corrosión en el metal menos activo es eliminada.

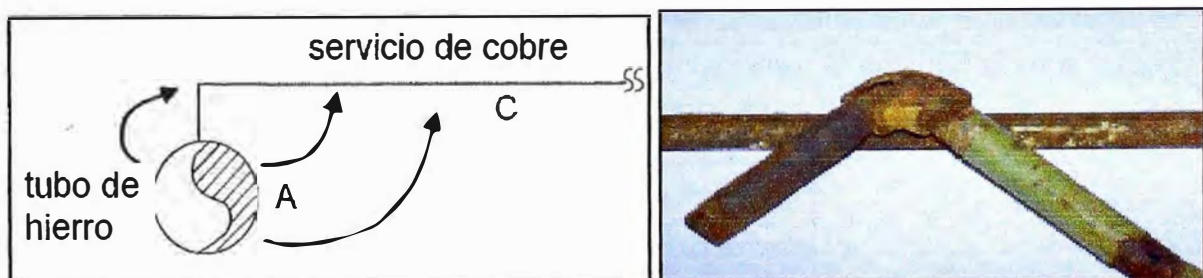


Fig. 3.2 Corrosión galvánica

b.2) Corrosión por rendija, grieta o (crevice corrosion)

Se presenta en grietas y rendijas que presentan superficies expuestas a medios corrosivos.

La superficie dentro de la grieta está privada de oxígeno, pero las superficies adyacentes tienen acceso al oxígeno disuelto. (Ejm. Tanques de almacenamiento)

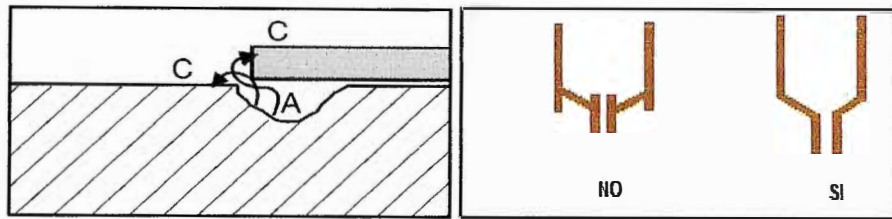


Fig. 3.3 Corrosión por rendija

b.3) Corrosión por picadura

Aquí se producen hoyos o agujeros por agentes químicos. (Ejm. Acero inoxidable en presencia de iones cloruro)

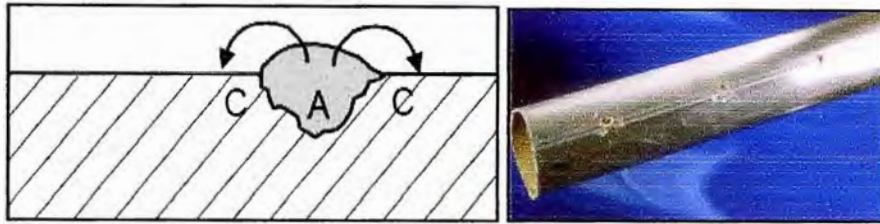


Fig. 3.4 Corrosión por picadura

b.4) Corrosión por esfuerzo

Es una falla corrosiva en la que se forman las grietas de un componente bajo la acción combinada de esfuerzos mecánicos y un medio ambiente agresivo. (Ejm. Aceros de bajo carbono expuestas a un medio corrosivo de NaOH a alta temperatura)



Fig. 3.5 Corrosión por esfuerzo

b.5) Lixiviación selectiva o disolución selectiva.

Uno de los elementos de la aleación es más activo que otro, lo que resulta en la corrosión selectiva del elemento más activo. (Ejm. Corrosión grafitica del hierro fundido gris)

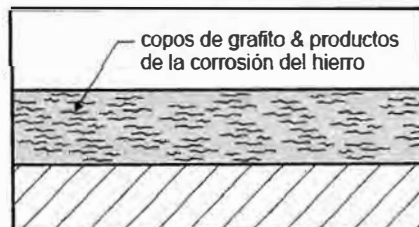


Fig. 3.6 Lixiviación selectiva

b.6) Corrosión – erosión

Incremento del deterioro de un metal metálico debido al movimiento relativo entre su superficie y un fluido corrosivo. (Ejm. Tuberías que transportan lodos o sedimentos)

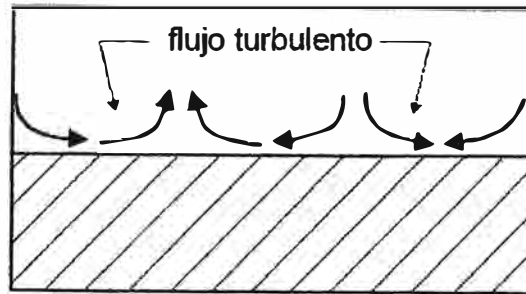


Fig. 3.7 Corrosión – erosión

3.3 Métodos de control de corrosión

Las medidas preventivas tomadas para controlar la corrosión consisten fundamentalmente en:

3.3.1 Protección Catódica

La Protección Catódica, es un método de protección netamente electroquímico, que consiste en transformar toda la superficie del metal a proteger en cátodo.

Son sin duda el método más eficaz para controlar la corrosión en estructuras enterradas o inmersas en un electrolito.

a) Funcionamiento de la Protección Catódica

Cuando dos metales diferentes M1 y M2 se conectan y sumergen en un electrolito se desarrolla un flujo de corriente a través del electrolito promovido por una diferencia de potencial eléctrico (FEM). Para el caso de la Protección Catódica por Ánodos de Sacrificio (Ver Fig. 3.8), los cationes migran hacia el cátodo y al mismo tiempo los electrones se mueven desde el ánodo hacia el cátodo a través del conductor metálico. La velocidad o rapidez de la corrosión depende de la cantidad de corriente que fluye, la diferencia de voltaje y las resistencias óhmicas del circuito.

De esta forma la superficie del metal donde migran los cationes se queda protegida (no se corroe) por el flujo de electrones que viene del ánodo que a su vez se corroe.

Para el caso de la Protección Catódica por Corriente Impresa, el suministro constante de electrones, puede hacerse también desde una fuente de corriente eléctrica continua, la cual tiene su polo negativo conectado a la estructura que se pretende proteger y el polo positivo conectado a un cuerpo metálico sumergido o enterrado en el mismo medio.

Con esta disposición, la corriente eléctrica continua de iones metálicos (+) pasará, desde el conductor (ánodo) a la estructura, a través del electrolito estableciéndose así la misma pila de protección que en el caso anterior.

En la Fig. 3.8, como ejemplo ahora el zinc está siendo protegido mientras que el hierro se está oxidando debido a la acción de la fuente DC externa.

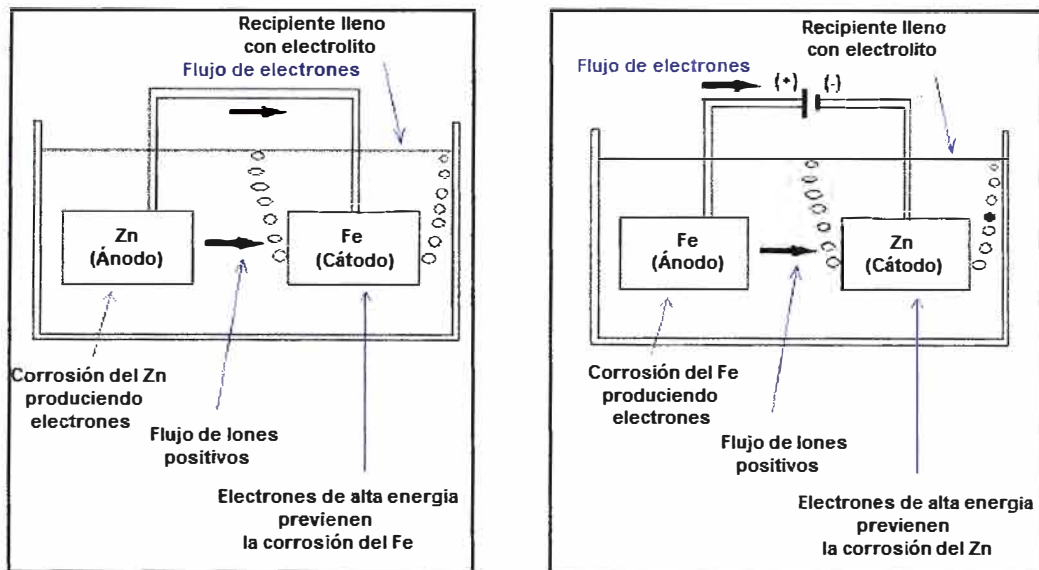


Fig. 3.8 Esquema de protección con ánodo de sacrificio y con fuente externa

Reacción anódica o de oxidación: $\text{Fe} = \text{Fe}^{+2} + 2\text{e}^-$

Reacción catódica o de reducción: $\text{Zn}^{+2} + 2\text{e}^- = \text{Zn}$

b) **Tipos de Protección Catódica.** Existen dos Sistemas de Protección Catódica, los cuales se pueden emplear en forma individual o combinada:

b.1) **Ánodos de Sacrificio o Galvánicos**

Este tipo de protección catódica aprovecha las características electroquímicas de los materiales metálicos, que provocan un par galvánico al ponerse en contacto dos metales con diferente electronegatividad, corroyéndose el más electronegativo o anódico.

En la Protección Catódica con **Ánodo de Sacrificio**, se utilizan metales fuertemente anódicos conectados a la tubería a proteger, dando origen al sacrificio de dichos metales por corrosión, descargando suficiente corriente, para la protección de la tubería.

La diferencia de potencial existente entre el metal anódico y la tubería a proteger, es de bajo valor porque este sistema se usa para pequeños requerimientos de corriente, pequeñas estructuras y en medio de baja resistividad.

➤ **Características de un ánodo de sacrificio**

- Debe tener un potencial de disolución lo suficientemente negativo, para polarizar la estructura de acero (metal que normalmente se protege) a -0.85 V. Sin embargo el potencial no debe de ser excesivamente negativo, ya que eso motivaría un gasto superior, con un innecesario paso de corriente. El potencial práctico de disolución puede estar comprendido entre -0.95 a -1.7 V.
- Corriente suficientemente elevada, por unidad de peso de material consumido.
- Bajo costo.

➤ Tipos de ánodos

Considerando que el flujo de corriente se origina en la diferencia de potencial existente entre el metal a proteger y el ánodo, éste último deberá ocupar una posición más elevada en la tabla de potenciales (serie electroquímica o serie galvánica). Los ánodos galvánicos que con mayor frecuencia se utilizan en la protección catódica son: Magnesio, Zinc, y Aluminio.

- **Magnesio:** Los ánodos de magnesio tienen un alto potencial con respecto al hierro. Están diseñados para obtener el máximo rendimiento posible, en su función de protección catódica. Los ánodos de magnesio son apropiados para gasoductos, oleoductos, pozos, tanques de almacenamiento de agua, incluso para cualquier estructura que requiera protección catódica temporal. Se utilizan en estructuras metálicas enterradas en suelo de baja resistividad hasta 3000 ohm-cm.
- **Zinc:** Para estructura metálica inmersas en agua de mar o en suelo con resistividad eléctrica de hasta 1000 ohm-cm.
- **Aluminio:** Para estructuras inmersas en agua de mar.

➤ Relleno (backfill)

Para mejorar las condiciones de operación de los ánodos en sistemas enterrados, se utilizan algunos rellenos que son mezclas terrosas conductoras especialmente con ánodos de Zinc y Magnesio, estos productos químicos rodean completamente el ánodo produciendo algunos beneficios como: Promover mayor eficiencia, desgaste homogéneo del ánodo, evita efectos negativos de los elementos del suelo sobre el ánodo y absorben humedad del suelo manteniendo dicha humedad permanente.

TABLA N° 3.1 Característica de los ánodos galvánicos

	ÁNODO DE ZINC	ÁNODO DE MAGNESIO	ÁNODO DE ALUMINIO
Eficiencia	95%	50%	95%
Rendimiento	778 A-Hr/Kg.	1102 A-Hr/Kg.	2817 A-Hr/Kg.
Contenido de energía	820 A-Hr/Kg.	2204 A-Hr/Kg.	2965 A-Hr/Kg.
Potencial de trabajo	-1.10 V	-1.45 V a -1.70V	-1.10 V
Relleno	50% Yeso 50% Bentonita	75% Yeso 20% Bentonita 5% SO ₄ Na ₂	-

La composición típica del relleno (backfill) para ánodos galvánicos está constituida por yeso (CaSO_4), bentonita, sulfato de sodio, y la resistividad de la mezcla varía entre 50 a 250 ohm-cm.

b.2) Corriente impresa

Este método consiste en unir eléctricamente la estructura que se trata de proteger con el polo negativo de una fuente de alimentación de corriente continua y el positivo con una cama anódica o ánodos de sacrificio que cierra el circuito. La diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo es forzada por una cama anódica no-reactiva mediante la acción de la energía adicional del rectificador al forzar el flujo de electrones.

El efecto de estos electrones en la estructura que está siendo protegida es el mismo que deriva el Sistema de Protección Catódica por Ánodos de Sacrificio.

Los componentes básicos de un Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa son:

➤ **Cama anódica**

El tipo de cama anódica instalado en un Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa puede ser:

- Camas superficiales horizontales o verticales. (Ánodos enterrados a menos de 5m de la superficie)
- Camas superficiales horizontales de lecho continuo.
- Camas semi profundas, horizontales o verticales de lecho continuo. (Ánodos enterrados entre 5m y 12m de la superficie)
- Camas profundas. (Ánodos enterrados a más de 12m de la superficie)

➤ **Tipos de ánodos**

En la práctica, materiales como chatarra de hierro, ferro silicio, grafito, titanio platinado, titanio Mezcla de Oxido de Metal (MMO), etc., son usados para ánodos de protección catódica del tipo ánodos de sacrificio porque se consumen lentamente.

➤ **Fuente DC**

Este tipo de sistema requiere una fuente de corriente continua que se mantenga operativa y pueda funcionar de forma permanente al menos durante diez años o más. Las fuentes DC pueden ser: Rectificadores, termogeneradores, turbogeneradores, paneles solares, etc.

➤ **Relleno (Backfill)**

Para tener un electrolito uniforme y bajar la resistencia ánodo tierra, se usa un relleno (backfill) especial. Este relleno en contacto con la tierra es usualmente coque de petróleo calcinado tipo ASBURY 251.

3.3.2 Inhibidores

Es una sustancia que cuando se añade a un ambiente, disminuye la velocidad del ataque por ese ambiente. Los inhibidores de corrosión son comúnmente añadidos en pequeñas cantidades a ácidos, aguas de enfriamiento, vapor y otros ambientes. También son usados frecuentemente en la producción de crudos y gases. Dentro de los tipos de inhibidores se tiene:

- Inhibidores anódicos,
- Inhibidores catódicos,
- Inhibidores óhmicos,
- Inhibidores de precipitación inducida,
- Inhibidores de fase vapor.

3.3.3 Recubrimientos

El revestimiento de tres capas utilizado, según norma DIN 30670, para proteger la tubería de acero al carbono de distribución de gas natural, presenta las siguientes características: Fusión Bonded Epoxy (FBE), adhesivo copolímero y polietileno de alta densidad (HDPE).

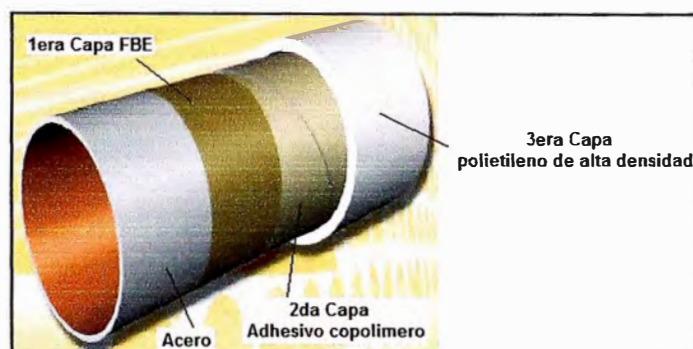


Fig. 3.9 Recubrimiento tricapa

La fuerza de tensión dieléctrica de polietileno de alta densidad (HDPE) según la norma ASTM D149 es de 450 - 500V/mil. ($1\text{V/mil} = 39.37\text{KV/m}$ o $1\text{KV/m} = 0.0254\text{V/mil}$)

Las mantas termocontraíbles utilizados en la soldadura circunferencial tienen un grosor de 2,5 mm aproximadamente, con una rigidez dieléctrica de 675V/mil, según la norma ASTM D149.

Ambos tipos de recubrimientos están clasificadas como recubrimientos con alto dieléctrico y tienen excelentes propiedades contra la corrosión.

Las tuberías desnudas fueron revestidas inicialmente con cinta polyken (algunos ramales tienen recubrimiento cinta Polyken (Tyco #930, #934) o pintura Polyken (Tyco #1019); la resistencia dieléctrica es 600-650V/mil). Actualmente se revisten con cinta poliguard.

Los accesorios son recubiertos con pintura epoxica R-95.

3.3.4 Diseño

Las consideraciones de diseño incluyen muchos factores, entre los cuales se encuentran.

- **Selección de materiales**

Los factores a considerar en la selección del material son: Resistencia a la corrosión en su ambiente, disponibilidad de diseño y datos de prueba, propiedades mecánicas, costos, disponibilidad, mantenibilidad, compatibilidad con otros componentes del sistema, expectativa de vida del equipo, confiabilidad y apariencia.

- **Parámetros de proceso**

En el diseño de facilidades y equipos, es importante considerar varios factores que constituyen las condiciones de servicio entre los cuales están: Temperatura, velocidad, presión y química.

- **Parámetros de construcción**

Las ubicaciones de estructuras específicas y procesos deben ser considerados con cierta facilidad. La salpicadura de soldadura debe ser evitada y removidas con pulidora antes de la aplicación de la preparación de superficie y revestimiento. En lo posible todas las soldaduras deben ser continuas.

- **Metales diferentes**

Dentro de un sistema, se debe asegurar que ningún metal es instalado si este tiene efectos adversos con otros metales como corrosión por par galvánico. Cuando se usan metales diferentes estos deberían estar eléctricamente aislados para evitar el par galvánico.

- **Grietas**

Donde sea posible, las grietas deben ser minimizadas. Una de las mejores maneras de evitar las grietas es unir partes con soldadura en vez de unirlos con tornillos o clavos de acero.

- **Tolerancia a la corrosión/Tiempo de vida de operación**

Es aplicado no solo para combinaciones de ambientes metálicos en el cual se presenta corrosión uniforme, sino que también se usa cuando hay velocidades de corrosión lineales o velocidades que decrecen con el tiempo.

- **Requerimientos de inspección y mantenimiento**

Para facilitar el mantenimiento e inspección a los componentes se debe tener accesos adecuados. NACE Standard RP 0178.

3.3.5 Protección anódica

Método de reducir o eliminar la corrosión de un metal, haciendo que, la superficie de este,

funcione como un ánodo manteniendo una película de corrosión pasivadora.

3.3.6 Modificación del medio ambiente

Un ambiente atmosférico puede ser modificado para disminuir la corrosión. Un buen ejemplo es el uso del equipo de deshumidificación para secar el aire en tanques que están siendo atacados abrasivamente. Reduciendo la humedad relativa a menos del 40% para que la corrosión disminuya.



Fig. 3.10 Equipo de deshumidificación

CAPITULO IV

METODO DE PROTECCIÓN APLICADO A LA RED DE GAS NATURAL

La Protección Catódica es un método de control de la corrosión que viene siendo usada cada día con mayor éxito en el mundo entero, no solamente en la protección de los ductos de distribución de gas natural sino también en ductos para el transporte del petróleo, agua, cables eléctricos y cables telefónicos enterrados.

Para el presente informe veremos lo concerniente a uno de los dos métodos de protección catódica existentes, el cual lleva el nombre de Protección Catódica por Corriente Impresa.

4.1 Diseño del Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa

La metodología para el diseño de un Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa, requiere de los siguientes pasos:

4.1.1 Información útil para el diseño

En esta etapa del diseño se debe de considerar la siguiente información:

a) Datos del sistema

- Mapas de sitio y dibujos CAD de la ubicación de las tuberías de acero instaladas.
- Características de las tuberías, accesorios, etc.
- Características de los recubrimientos.
- Estaciones de prueba, que serán útiles para la medición y control de los potenciales.

Las estaciones deben contar con un solo cable NYY conectado exotérmicamente a la tubería.

Cada estación de prueba tiene por lo menos 3 terminales, estos terminales se utilizan para conectar:

1 terminal para el cable de potencial de prueba de gasoducto de gas natural, doble aislamiento 4mm².

1 terminal para inyección de corriente del ánodo, doble aislamiento 4mm².

1 terminal para la conexión del ánodo de magnesio, protección catódica temporal

(de ser necesario).

○ Accesorios de aislamiento eléctrico, Para el normal y efectivo funcionamiento del Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa se debe contar con elementos/accesorios aislantes que eviten que la corriente de protección alcance estructuras anexas al sistema de distribución (sistemas de puesta a tierra, conduits, refuerzos de concreto en las cajas de válvulas, instrumentación, etc.), y por tanto, se desvíe de las estructuras objetivo (tuberías metálicas de acero del sistema de distribución), en tal sentido se muestran algunos puntos que deben contar con aislamiento eléctrico efectivo:

Una junta aislante debe ser instalada al inicio del enterramiento de la tubería (salida de la trampa de lanzamiento).

Juntas aislantes deben ser instaladas a los ingresos y salidas de estaciones reguladoras de presión que se encuentran a lo largo de la línea principal de distribución de gas natural.

Finalmente una junta aislante debe ser instalada al final de la línea principal de distribución gas natural. (Ingreso a la trampa de recepción)

Otras consideraciones a tener en cuenta:

En el caso de los ramales todas las entregas a terceros deben estar aisladas para evitar fugas de corriente a estructuras foráneas.

Por otro lado, las válvulas deben contar con los elementos necesarios de aislamiento para evitar que la instrumentación y su sistema de puesta a tierra drenen corriente de protección catódica.

En el caso de las válvulas con caja de concreto se debe tener adicional cuidado en detectar y evitar los contactos con el hierro estructural. Véase Fig. 4.1

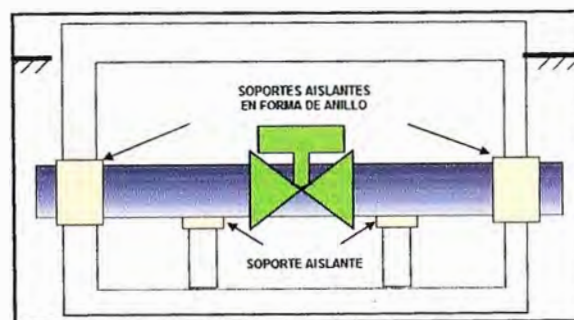


Fig. 4.1 Aislamiento en Válvulas de Línea

○ Uniones eléctricas para proteger a los ramales, el objeto de las conexiones removibles es unir eléctricamente los ramales con la tubería troncal y de esta forma integrarlas al sistema de protección catódica.

b) Condiciones del lugar

- Posibles fuentes de interferencia DC y AC que afectan las tuberías de distribución deben ser tratadas en un futuro estudio específico como: Inspección previa de potenciales ON-OFF y Modelación de interferencias AC y Mitigación.

- Estudio complementarios de campo:

Requerimiento de corriente de protección y experiencia operativa.

Resistividad eléctrica del suelo.

Clasificación del suelo por severidad de corrosión, Este análisis físico y químico determinará que tan corrosivo es el suelo, y presentará información útil al diseño.

Estudio Geo-eléctrico para el caso de instalación de cama anódica profunda.

Perfil de Potenciales On/Off en todo el trazo de la red de distribución.

Perfil de agresividad microbiológica del terreno mediante el análisis de Bacterias Sulfato Reductoras y Heterotróficas de muestras de terreno recolectadas a la profundidad de la tubería.

Prueba de corriente que tiene por finalidad determinar la cantidad de corriente requerida para llevar las tuberías al potencial de protección y ver el comportamiento del potencial natural.

4.1.2 Software para el diseño del Sistema de Protección Catódica

El software más usado para el diseño del Sistema de Protección Catódica es “Central de Información de Corrosión, Versión 4.0”.



Fig. 4.2 Ventana principal, software de diseño CIC

El procedimiento usado en el software para el diseño de Sistemas de Protección Catódica es el procedimiento establecido en el Manual de Protección Catódica del Nivel 2 de NACE, el cual se describe a continuación:

a) Área

$$\text{ÁREA} = \Pi \times D \times L \quad (4.1)$$

Donde:

AREA = Área externa de la tubería.

$\Pi = 3.1416$.

D = Diámetro externo de la tubería.

L = Longitud del área a ser protegida.

b) Densidad de corriente de diseño

$$\text{DCD} = \rho * \text{BA}\% * / (100) \quad (4.2)$$

Donde:

DCD = Densidad de Corriente de Diseño. (mA/m²)

ρ = Densidad de corriente basada en el área desnuda.

BA% = Porcentaje de Área desnuda. (%)

Basados en la experiencia de campo se espera que la eficiencia del recubrimiento disminuya con el tiempo. Así, la DCD del recubrimiento anticipada por X años de servicio es:

$$\text{Final DCD} = \text{Inicial DCD} * (1 + \% \text{ Deterioro})^x \quad (4.3)$$

c) Flujo de corriente

$$I = A * \text{DCD} \quad (4.4)$$

Donde:

I = Requerimiento de Corriente. (mA)

A = Área exterior de la tubería. (m²)

DCD = Densidad de Corriente de Diseño. (mA/m²)

d) Cantidad de ánodos

La cantidad de ánodos a ser usada es establecida básicamente por dos aspectos: la resistencia final de la cama anódica deseada según la longitud de la columna activa en una cama profunda y el tiempo de vida del material enterrado que depende del tiempo mínimo de vida del proyecto.

e) Separación de ánodos

La separación de ánodos afecta a la resistencia final de la cama anódica por los efectos de

interferencia entre ánodos adyacentes. Adicionalmente es importante tener en cuenta la disponibilidad de espacio para el distanciamiento entre ánodos.

f) Criterio de potencial catódico

Los criterios utilizados para la protección están establecidos por NACE RP 0169.

g) Radio de influencia de la protección

Una prueba de corriente respaldará el diseño definiendo la distribución de corriente y la cobertura.

h) Resistividad

Un estudio de suelos será considerado para la zona donde se proyecta instalar la cama anódica. Para el caso de la cama anódica instalada en Lurín y la estación Terminal, se diseñó una cama anódica del tipo horizontal, el método utilizado en ambos fue el método de Wenner y análisis de Barnes. En el ANEXO A, se muestran resultados del estudio de resistividad y análisis de Barnes realizado en la estación de Lurín. La resistividad obtenida para ser empleada en el diseño fue de 25,133 ohm-cm. (capa de 0-2m)

Por otro lado la cama anódica instalada en la ERP El Agustino es una cama anódica profunda, el método utilizado fue Wenner y un estudio Geo – eléctrico cuya finalidad fue determinar las resistividades de los horizontes Geo-eléctricos diferenciados en la curva del sondeo eléctrico hasta los 100 m de profundidad. Podemos mencionar que este estudio es un método geofísico por medio del cual se investigan las características de resistividad del material del subsuelo; de la interpretación de los datos de campo se deducen parámetros que permiten diferenciar la litología, el espesor, y por consiguiente se infiere la estructura y las características hidrogeológicas del subsuelo en muchos casos. Por su alto poder de resolución se ha empleado ampliamente en la exploración de las aguas subterráneas, y últimamente en la investigación minera y en geotécnica. En el ANEXO B, se muestran el estudio y resultados realizados en la ERP El Agustino. La resistividad obtenida para ser empleada en el diseño fue de 4,050 ohm-cm. (factor de seguridad empleado 50%)

i) Voltaje

El Sistema de Corriente Impresa ofrece un más amplio rango de voltaje porque depende solamente de la capacidad de salida de la fuente DC. La selección del tamaño de la fuente está basada en la resistencia completa del circuito.

j) Resistencia del circuito

Para propósitos prácticos, la resistencia total del circuito está compuesta de la resistencia a tierra de la tubería más la resistencia de la cama anódica más la resistencia del cable.

➤ **Resistencia a tierra de la tubería**

La resistencia a tierra de la tubería depende de la calidad del recubrimiento de la tubería y la resistividad del suelo que la rodea.

➤ **Resistencia de la cama anódica**

La resistencia total de la cama anódica está compuesta por la resistencia interna del ánodo al backfill y la resistencia del backfill a la tierra.

$$R_{BED} = R_I / N + R_v \quad (4.5)$$

Donde:

R_{BED} = Resistencia de la cama anódica en Ohm

R_I = Resistencia interna de un ánodo al backfill.

N = Número de ánodos

R_v = Resistencia de una columna.

Resistencia interna de ánodos verticales al backfill

La resistencia total de cada ánodo al backfill consisten en la resistencia del ánodo al backfill menos la resistencia de la columna misma del backfill; estas resistencias son obtenidas mediante fórmulas convencionales.

La resistencia interna de cualquier número de ánodos en paralelo es la resistencia interna de un ánodo dividido por el número de ánodos en paralelo. El efecto de esta resistencia interna disminuye al aumentar el número de ánodos.

Resistencia de la columna

Usa los mismos parámetros y fórmulas que para un solo ánodo, pero en el cálculo la columna entera actúa como un ánodo individual. Hay varias fórmulas disponibles para calcular esta resistencia según el caso particular.

➤ **Resistencia del cable**

La siguiente Tabla 4.1, presenta tamaños de cables recomendables en función a los amperios que fluyen en el conductor. Esta tabla está basada en un (01) amperio de carga por cada 2,000 mm circulares. (Área transversal del conductor)

TABLA N° 4.1 Resistencia del cable

Calibre del Conductor AWG	Máximo recomendado (Amp.)	Ohm / 1,000 m. de Cable, 25° C.
8	8	2.1391
6	13	1.3484
4	20	0.8465

2	30	0.5315
1	40	0.4232
1/0	55	0.3346
2/0	65	0.2657
3/0	85	0.2064
4/0	105	0.1673

Se deben tomar en cuenta consideraciones mecánicas y resistencia en el medio según términos del aislamiento (HMWPE: High Molecular Weight Polyethylene) para determinar adecuadamente la dimensión del cable y el tipo de aislante. Es una práctica común que el cable sea 8 o de mayor tamaño AWG.

k) Tiempo de vida de la cama anódica

Los ánodos y el backfill se consumen porque la corriente sale de los materiales. Los rangos de consumo se incluirán en el diseño del tiempo de vida del sistema de protección catódica. El tiempo de vida de los ánodos se determina usando los datos del fabricante (Fig. 4.3) y el tiempo de vida del relleno (Backfill) es:

$$B_LIFE = PA / (2*I) \quad (4.6)$$

Donde:

B_LIFE = Tiempo de vida del backfill (años)

PA = Peso del Backfill (lbs.)

I = Total de Corriente promedio drenada por el Sistema de Protección Catódica (A)

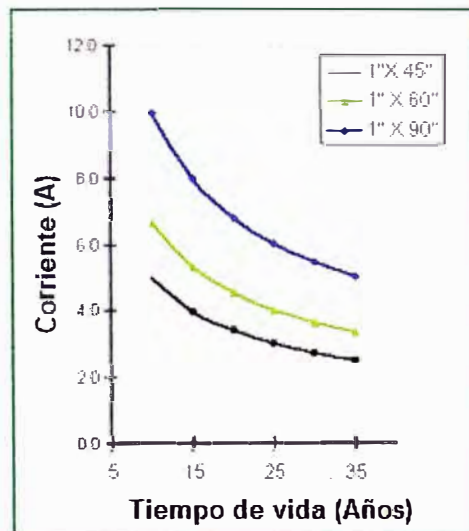


Fig. 4.3 Vida útil según corriente drenada

4.1.3 Salida de datos del software

Finalmente el software nos da como resultado lo siguiente: Requerimiento de corriente, longitud de los cables, tiempo de vida estimado de los ánodos, área total a ser protegida,

análisis completo de resistencia, dimensión de perforación para los ánodos, cantidad de backfill por ánodo, total de backfill utilizado por cada sistema y tiempo de vida estimado añadido y tamaño del transformador / rectificador.

4.1.4 Caso práctico

Como caso práctico mostraremos los parámetros de diseño y cálculos realizados para el diseño del Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa ubicado en Lurín.

TABLA N° 4.2 Cobertura

ÍTEM	UBICACIÓN	LONGITUD (m)	DIÁMETRO (")
1	Línea principal de gas de Lurín a XV 10007.	39,600	20"
2	Estación Lurín a Cerámica San Lorenzo.	125	3.5"

TABLA N° 4.3 Parámetros de diseño

PARÁMETROS DE DISEÑO
Diámetro exterior de la tubería 1: 20"
Diámetro exterior de la tubería 2: 3.5"
Longitud de tubería 1: 39,600 m.
Longitud de tubería 2: 125 m.
Revestimiento de la tubería: Tri-Capa Polietileno
Factor de seguridad: 50%
Resistividad: 30,000 ohm-cm
Dimensiones del ánodo: 1" x 60"
Tipo de ánodo: Titanio
Long. Cable Rect. 1er ánodo: 200 m.
Long. Cable negativo: 50 m.
Cable tipo HMWPE Calibre N°: 2
Vida útil de los ánodos: 100 años
Densidad de Corriente de Diseño: 0.0237 mA/m ²
Espacio anódico: 6 m.
Densidad del Backfill: 960 Kg./m ³
Tipo de cama: Horizontal
Conductancia recubrimiento: 1 μMho/ft ²

TABLA N° 4.4 Resultados de cálculo

RESULTADOS DE CÁLCULO
Área total tubería 1: 63,198.94 m ²
Área total tubería 2: 34.91103 m ²
Área Total: 63,233.85 m ²
Corriente mínima requerida: 1.498642 A

Corriente total requerida: 2.247963 A
Peso ánodo seleccionado: 1.604294 Lbs.
Long. Cable Rect. 1er ánodo: 200 m.
Long. Cable entre ánodos: 18 m.
Long. Cable negativo: 50m.
Long. Total del cable: 268 m.
Cantidad de ánodos requeridos: 4 Unid.
Diámetro del Backfill: 0.75 m.
Longitud de Backfill: 3.2 m.
Peso Backfill por ánodo: 1,738.134 Kg/Unid.
Peso total de Backfill: 6,952.537 Kg.
Vida útil ánodos – recalculada: 127.1879 años

TABLA N° 4.5 Análisis de resistencias

ANÁLISIS DE RESISTENCIAS
Resist. de la tubería: 1.46915 Ohm
Resist. Cable Rect. 1er ánodo: 0.1063 Ohm
Resist. Cable entre ánodos: 0.009567 Ohm
Resist. Cable negativo: 0.026575 Ohm
Resist. Interna de los ánodos: 0.0475 Ohm
Resist. Cama anódica: 11.306212982714 Ohm
Resist. Total del circuito: 12.9653 Ohm

TABLA N° 4.6 Datos Rectificador

TENSIÓN Y CORRIENTE DE DISEÑO – RECTIFICADOR
Voltaje alimentación en DC: 29V
Amperaje alimentación en DC, 60 Hz: 2.25A
Elemento rectificador: Diodos Selenio/Silicio

Finalmente con los datos mostrados en la Tabla N° 4.9 se escogió un rectificador estándar de 50 V y 10 A, para operar con las condiciones de diseño especificadas en las tablas anteriores.

4.2 Interferencias DC y AC

Todo Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa o por Ánodo de Sacrificio debe ser diseñado e instalado de manera de reducir al mínimo cualquier efecto adverso sobre estructuras metálicas enterradas no interconectadas al sistema. En el caso de la Protección por Corriente Impresa se mantendrá una distancia mínima del arrestor a estructura extraña para evitar interferencias en la misma.

4.2.1 Interferencias DC

Este tipo de interferencias se podrían presentar por la presencia de corrientes telúricas vagabundas, trenes operados con corriente directa, otros sistemas de protección catódica, equipo de soldadura, operaciones de explotación minera, etc. Estas corrientes a su vez originarían un incremento en la cantidad de corriente que es entregada al Sistema de Protección Catódica, que la diseñada bajo condiciones normales.

4.2.2 Interferencias AC

Cuando una tubería está localizada cercana a una línea de transmisión eléctrica, esta se encuentra sujeta a varios efectos eléctricos dependiendo del estado operacional de la línea. Cuando un cable transporta una carga de corriente eléctrica se produce un campo magnético alrededor del cable, el cual induce en la tubería enterrada una tensión y una corriente alterna cuando dicha tubería está ubicada paralela u oblicua a la línea de transmisión de alta tensión.

En algunas ocasiones, debido a una descarga eléctrica (relámpago) u otra causa, la línea de transmisión eléctrica experimenta un corto circuito conocido como una situación de falla. Durante un periodo de falla que puede durar una fracción de segundo o decenas de milisegundos, el sistema de transmisión eléctrica llega a estar severamente desbalanceado. Un cable puede transportar mucha más corriente que los otros, lo cual puede ser de 20 – 30 o más veces la carga de operación normal. Debido a este desbalance, el acoplamiento del campo electromagnético podría aumentarse en forma proporcional con un correspondiente aumento en el nivel de voltaje inducido.

Existen tres (3) métodos básicos por los cuales las corrientes y voltajes AC pueden ser inducidos sobre las estructuras metálicas y tuberías de acero cercanas a sistemas de transmisión AC, estos métodos son los siguientes:

- a) **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.
- b) **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 eléctrica aérea es el primario. Este tipo de inducción podrá ocurrir cuando la estructura es tanto aérea como bajo tierra.
- c) **Acople resistivo o conductivo**, donde la potencia AC es transmitida a la tierra y luego fluye sobre y fuera de la estructura enterrada.

La siguiente tabla muestra cómo afecta la corriente inducida en los seres humanos.

TABLA N° 4.7 Valores de corriente alterna a 60 Hz (NACE RP 0177)

CORRIENTE	EFEKTOS
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
100 – 200 mA (inegable)	Choque desfibrilador debe ser aplicado para restaurar el latido del corazón, la respiración posiblemente está parada.
200 mA – ó 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.

Finalmente, se puede afirmar que, donde exista una tubería recubierta, eléctricamente continúa y paralela a un sistema de transmisión AC por largos espacios (usualmente medido en kilómetros), podrá existir una inducción de voltaje en la tubería.

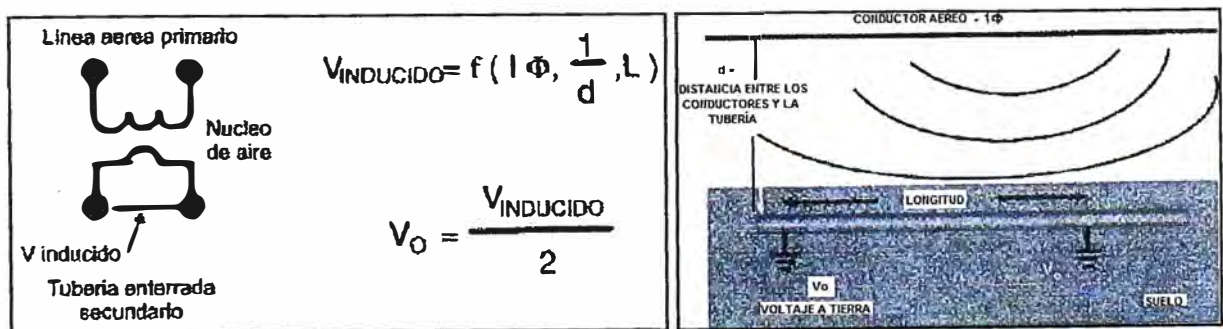


Fig. 4.4 Analogía y voltaje AC inducidos electromagnéticamente (NACE CPL2)

4.3 Componentes del Sistema de Protección Catódica

Los componentes básicos de un Sistema de Protección Catódica dependiendo del sistema utilizado se mencionan a continuación:

4.3.1 Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa

Los componentes principales utilizados para la Protección Catódica por Corriente Impresa

de las tuberías de acero de distribución de gas natural son:

- a) **Estructura a proteger.** El material a proteger son tuberías de acero al carbono, API 5L grado X56, grado X42 y Grado B, con revestimiento externo tricapa de polietileno, cinta poliken o cinta poliguard, enterrados en el sistema de distribución.
- b) **Fuente DC.** La fuente DC utilizada es un rectificador estándar, cuyas características son: Enfriamiento por aire, voltímetro y amperímetro análogo, puente rectificador con diodos de silicio, protección de descargas en AC y DC, fusibles de acción rápida en AC y DC, ajuste para el voltaje de salida, alimentación dual 110/220V, etc.
- c) **Cama anódica.** De 02 tipos, para las que se encuentran ubicadas en Lurín y en la estación Terminal se diseñaron camas anódicas del tipo horizontal y para la que se encuentra ubicada en la ERP El Agustino se diseño una cama anódica profunda del tipo vertical. (ANEXO C)
 - El Relleno (Backfill). Que es un coque calcinado de petróleo tipo ASBURY 251.
 - Ánodo. El tipo de ánodo que se tiene instalado en este sistema son ánodos de titanio Mezcla de Oxido de Metal (MMO) de 1''x60''
- d) Caja de unión.
- e) Unidad de monitoreo.

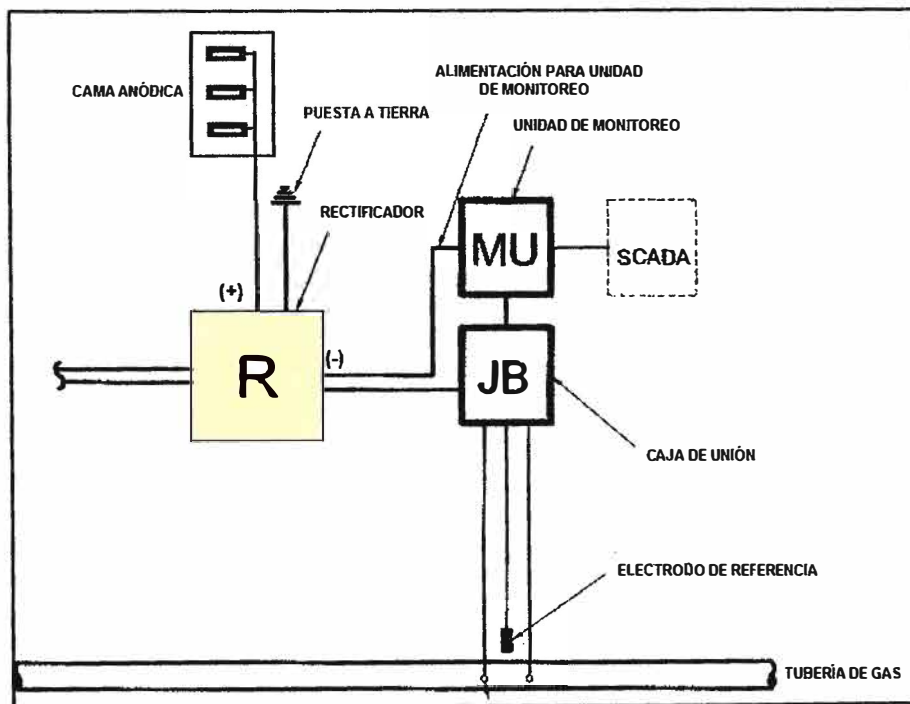


Fig. 4.5 Esquema – Protección Catódica por Corriente Impresa

4.3.2 Sistema de Protección Catódica por Ánodos de Sacrificio

Los componentes principales utilizados para la Protección Catódica por Ánodos de Sacrificio de las tuberías de acero de distribución de gas natural son:

- a) **Estructura a proteger.** El material a proteger son tuberías de acero al carbono API 5L grado X70, grado X56 y grado X42, con revestimiento externo tricapa de polietileno, enterrados en un tramo de entrega de gas a las estaciones de Edegel – Santa Rosa, Etevensa (Ventanilla), Cementos Lima y en un tramo de ducto de 24'' que va desde la zona de procesos hasta la trampa de lanzamiento.
- b) **Ánodo.** El tipo de ánodo que se tiene instalado en este sistema son ánodos de magnesio de alto potencial.
- c) **Backfill.**

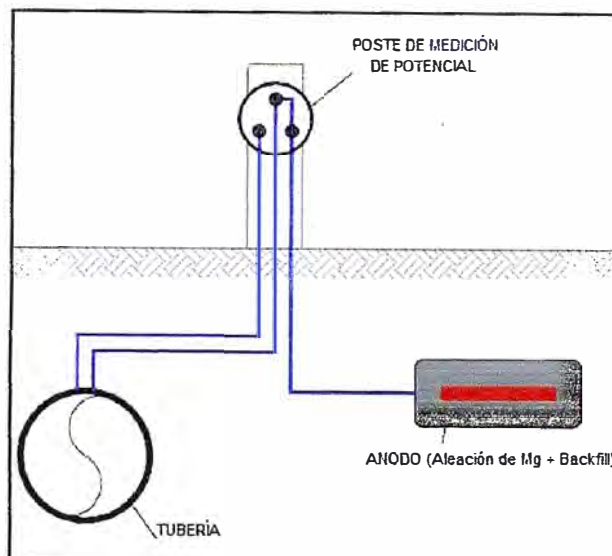


Fig. 4.6 Esquema – Protección Catódica por Ánodos de Sacrificio

Los cables utilizados para las instalaciones eléctricas de los equipos y componentes que forman parte del Sistema de Protección Catódica, deben basarse según el código nacional eléctrico y Normas Internacionales equivalentes (National Fire Protection Association – 70 (NFPA-70)). en la siguiente tabla se muestran alguno de ellos.

TABLA N° 4.8 Cables utilizados en Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa

Descripción	Aislamiento	AWG	Color	Enterrado
Cable negativo a la caja de unión	HMWPE	2	Negro	Si
Cable positivo del rectificador a los ánodos	HMWPE	2	Negro	Si
Cable positivo a la caja de unión	HMWPE	10	Negro	Si
Cable de medición de potencial tubería	HMWPE	10	Negro	Si
Cable negativo de tubería	HMWPE	2	Negro	Si
Cable negativo de ramal	HMWPE	10	Negro	Si
Cable del electrodo de referencia Ag/AgCl	RHW	14	Azul	Si
Alimentación a la unidad de monitoreo	PVC	3x12Ø1''	-	Si
Cable desnudo de cobre (para puesta a tierra)	-	2	-	Si

4.4 Aterramiento y protección de descargas

Las tuberías de acero de distribución de gas natural que se encuentran paralelas a líneas de transmisión de media y alta tensión ante una posible falla (línea a tierra), tienen instalados equipos de protección, estos equipos son: Los arrestores que se encuentran instalados en las cámaras de válvula y los Solid State Decoupler (SSD) que se encuentran instalados en tramos del gasoducto y ramales cercanos a torres de media y alta tensión.

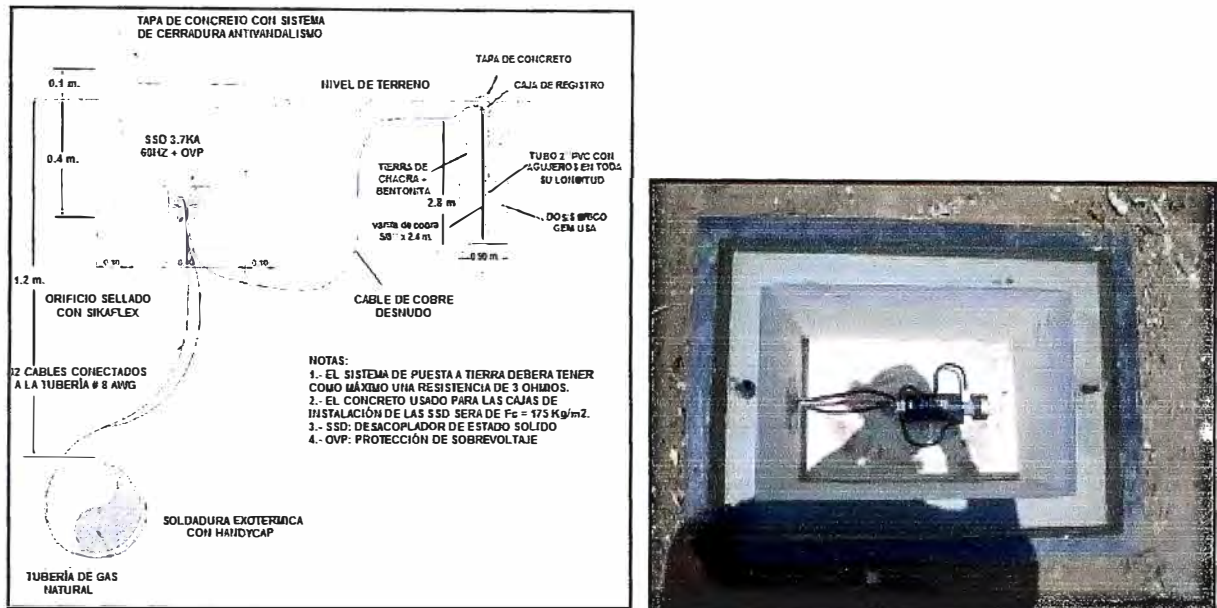


Fig. 4.7 Esquema y foto de instalación equipo SSD

De este modo se estaría protegiendo las tuberías de acero contra posibles descargas eléctricas que pudieran dañar el recubrimiento de las tuberías así como ocasionar daños a las personas.

Otras medidas preventivas tomadas son los estudios de mitigación AC realizados a tramos del gasoducto troncal y ramales que se encuentran paralelos con líneas de transmisión de 60kV y 220kV, la instalación de ánodos continuos de zinc nos ayudará a reducir los problemas de corrosión por corriente AC ($< 15 \text{ A/m}^2$) y de seguridad en la operación del gasoducto a valores aceptables ($< 15 \text{ V AC}$). Criterio NACE RP-0177.

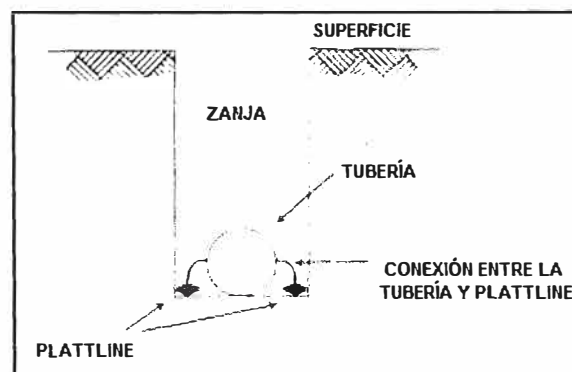


Fig. 4.8 Típico ánodo continuo de Zinc para mitigación AC

Una metodología básica para el estudio y diseño de mitigación AC es:

Generación de procedimientos de campo, inspección visual del paralelismo, levantamiento del perfil de resistividad del suelo, levantamiento de las líneas de transmisión eléctrica que se encuentran paralelas o cruzan el gasoducto, información requerida para la modelación (gasoductos y líneas de transmisión eléctrica), pre-modelación de los datos, determinación de condiciones más críticas, modelación, resultados, análisis de resultados y determinación del sistema de mitigación, en caso de ser necesario. Ver en ANEXO D, Equipos y Software utilizados en estudios de interferencias AC y mitigación.

4.5 Casos registrados en cercanías a la Red de Distribución

Actualmente interferencias DC no se han registrado en el sistema de distribución de gas natural.

Uno de los problemas de interferencias DC que pudieran presentarse más adelante sería con el tren eléctrico cuya ruta se encuentra paralelo a las tuberías de gas enterradas en ciertos tramos del gasoducto, si los rieles no se aíslan adecuadamente estos botarían mucha corriente continua a tierra, viajando estas por la tubería de acero y dañándolas con el tiempo.

Para tal efecto se deben tomar las medidas preventivas necesarias para detectar indicios de interferencia con una fuente generadora de corriente eléctrica vecina. En áreas donde se sospeche la presencia de corrientes eléctricas parasitas se deben efectuar los estudios correspondientes, mencionaremos algunos:

- Medición de potencial tubería/suelo.

Los indicios más comunes de interferencia con una fuente vecina son:

- Cambios de potencial tubería/suelo.
- Defectos en el recubrimiento.
- Daños locales por corrosión en el ducto.

En cuanto a las interferencias AC se han detectado líneas de transmisión eléctrica de 60 y 220 KV, que se encuentran compartiendo el derecho de vía con ciertos tramos del gasoducto troncal y ramales, llegándose a detectar en tramos del gasoducto troncal, voltajes máximos inducidos fuera y sobre la tubería enterrada entre 10.5 y 20 V AC en operación normal y en posibles condiciones de falla (fase a tierra) entre 4,308 y 43,742 V AC. Ante este problema el método de mitigación usado fue la instalación de ánodos continuos de zinc ubicados en las zonas donde se presentaron los máximos voltajes inducidos sobre el paralelismo, dicho método permitió reducir los voltajes inducidos a 12

V AC. Con respecto a los ramales se llegaron a detectar voltajes máximos inducidos menores a 5 V AC. En ambos casos se estaría cumpliendo con la norma NACE RP-0177, Sección 5, que determina como factor de seguridad valores inferiores a 15 V AC.

4.6 Marco Regulatorio

4.6.1 Reglamento Nacional

- Decreto Supremo N° 042-99-EM “Reglamento de Distribución de Gas Natural por Red de Ductos”.

4.6.2 Estándares de Referencia

- ASME B 31.8: Gas Transmission and Distribution Piping Systems.
 - NACE RP 0169 Control of External Corrosion of Underground or Submerged Metallic Piping Systems.
 - NACE RP 0177 Mitigation of Alternating Current and Lightning Effects.
 - NACE RP 0175 Control of Internal Corrosion in Steel Pipelines and Piping Systems.
 - NACE RP 0275 Application of Organic coatings to the external surface of steel pipes for underground service.
 - NACE RP 0200 Steel-Cased Pipelines Practices.
 - NACE TM 0194 Field Monitoring of Bacterial Growth in Oilfield Systems
 - NACE TM 0497 Measurement Techniques Related To Criteria For Cathodic Protection On Underground Or Submerged Metallic Piping Systems.
 - NACE 0572 Design, Installation, Operation and Maintenance of Impressed Current Deep Ground Beds.
 - ANSI/IEEE Standard 80 “IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.”
 - ASTM. G57-9A Measurement of Resistivity in Field Using Method WENNER for Four Pins.
 - NEMA MR 20, Rectifiers Units for Cathodic Protection.
 - NEMA 250 Enclosures for Electrical Equipment (1000 Volts maximum).
 - DIN 30670 Polyethylene Coatings for Steel Pipes and Fittings.
 - API 5L Specification for Line Pipe.
 - API 1104 Welding of Pipelines and Related Facilities.
- ##### **4.6.3 Organismo Fiscalizador**
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. (OSINERGMIN)
 - Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas.

CAPITULO V

CONTROL DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA

El control del Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa contempla las siguientes actividades de mantenimiento.

5.1 Mantenimiento Preventivo

Los mantenimientos preventivos que se realizan al Sistema de Protección Catódica son:

5.1.1 Relevamiento de potenciales

Esta actividad se realiza midiendo anualmente los potenciales DC en las cajas de medición de potencial (CMP), que se encuentren instalados a lo largo de los gasoductos del sistema de distribución gas natural, con el fin de evaluar el estado del Sistema de Protección Catódica. Los métodos de evaluación son:

a) Relevamiento de potenciales ON

Esta actividad se realiza con la corriente de protección aplicada.

b) Relevamiento de potenciales ON – OFF

Esta actividad se realiza con corriente interrumpida (ON-OFF), desconectando en forma coordinada los equipos o bien utilizando interruptores sincronizables.

En la siguiente tabla y figura se muestran datos de control de potencial tubo/suelo tomados en 10 puntos del gasoducto troncal.

TABLA N° 5.1 Relación de Potenciales Tubo/Suelo Gasoducto Troncal

MONITOREO DE POTENCIALES - GASODUCTO TRONCAL				
ITEM	- ΔV (DC) (Voltios)		ΔV (AC) (Voltios)	OBSERVACIONES
	ON (3s)	OFF (1s)		
1	1.22	0.86	5.10	Puntos de medición tomados desde el Km. 17 al Km. 22.5
2	1.19	0.88	3.20	
3	1.20	0.89	2.50	
4	1.23	0.91	3.50	
5	1.23	0.92	3.10	
6	1.22	0.90	5.10	
7	1.25	0.92	3.40	
8	1.23	0.93	3.10	
9	1.25	0.89	1.30	
10	1.25	0.92	1.40	

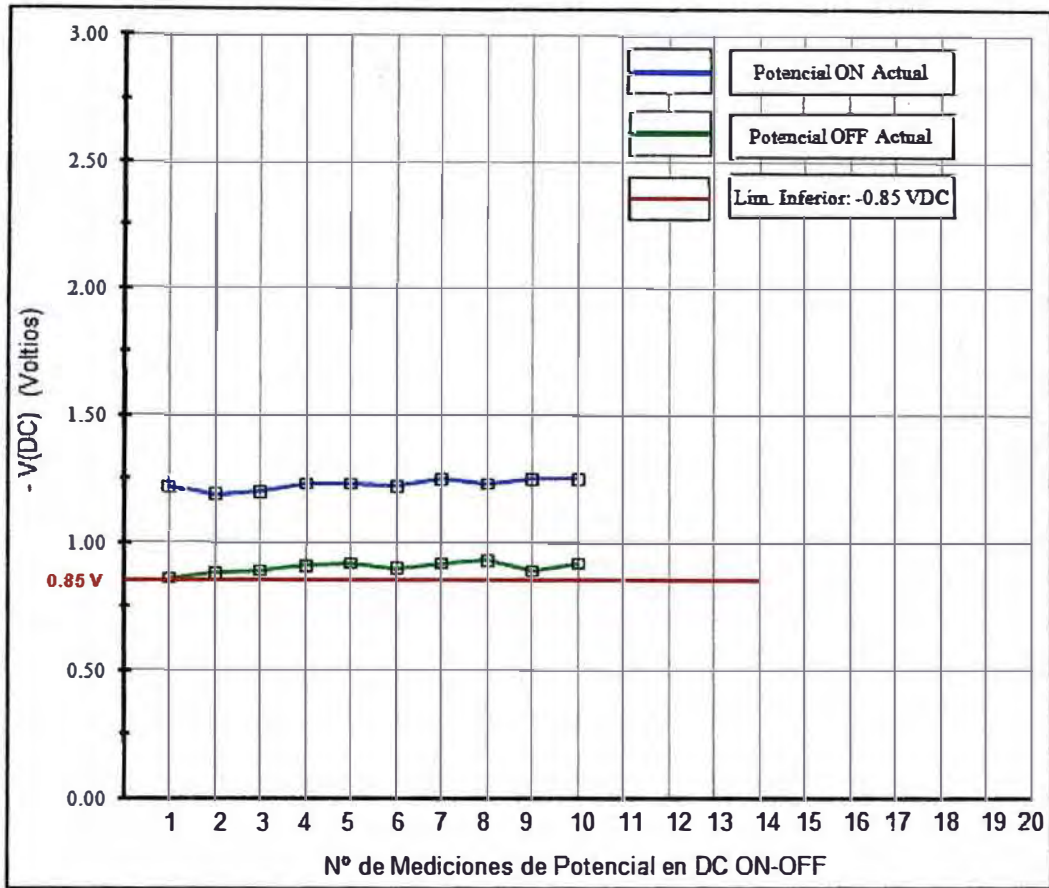


Fig. 5.1 Gráfica de Potenciales (DC)

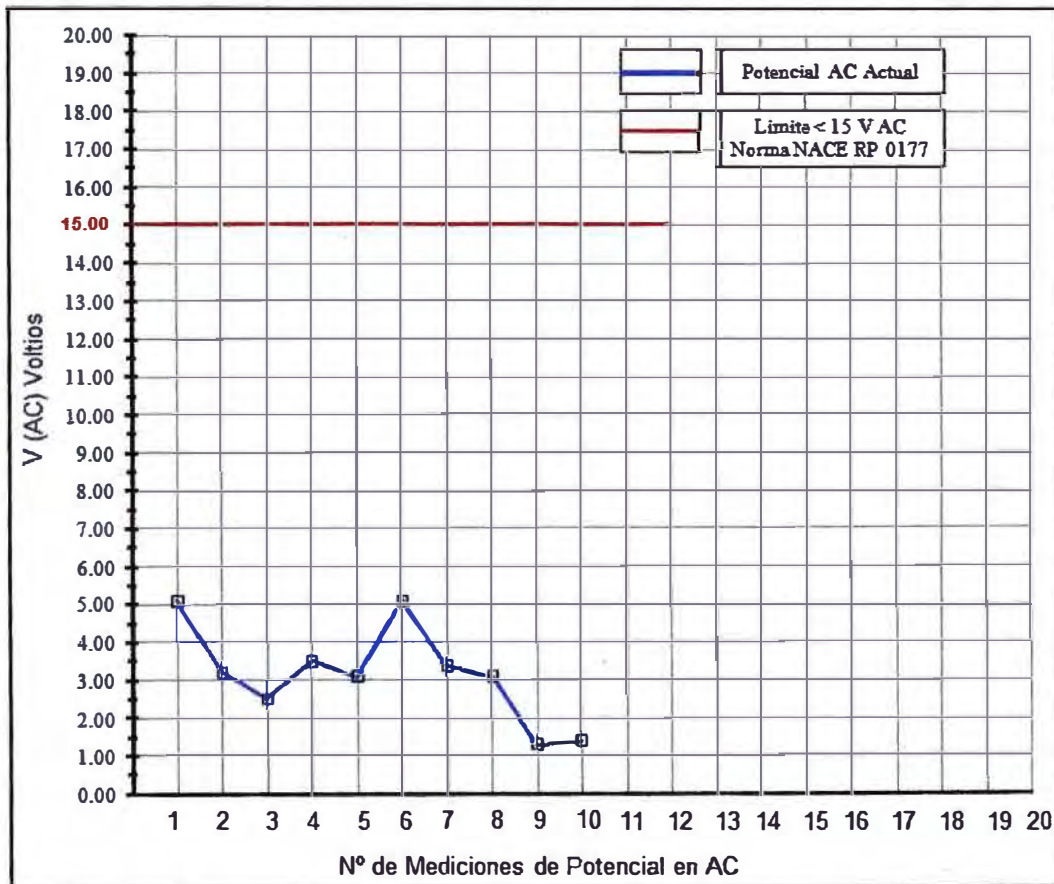


Fig. 5.2 Gráfica de Potenciales (AC)

c) Relevamiento de potenciales naturales

Esta actividad se realiza desconectando los rectificadores, para despolarizar las tuberías, durante un lapso de tiempo de aproximadamente 10 días. Durante este lapso se debe efectuar mediciones en algunos puntos significativos a fin de monitorear la evolución de la red. Pasado el período de despolarización, se debe efectuar un nuevo relevamiento de potenciales con el objeto de relevar el potencial natural de la red bajo estudio.

Todas las mediciones o lecturas tubo/suelo para las actividades anteriormente mencionadas, son realizadas utilizando un voltímetro de alta impedancia (10 MΩ) y un electrodo de referencia (cobre/sulfato de cobre saturado), a una distancia menor a 2 metros de la tubería.

5.1.2 Inspección de unidades de corriente impresa

Esta actividad consiste en realizar el mantenimiento preventivo en forma bimensual a los rectificadores ubicados en Lurín, estación Terminal y ERP El Agustino, realizando limpieza de partes, ajuste de borneras, inspección de fusibles y elementos electrónicos, medición de voltaje y corriente en AC al ingreso del rectificador, medición de voltaje y corriente en DC a la salida del rectificador, verificar el estado y tomar apuntes de la caja de unión, unidad de monitoreo y cama anódica.

5.1.3 Monitoreo de puntos de inyección de corriente

Esta actividad consiste en verificar la corriente DC entregada a los ramales los cuales se encuentran conectados al gasoducto troncal, para ello conectamos un amperímetro en serie o una resistencia Shunt midiendo de esta manera la corriente que consume cada ramal. Actualmente se cuenta con 19 conexiones de la troncal a los diferentes ramales, esta actividad se realiza con una frecuencia semestral.

5.1.4 Verificación de juntas aislantes

Esta actividad consiste en verificar el estado de todas las juntas aislantes instaladas al ingreso de las estaciones de gas y el estado de los soportes aislantes instalados en las cámaras de válvula. La verificación del estado de los aislantes es realizada anualmente.

Por otro lado, el Sistema de Protección Catódica debe contar con el respaldo del sistema SCADA de donde se podrá obtener información continua del potencial suministrado por los rectificadores al sistema.

Las actividades preventivas mencionadas anteriormente, son realizadas siguiendo procedimientos de trabajo y las recomendaciones incluidas en los manuales de operación y mantenimiento del fabricante.

5.2 Mantenimiento Correctivo

Este tipo de mantenimiento debido al control de la corrosión que se tiene aplicando el método de Protección Catódica por Corriente Impresa a las tuberías de acero instaladas a lo largo del gasoducto troncal – derivaciones y ramales, no se ha presentado aún, sin embargo cuando se tenga que reparar o cambiar algunos tramos de tubería corroída se tendrá en cuenta las siguientes consideraciones:

Todo tramo de tubería del sistema de distribución con corrosión generalizada, con un espesor de pared menor que el requerido por la máxima presión de operación admisible de la tubería, o un espesor de pared menor del 30% del espesor nominal (ASME B 31.8 Apéndice L), debe ser reemplazado. Sin embargo, si la zona de corrosión generalizada es pequeña, el tubo corroído podrá ser reparado.

Todo tramo de tubería del sistema de distribución con picaduras de corrosión localizada en un grado tal que podría ocasionar una pérdida debe ser reemplazado o reparado.

5.3 Mantenimiento Predictivo

Uno de los métodos a ser usados como parte de una prevención futura de falla por corrosión externa en las tuberías enterradas de distribución de gas natural es la External Corrosion Direct Assessment (ECDA), cuya metodología está basada en la norma NACE RP - 0502.

5.3.1 External Corrosion Direct Assessment (ECDA)

Es un proceso estructurado para mejorar la integridad del ducto, mediante la determinación y la reducción del impacto de la corrosión externa en la tubería. Este método busca prevenir los defectos de la corrosión externa desde el crecimiento hasta su tamaño final.

La metodología ECDA, integra las inspecciones y evaluaciones de la superficie exterior de la tubería, con características físicas de la tubería y datos históricos de operación. Este proceso de integración se lleva a cabo en 4 etapas.

a) Etapa 1: Pre – evaluación

Se analizan los datos históricos y actuales para determinar si ECDA es factible luego se definen las regiones ECDA y se seleccionan las herramientas de inspección indirecta.

b) Etapa 2: Inspección indirecta

Cubre inspecciones en la superficie de la tierra para identificar y definir la severidad de las averías del recubrimiento y áreas donde la corrosión puede ocurrir.

c) Etapa 3: Inspección directa

Incluye datos de la etapa 2 para seleccionar sitios para excavaciones y evaluaciones de la superficie de la tubería. Los datos de la etapa 2 y etapa 3 son combinados para identificar y evaluar el impacto de la corrosión externa en la tubería.

d) Etapa 4: Post – Evaluación

Analiza los datos de las 3 etapas anteriores para evaluar la efectividad de ECDA y determinar los intervalos de reevaluación.

5.4 Técnicas de Inspección

Dentro de las técnicas de inspección tenemos:

5.4.1 Evaluación Close Interval Survey (CIS)

La ejecución CIS permite conocer el desempeño de la protección catódica paso a paso a lo largo de toda la tubería enterrada, además nos muestra un completo análisis de las condiciones de protección catódica de la tubería. Este estudio identificará los potenciales bajos ó las áreas que no están recibiendo una adecuada protección catódica.

Uno de los principales objetivos de esta evaluación indirecta es determinar si el nivel del potencial de protección catódica de las tuberías cumple con los criterios de la norma NACE SP-0169 para lo cual se realizarán las siguientes actividades:

- Localización y demarcación de la tubería.
- Valoración y verificación del estado de los rectificadores.
- Verificación de conexiones eléctricas
- Toma de potenciales.
- Posicionamiento GPS.
- Software para CIS (Data Link Pro 2, Versión 4.0.).
- Presentación de la información.
- Informe final CIS.

Los equipos utilizados para esta técnica de inspección se muestran en el ANEXO E.

5.4.2 Direct Current Voltage Gradient (DCVG)

Es una técnica de estudio que nos permite evaluar el estado del recubrimiento. Una evaluación periódica del estado del recubrimiento permite establecer zonas críticas, su prioridad de reparación y como consecuencia, mejorar el desempeño del sistema de protección catódica. El DCVG constituye una de las técnicas más sensibles y exactas para la determinación de discontinuidades.

A continuación se hace una descripción del procedimiento mediante el cual se realiza la evaluación de defectos en el recubrimiento de tuberías enterradas:

- Emisión de la señal DCVG.

- Ubicación de defectos.
- Caracterización de defectos.
- Procedimiento de inspección DCVG
- Informe final DCVG

Los equipos utilizados para esta técnica de inspección se muestran en el ANEXO E.

Otras técnicas de inspección y control de la corrosión son:

5.4.3 Inspección de potenciales “On – Off” sobre puntos de referencia fijos o poste a poste

Monitorear y valorar la protección que tenga la tubería y de esta forma llevar un histórico de potenciales de protección del Sistema de Protección Catódica instalado.

5.4.4 Resistividad

Importante para el diseño de protección catódica, ya que es una técnica que nos ayuda a determinar las zonas corrosivas así como la conformación geológica de un terreno.

5.5 Parámetros de control de la protección Catódica (V, I)

El circuito eléctrico de un Sistema de Protección Catódica obedece a la ley de Ohm. Sin embargo, medir las variables para la aplicación de la Ley de Ohm para una celda electroquímica no es tan directo como para un circuito metálico, pero se mantienen los mismos principios. Las variables en un circuito eléctrico son:

5.5.1 Voltaje

El voltaje es la fuerza que mueve la corriente del Sistema de Protección Catódica. Para un Sistema por Corriente Impresa, el voltaje efectivo de conducción es el voltaje de salida de la fuente eléctrica menos la diferencia natural de potencial entre el material de la estructura y el ánodo/backfill.

Esta diferencia de potencial se llama “back voltaje” y se asume que será 2 voltios para todos los cálculos prácticos.

El voltaje es una variable de diseño que se establece con los parámetros de cantidad de corriente y resistencia del circuito.

5.5.2 Corriente

Es la requerida para que la estructura alcance el nivel de protección necesario para cumplir con el criterio de protección catódica.

5.5.3 Resistencia

La resistencia del circuito es la resistencia total considerando todos los caminos de corriente del circuito.

5.5.4 Criterios de Protección Catódica según Norma NACE RP 0169

a) Un potencial negativo (catódico) de por lo menos 850 mV, con la protección catódica aplicada. Este potencial está referido a un electrodo de Cu/SO₄Cu saturado. Las caídas de tensión distintas de las producidas en la interface estructura-electrolito, deben ser determinadas para la interpretación válida de este criterio.

Dichas caídas de tensión serán determinadas por algunos de los siguientes métodos:

- Por medición o Cálculo.
- Por revisión del comportamiento histórico del Sistema de Protección Catódica.
- Por elevación de las características físicas y eléctricas de la tubería y su entorno.
- Por determinación de evidencias físicas de corrosión.

b) Un potencial negativo de por lo menos de 850 mV con respecto a un electrodo de referencia de Cu/SO₄Cu saturado.

La medición de este potencial se hará sin la aplicación de la corriente de protección (prueba ON-OFF) (para el caso de existir el aporte de más de una fuente, se deberán interrumpir las mismas simultaneas en forma periódica).

c) Un mínimo de 100 mV de polarización catódica entre la superficie de la estructura y un electrodo de referencia estable en contacto con electrolito. La formación o decaimiento de la polarización puede ser medido para satisfacer este criterio. (dejar pasar varias horas para analizar los 100 mV para asegurar que está protegido).

5.6 Evaluación económica de los programas de mantenimiento

El costo de ejecución de los programas de mantenimiento es el siguiente:

TABLA N°. 5.2 Costos de Mantenimiento Preventivo y Técnicas de Inspección

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO TOTAL (S/.)
1	Relevamiento de potenciales.	1	Km.	50.00
2	Inspección de unidades de corriente impresa.	1	Und.	200.00
3	Monitoreo de puntos de inyección de corriente.	1	Und.	25.00
4	Verificación de juntas aislantes.	1	Und.	25.00
5	Servicio de Inspección CIS	1	Km.	1,350.00
6	Servicio de Inspección DCVG	1	Km.	1,235.00

TABLA N°. 5.4 Costos Estudios de Interferencia AC y Protección Catódica

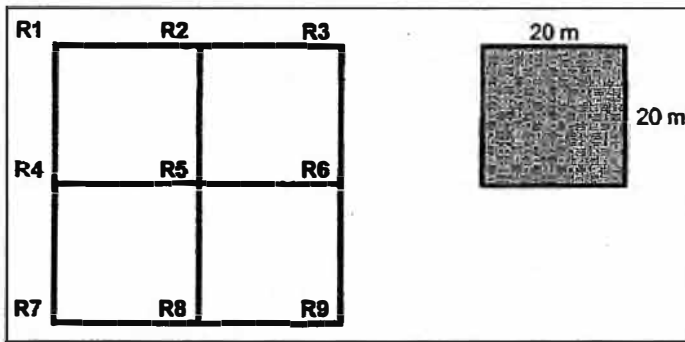
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO TOTAL (S/.)
1	Análisis y diseño del sistema de mitigación de las Interferencias AC. (Ramal de 3'' de Grifo de Arriola)	3	Km.	13,000.00
2	Suministro e instalación del sistema de refuerzo para mitigación de Interferencias AC, (Ramal Angamos)	2	Pto.	59,500.00
Estudio, diseño e instalación Sistema de Protección Catódica				
1	Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa	1	Und.	342,000.00
2	Sistema de Protección Catódica Ánodos de Sacrificio o Ánodos Galvánicos	1	Und.	1,800.00 (por ánodo)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

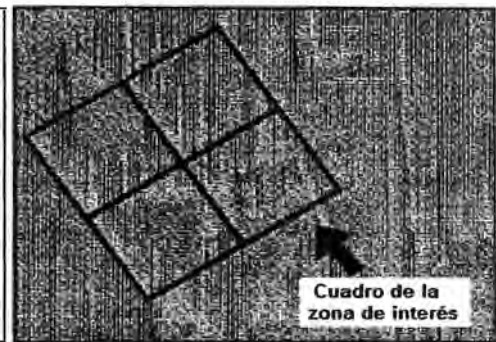
1. Si bien es cierto que el costo del diseño, instalación y mantenimiento del Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa es alto, este sistema nos permite tener control de la corriente empleada y gran alcance de protección, garantizándonos de esta manera la protección de kilómetros de tubería de acero enterrados a lo largo del sistema de distribución de gas natural en Lima y Callao.
2. Otro punto importante es que el Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa requiere menos mantenimiento, vale decir, no necesita controlar ánodo por ánodo como se haría en un Sistema con Ánodos de Sacrificio, sino, solo se controlaría una cama de ánodos así como sus componentes (Rectificador, caja de unión y unidad de monitoreo) los cuales se encuentran en un mismo lugar.
3. Se debe mantener los potenciales Tubo/Suelo por encima de los 850 mV tal como lo recomienda la norma NACE RP 0169 y así asegurar la protección de la tubería.
4. Debido al crecimiento año a año del sistema de distribución de gas natural en Lima y Callao y por ende el crecimiento de tuberías de acero enterradas, se recomienda tener instalados, ya sea por grupos (Clusters) o Ramales, pequeños rectificadores cercanos uno del otro. Esto debido a que el suelo de Lima presenta alta resistividad lo cual impediría que la corriente viaje y llegue a lugares alejados del diseño actual.
5. Con respecto al Sistema de Protección Catódica por Ánodos de Sacrificio, se recomienda su uso para proteger contra la corrosión instalaciones particulares, por ejemplo: Tanques de almacenamiento, pequeños tramos de tubería enterrada, etc.
6. Por ser los recubrimientos una primera protección contra la corrosión de las tuberías de acero enterradas, se recomienda realizar cada 4 años un estudio ECDA (según Norma ASME B31.8) en zonas de riesgo identificadas. Los estudios CIS y DCVG son complementarios y pueden ser realizados cuando uno lo requiera.
7. Según Norma NACE RP 0177, que indica realizar una mitigación cuando se detecta 15 V AC, se recomienda realizar una mitigación cuando se detecte 10 V AC de esta manera se tendría un respaldo de seguridad antes de llegar a lo recomendado por la Norma.

ANEXOS

ANEXO A: Resultados de estudio de resistividad y análisis de Barnes Estación Lurín



Arreglo esquemático del estudio



Vista aérea de un estudio típico

SITE	GPS (UTM)			RESISTIVITY 2M, Ohm - cm			RESISTIVITY 4M, Ohm - cm			RESISTIVITY 6M, Ohm - cm		
	NORTE	ESTE	ALTURA	RESISTANCE		RESISTIVITY	RESISTANCE		RESISTIVITY	RESISTAN		RESISTIVITY
				A	B	2*PI*A*B*200	A	B	2*PI*A*B*400	A	B	2*PI*A*B*600
1	8,640,516	18 300,260		0.72	10	2,265	0.4	10	1,033	0.4	10	1,588
2	8,640,532	18 300,579		0.1	10	1,257	0.5	1	1,257	0.5	10	18,850
3	8,640,520	18 300,262		0.4	1	503	0.3	1	503	0.3	1	1,101
4	8,640,521	18 300,550		0.14	10	1,759	0.14	10	3,519	0.16	10	6,032
5	8,640,518	18 300,587		0.4	10	1,257	0.3	10	1,819	0.3	10	3,170
6	8,640,502	18 300,584		0.3	1	377	0.4	1	1,005	0.4	1	1,508
7	8,640,518	18 300,542		0.2	100	25,133	0.1	100	25,133	0.1	10	30,119
8	8,640,497	18 300,557		0.2	10	2,513	0.2	10	5,027	0.1	10	3,770
9	8,640,48	18 300,47		0.7	1	880	0.3	1	1,005	0.2	1	1,880

Estudio de resistividad estación Lurín

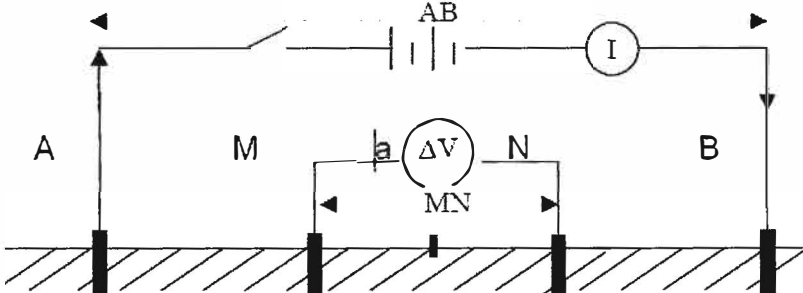
Sample	Resistance Ohms			Conductance Mhos			Layer Conductance Mhos			Layer Resistance Ohms			Layer Resistivity Ohm-cm		
	2 m	4 m	6 m	2 m	4 m	6 m	0-2 m	2-4 m	4-6 m	0-2 m	2-4 m	4-6 m	0-2 m	2-4 m	4-6 m
1	2.20	4.00	4.40	0.45	0.25	0.23	0.45	-	-	2.20	-	-	2,765	-	-
2	1.00	0.50	5.00	1.00	2.00	0.20	1.00	1.00	-	1.00	1.00	-	1,257	1,257	-
3	0.40	0.20	0.30	2.50	5.00	3.33	2.50	2.50	-	0.40	0.40	-	503	503	-
4	1.40	1.40	1.40	0.71	0.71	0.63	0.71	-	-	1.40	-	-	1,759	-	-
5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	-	1.00	-	-	1,257	-	-
6	0.30	0.40	0.40	3.33	2.00	2.50	3.33	-	-	0.30	-	-	377	-	-
7	20.00	10.00	8.00	0.05	0.10	0.13	0.05	0.05	0.03	20.00	20.00	40.00	25,133	25,133	50,265
8	2.00	2.00	1.00	0.50	0.50	1.00	0.50	-	-	2.00	-	-	2,513	-	-
9	0.70	0.40	0.50	1.43	2.50	2.00	1.43	1.07	-	0.70	0.93	-	880	1,173	-

Análisis de Barnes estación Lurín

Rango de Resistividad Ohm-cm.	Clasificación	Rango General de Corrosividad
0 - 1,000	Muy Baja	Extremadamente Corrosivo
1,000 - 5,000	Baja	Usualmente Muy Corrosivo
5,000 - 10,000	Media	A menudo Corrosivo
10,000 - 25,000	Alta	Raramente Corrosivo
>25,000	Muy Alta	Raramente Corrosivo, a menos que este mezclado

Agresividad de suelos referida a la resistividad

ANEXO B: Estudio Geo – eléctrico y Resultados ERP El Agustino

<p>Disposición de los electrodos</p>	<p>En la práctica un Sondeo Geo-eléctrico se efectúa colocando sobre la superficie del terreno cuatro (4) electrodos en línea recta, dispuestos simétricamente con respecto a un centro de medición, o punto de referencia, y conectados a los aparatos de medida, llamados voltímetro y amperímetro. El sondeo consiste en el envío de corrientes eléctricas de alto voltaje al subsuelo, de intensidad "I" a través de dos electrodos A y B, se mide la diferencia de potencial ΔV que el campo eléctrico creado en el subsuelo produce entre los dos electrodos de potencial denominados M y N.</p> <p>Los electrodos se pueden colocar de diferentes maneras, esto se conoce también como arreglo o disposición de electrodos. La disposición de los electrodos más usada es la llamada Configuración Schlumberger, en donde los electrodos de potencial (M y N) permanecen fijos, cercanos al centro de medida, mientras que los electrodos de corriente (A y B) se separan simétricamente del centro de medida, con el objeto de hacer mayor la profundidad de investigación.</p>  <p style="text-align: center;">Fig. 1 Disposición de electrodos</p>
<p>Cálculo de la Resistividad</p>	<p>La intensidad de la corriente (I) y la caída o diferencia de potencial (ΔV) se miden con aparatos convencionales llamados amperímetro y voltímetro, respectivamente.</p> <p>Aplicando la Ley de Ohm, se calcula el valor de Resistividad (ρ) del medio investigado, en función de un factor de distancia o Coeficiente Geométrico (K), según la ecuación (1). El factor K es función de la distancia entre los electrodos, siendo $AB/2$ y $MN/2$ la distancia entre los electrodos de corriente y de potencial, respectivamente.</p> <p style="text-align: center;">Resistencia: $R = (\Delta V)/I$; (ohmios) (1)</p> <p style="text-align: center;">Coeficiente Geométrico: $K = \pi(AB^2/2 - MN^2/2)/MN$; (metros)</p> <p style="text-align: center;">Resistividad: $\rho = (\Delta V/I) * K$; (ohm-m.)</p> <p>Con estos datos y el coeficiente k de interrelación electródica se puede determinar las resistividades aparentes (δa), de los sedimentos para un tendido de cable AB.</p> <p>Los valores resultantes son puestos en un gráfico logarítmico, obteniéndose una curva que representa el sondeo y donde la abscisa reproduce $AB/2$ y la ordenada la resistividad aparente del conjunto.</p>

Interpretación Matemática

Se conoce que el subsuelo no es homogéneo y está estratificado en una serie de capas litológicamente diferentes, por lo tanto hay que deducir mediante un sistema interpretativo los valores de Resistividad Verdadera de cada capa, a partir de la curva del sondeo geo-eléctrico. La curva logarítmica es sometida a un proceso de interpretación mediante el cual se intenta obtener la distribución de las resistividades en el subsuelo y buscar el significado geológico de tales resistividades. Producto de esa interpretación se establecen las diferentes capas del subsuelo, con los valores de resistividad y el espesor de cada una de ellas.

La interpretación del sondeo se hizo, en primera instancia, utilizando el método analítico matemático ayudado por las curvas patrones publicadas por Orellana y Mooney, y por el Rijkswaterstaat de Holanda, luego los resultados fueron verificados utilizando un programa interactivo de interpretación que permite analizar los resultados y determinar los modelos de los terrenos equivalentes que podrían representarse por la misma curva dentro de los límites de precisión establecidos.

TABLA 1: Horizontes Geo – eléctricos ERP El Agustino

CAPAS	H1	H2	H3	H4	CARACTERÍSTICAS DEL SUELO (CAPA)
$\rho(\Omega\text{-m})$	44	483	25	α	H1: Areno limosa
ϵ (m)	1.5	3	63	-	H2: Materiales gruesos
Σ (m)	1.5	4.5	66	-	H3: Sedimentos finos
					H4: Basamento rocoso

Donde:

$\rho(\Omega\text{-m})$: Resistividad en Ohm-m del Horizonte Geoelectrico.

ϵ (m): Espesor en m del Horizonte Geoelectrico.

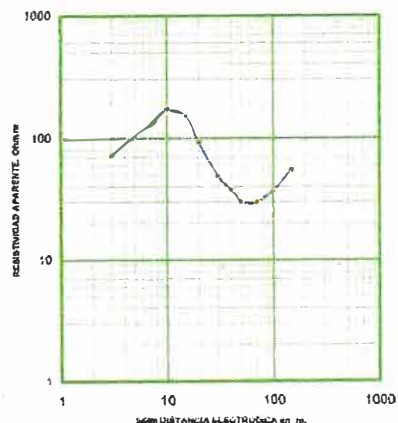
Σ (m): Profundidad de la base del Horizonte Geoelectrico.

Resultados

TABLA 2: Características discriminadas Horizonte 3

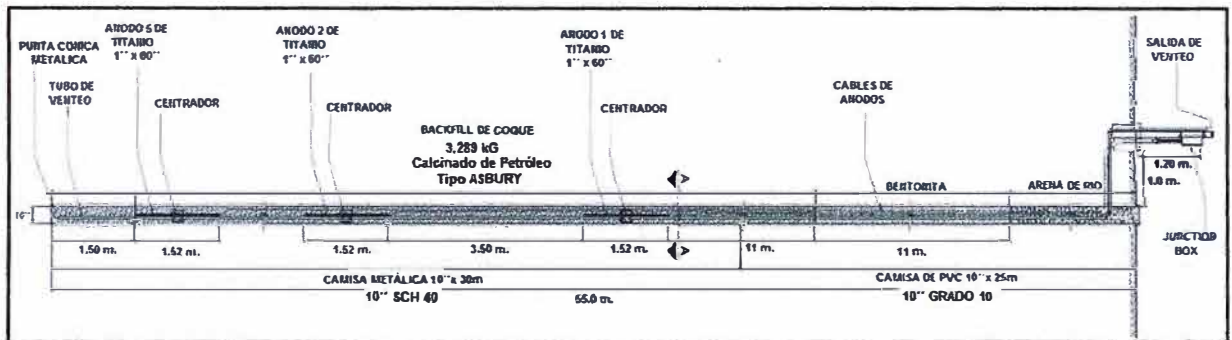
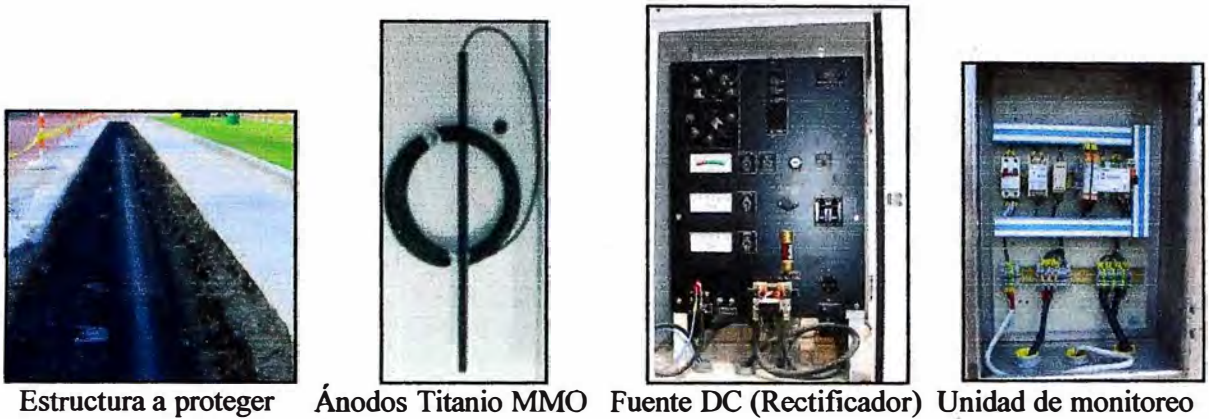
PARAMETRO	MINIMO	MEJOR VALOR	MAXIMO
Resistividad. (Ohm-m)	12	25	27
Espesor (m)	20	56	89
Profundidad (m)	25	60	92

MN	K/10(m)	ΔV (mv)	I mA	● A m	Pa Ω .m
2	1.26	1830	280	3	72
2	3.77	790	280	5	106
2	7.54	480	280	7	129
2	15.55	280	250	10	180
5	5.89	740	250	10	174
5	13.75	280	250	15	154
5	24.74	90	240	20	92.7
5	58.2	20	230	30	49
5	100.1	8	230	40	38
5	156.7			50	30
20	37.7	20	245	50	30
20	75.4	9.5	240	70	30
20	155.5	5.7	235	100	37.7
20	352			150	55
80	82.1			150	
80	150.8			200	
80	347			300	
80	622			400	
80	975			500	

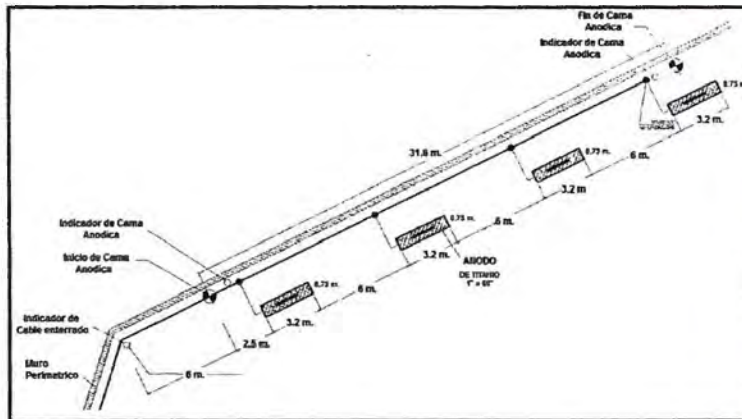


Curva del sondaje eléctrico

ANEXO C: Componentes del Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa



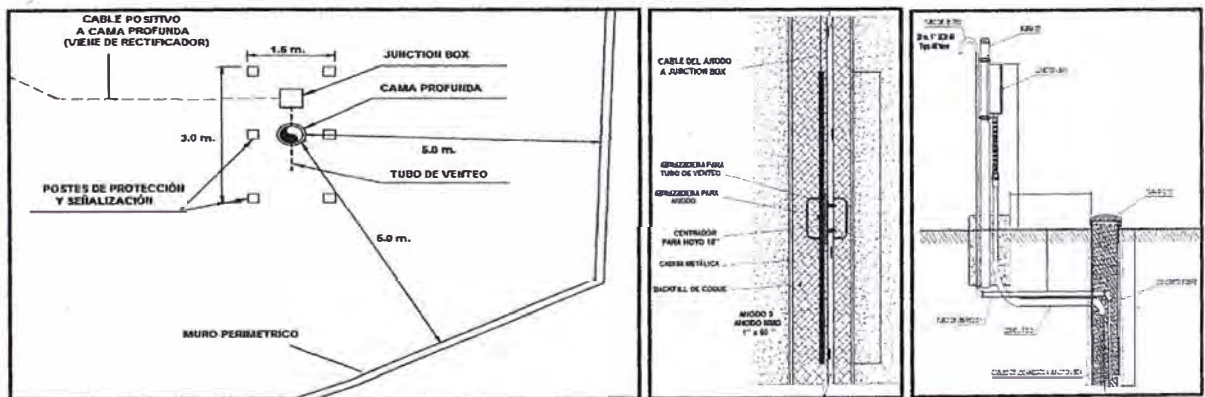
Cama anódica profunda (Instalado en ERP El Agustino)



Cama anódica horizontal (Instalado en Lurín)



Caja de unión (Junction Box)



Detalle cama anódica profunda, detalle del ánodo – centrador y Cama profunda – Caja de Unión

ANEXO D: Equipos y Software utilizados en estudios de interferencias AC y mitigación



Equipo de Resistividad Nilsson



Modelo 400 Caja de Miller



Osciloscopio Fluke 123



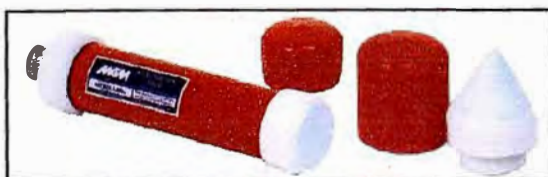
Multímetro FLUKE 175



Localizador Metrotech 9890



Receptor GPS - Garmin



Electrodos de referencia

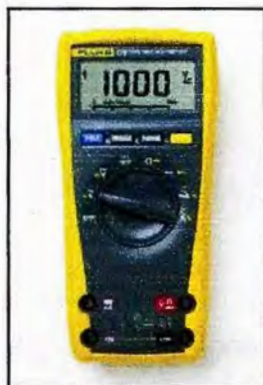


Software especializado

ANEXO E: Equipos usados en técnicas de estudio



Equipo CIS



Multímetro FLUKE 175



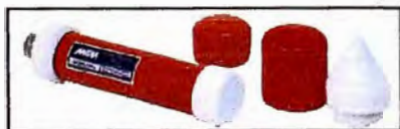
Osciloscopio Fluke 123



Receptores GPS



Localizador de tubería Tinker & Razor



Electrodos de referencia



Interruptor corriente Quasar QC-100 y Smart Interrupter. Portátiles (Cobre / Sulfato de Cobre).



Equipo DCVG Meter – APRT.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Gas Natural de Lima y Callao, “Informe Final Construcción del Sistema de Distribución de Gas Natural”, Tecsup – Lima, 2004.
- [2] Gas Natural de Lima y Callao, “Características de las tuberías de acero de distribución de gas natural”, Cálidda – Lima, 2004.
- [3] Gas Natural de Lima y Callao, “Guía para aplicación de pintura en estructuras metálicas”, Cálidda – Lima, 2010.
- [4] Nace International, “CP3 – Técnico Superior en Protección Catódica”, Manual del Curso – España, 2007.
- [5] Tecnología Total, “Control de corrosión y Protección Catódica”, Curso Nivel 1 – Noviembre 2005.
- [6] Ing. Pedro Pizarro Solís, “Curso Corrosión 01”, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2009.
- [7] Ing. Elizabeth García, “Sistema de Protección Catódica”, http://members.tripod.com/~lizgarcia_2/catodica.html.
- [8] Consorcio TPI, “Diseño del Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa”, Cálidda – Lima, 2003.
- [9] Tecnología Total, “Modelación de Interferencias AC y Mitigación”, Cálidda – Lima, 2005.
- [10] Tecnología Total, “Técnicas de Estudio CIS y ECDA”, Cálidda – Lima, 2010.
- [11] Normas ASME B31.8, NACE, API, ASTM, DIN 30670.
- [12] Decreto Supremo N° 042-99-EM, “Reglamento de Distribución de Gas Natural por Red de Ductos”.
- [13] Recomendación de operación y mantenimiento de los fabricantes de equipos.