

## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

**El proyecto “OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA EN REPSOL YPF S.A. DEL ECUADOR (BLOQUE 16)” fue realizado en su totalidad por Victor Vidan Marquinez Montaña, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.**

---

**Ing. Juan Pablo Alcoser  
DIRECTOR**

---

**Ing. Wilson Garzón  
CODIRECTOR**

**Sangolquí, 2007-01-02**

# **LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO**

**“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
EN REPSOL YPF S.A. DEL ECUADOR (BLOQUE 16)”**

**ELABORADO POR:**

---

**Victor Vidán Marquinez Montaña**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

---

**COORDINADOR DE CARRERA**

**Sangolquí, 2007-01-02**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mi madre que gracias a la entrega diaria de su esperanza y apoyo incondicional en mí, ha logrado acercarme a mis metas personales y profesionales.

Dios te bendiga siempre Madre mía.

Victor Marquez Montaña.

## AGRADECIMIENTOS

- Una profunda y sincera gratitud a la empresa Repsol YPF del Ecuador en especial al Departamento de Producción e Instalaciones de Superficie por haberme dado la oportunidad de realizar una tesis de tan alta importancia para la empresa.
- Gracias a los Ingenieros José Romero y Carlos Melo; y a todo el elenco que conforma la empresa Proding Cia. Ltda., por haberme ayudado en ampliar mis conocimientos y cumplir con mis metas previstas en esta tesis.
- Gracias a toda mi familia, Majo, Pato, Aaron, Nicole, Carol, Paul, Papi, Mami, por darme ese soporte incondicional para seguir adelante en la consecución de mis sueños. Los adoro.
- Gracias a ti, Patricio Rodríguez, por ser ese padre incondicional que ha sembrado en mi todo lo que soy.
- Gracias a ti, Titi, por ser mi amiga, novia y esa persona incondicional que me llena de sueños e ilusiones para seguir adelante. Te amo.
- Gracias a ti Sixto, mi pana del alma que aunque estés en el cielo has sabido ser la energía incondicional que me acompaña donde voy.
- Gracias a ustedes, Juan Pablo Alcoser y Wilson Garzón, por darme esa acertada guía en la realización de este proyecto.
- Gracias a ti, Señor, por regalarme en el camino toda esa gente que con un granito de arena colaboro en la conclusión de esta etapa de mi vida profesional.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO _____	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO _____	iii
DEDICATORIA _____	iv
AGRADECIMIENTOS _____	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS _____	vi
INDICE DE TABLAS _____	x
INDICE DE FIGURAS _____	xiii
INDICE DE ANEXOS _____	xix
RESUMEN _____	xx
CAPITULO 1 _____	1
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO _____	1
1.1 ANTECEDENTES _____	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA _____	2
1.3 OBJETIVOS _____	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL _____	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS _____	3
1.4 ALCANCE _____	3
1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA _____	3
CAPITULO 2 _____	5
MARCO DE REFERENCIA _____	5
2.1 GENERALIDADES _____	5
2.1.1 RELEVAMIENTO DE LOS DUCTOS EXISTENTES EN EL BLOQUE 16 _____	6
2.1.2 RELEVAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA EXISTENTES EN EL BLOQUE 16. _____	20

2.1.3	REVISION DE LOS ESTUDIOS INTERNOS DE LOS DUCTOS CON EL USO DE SMART PIGS _____	57
CAPITULO 3 _____		70
FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA Y CORROSIÓN _____		70
3.1	CORROSIÓN _____	70
3.1.1	MECANISMO QUÍMICO DE LA CORROSIÓN _____	73
3.1.2	MECANISMO ELECTROQUÍMICO DE LA CORROSIÓN _____	74
3.1.3	TIPOS DE CORROSIÓN _____	77
3.1.4	MÉTODOS DE COMBATE CONTRA LA CORROSIÓN _____	79
3.2	PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA PROTECCIÓN CATODICA _____	85
3.2.1	HISTORIA _____	85
3.2.2	CAMPOS DE APLICACIÓN _____	86
3.2.3	MECANISMO BÁSICO _____	88
3.2.4	TIPOS DE PROTECCIÓN CATÓDICA _____	90
3.2.5	INFLUENCIA DE LOS REVESTIMIENTOS PROTECTORES	101
3.2.6	CRITERIOS DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA _____	107
3.2.7	MEDICIÓN DE POTENCIAL _____	112
3.2.8	SUPERPROTECCIÓN _____	113
3.3	MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA Y REVESTIMIENTOS _____	114
3.3.1	MÉTODO DE EVALUACIÓN DCVG (DIRECT CURRENT VOLTAGE GRADIENT) _____	114
3.3.2	MÉTODO DE EVALUACIÓN PCM (PIPELINE CURRENT MAPPER) _____	116
3.3.3	MÉTODO DE EVALUCIÓN CIS (CLOSE INTERNAL SERVICE) o MEDICIONES DE POTENCIALES ON/OFF _____	119
3.3.4	DENSIDAD DE CORRIENTE _____	122
3.3.5	POLARIDAD _____	124
3.3.6	CANTIDAD DE CORRIENTE _____	125
3.3.7	INTERFERENCIA DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN _____	125
3.3.8	EFICIENCIA DE LAS JUNTAS AISLANTES _____	125

3.4	ANÁLISIS DEL SUELO _____	128
3.4.1	MÉTODO DE MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD DEL SUELO ____	128
3.4.2	MÉTODO DE MEDICIÓN DE Ph DEL SUELO _____	140
3.4.3	ESTUDIO DE LOS DIAGRAMAS DE POURBAIX _____	153
CAPITULO 4 _____		156
RESUMEN DEL ESTUDIO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA EXISTENTE EN EL BLOQUE 16 _____		156
4.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS DEL ESTUDIO DE PROTECCIÓN CATÓDICA EXISTENTE EN EL BLOQUE 16. _____	156
4.2	RECOMENDACIONES _____	164
CAPITULO 5 _____		169
DISEÑO DE LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE PC EN EL BLOQUE 16 _____		169
5.1	MEMORIA DE CÁLCULO _____	169
5.2	LISTA DE MATERIALES Y ESPECIFICACIONES _____	178
5.3	MEMORIA TÉCNICA Y PROCEDIMIENTOS _____	195
5.4	PLANOS DE DISEÑO _____	214
CAPITULO 6 _____		215
ANALÍSIS ECONÓMICO FINANCIERO _____		215
6.1	ANÁLISIS ECONOMICO _____	215
6.2	ANÁLISIS FINANCIERO _____	219
CAPITULO 7 _____		222
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES _____		222
7.1	CONCLUSIONES _____	222
7.2	RECOMENDACIONES _____	225
ANEXOS _____		229
ANEXO A _____		229
ANEXO B _____		264

ANEXO C	289
ANEXO D	290
ANEXO E	295
ANEXO F	298



## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Propiedades oleoducto principal .....	6
Tabla 2.2 Propiedades ductos secundarios .....	6
Tabla 2.3 Análisis físico químico Agua de Inyección SPF.....	7
Tabla 2.4 Análisis físico químico Agua de Inyección NPF .....	8
Tabla 2.5 Muestra de crudo Bloque 16 .....	8
Tabla 2.6 Muestra de Diesel TOP-31 .....	9
Tabla 2.7 Oleoducto principal del Bloque 16 Propiedades mecánicas.....	9
Tabla 2.8 Ductos secundarios del Bloque 16 Propiedades mecánicas.....	10
Tabla 2.9 Líneas protegidas por el sistema de IRO .....	22
Tabla 2.10 Datos actuales de potenciales en tuberías sistema IRO .....	22
Tabla 2.11 Líneas protegidas por el sistema de GINTA.....	23
Tabla 2.12 Datos actuales de potenciales en tuberías sistema GINTA .....	24
Tabla 2.13 Líneas protegidas por el sistema de DAIMI.....	25
Tabla 2.14 Datos actuales de potenciales en tuberías sistema DAIMI .....	25
Tabla 2.15 Líneas protegidas por el sistema de AMO .....	27
Tabla 2.16 Datos actuales de potenciales en tuberías sistema AMO .....	27
Tabla 2.17 Líneas protegidas por el sistema de los oleoductos principales.....	28
Tabla 2.18 Datos actuales de potenciales en tuberías sistema de los oleoductos principales .....	28
Tabla 2.19 Líneas protegidas por el sistema CAPIRÓN .....	29
Tabla 2.20 Datos actuales de potenciales en tuberías sistema de Capirón.....	30
Tabla 2.21 Líneas protegidas por el sistema TIVACUNO .....	31
Tabla 2.22 Datos actuales de potenciales en tuberías sistema TIVACUNO....	31
Tabla 2.23 Líneas protegidas por el sistema NPF - POMPEYA .....	31
Tabla 2.24 Datos actuales de potenciales en tuberías sistema NPF - POMPEYA .....	32
Tabla 2.25 Potenciales “ON” tramo SPF – Amo A .....	33
Tabla 2.26 Potenciales “ON” tramo Amo A - NPF .....	34
Tabla 2.27 Potenciales “ON” tramo NPF - Pompeya .....	35
Tabla 2.28 Potenciales “ON” tramo Iro A - SPF .....	37
Tabla 2.29 Potenciales “ON” tramo La Y – Iro A.....	38
Tabla 2.30 Potenciales “ON” tramo SPF – Ginta B.....	39

Tabla 2.31 Potenciales “ON” tramo Daimi B - SPF .....	40
Tabla 2.32 Potenciales “ON” tramo SPF –Amo A .....	41
Tabla 2.33 Potenciales “ON” tramo Capirón - NPF .....	42
Tabla 2.34 Potenciales “ON” tramo Capirón - NPF .....	43
Tabla 2.35 Rectificadores y postes de prueba Oleoducto principal Bloque 16	46
Tabla 2.36 Rectificadores y postes de prueba de los ductos secundarios Bloque 16 .....	46
Tabla 2.37 Potenciales en juntas aislantes sector NPF .....	54
Tabla 2.38 Potenciales en juntas aislantes sector Planta SPF .....	55
Tabla 2.39 Potenciales en juntas aislantes sector SPF .....	55
Tabla 2.40 Estudio de dieléctrico en juntas de aislamiento sector NPF .....	56
Tabla 2.41 Estudio de dieléctrico en juntas de aislamiento planta SPF .....	56
Tabla 2.42 Especificaciones operativas MFL 1.5 de G.E.....	58
Tabla 2.43 Especificaciones de la inspección de la herramienta .....	58
Tabla 2.44 Parámetros generales Tubería IRO A a la Y.....	59
Tabla 2.45 Resumen de defectos Tubería IRO A a La Y .....	59
Tabla 2.46 Parámetros generales Tubería NPF a CAPIRÓN .....	60
Tabla 2.47 Resumen de defectos Tubería NPF a CAPIRÓN.....	60
Tabla 2.48 Parámetros generales Tubería NPF a TIVACUNO .....	62
Tabla 2.49 Resumen de defectos Tubería NPF a TIVACUNO.....	62
Tabla 2.50 Parámetros generales Tubería TIVACUNO a NPF .....	63
Tabla 2.51 Resumen de defectos Tubería TIVCUNO a NPF .....	63
Tabla 2.52 Parámetros generales Tubería Bogi a CAPIRÓN .....	65
Tabla 2.53 Resumen de defectos Tubería Bogi a CAPIRÓN.....	65
Tabla 2.54 Parámetros generales Tubería La Y a IRO A.....	66
Tabla 2.55 Resumen de defectos Tubería La Y a IRO A .....	66
Tabla 2.56 Parámetros generales Tubería NPF a Pompeya .....	68
Tabla 2.57 Resumen de defectos Tubería NPF a Pompeya.....	68
Tabla 3.1 Tabla de resistividades.....	71
Tabla 3.2 Ph de suelos .....	73
Tabla 3.3 Potenciales en reposo de algunos materiales.....	88
Tabla 3.4 Propiedades del recubrimiento 3LPE .....	103
Tabla 3.5 Propiedades del recubrimiento 3 LPP .....	104
Tabla 3.6 Propiedades del recubrimiento FBE.....	105

Tabla 3.7 Propiedades del recubrimiento HPCC.....	106
Tabla 3.8 Propiedades del recubrimiento PRITEC.....	107
Tabla 3.9 Requerimientos de densidad de corriente.....	123
Tabla 4.1 Resumen general de defectos externos con el uso de Smart Pigs	156
Tabla 4.2 Defectos del revestimiento de tuberías mediante DCVG .....	157
Tabla 4.3 Resistividad y pH del suelo en diferentes tramos del Bloque 16....	163
Tabla 4.4 Valoración de alternativas para la optimización del SPC Bloque 16 .....	165
Tabla 5.1 Estudio de resistividades Amo A.....	170
Tabla 5.2 Estudio de resistividades Capirón .....	170
Tabla 5.3 Estudio de resistividades Tivacuno .....	171
Tabla 5.4 Estudio de resistividades Ginta A.....	171
Tabla 6.1 Inversión general.....	216
Tabla 6.2. Inversión de equipos .....	216
Tabla 6.3 Inversión de materiales .....	218
Tabla 6.4 Inversión en montaje y construcción .....	218
Tabla 6.5. Análisis financiero Alternativa 1 .....	219
Tabla 6.6 Análisis financiero Alternativa 2 .....	220
Tabla 6.7 Perdidas por día provocadas por daños imprevistos.....	221

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Wellpads del Bloque 16, Capirón y Tivacuno.....	5
Figura 2.2 Cabezal de Extracción de Crudo Inyección del químico al Capilar.	12
Figura 2.3 Cabezal de Extracción de Crudo – Inyección del químico a la recirculación.....	13
Figura 2.4 Ingreso del crudo a la planta de producción .....	13
Figura 2.5 Tubería principal crudo planta – Tubings para inyección de químicos .....	16
Figura 2.6 Sistema de bombeo para inyección de químicos en planta .....	16
Figura 2.7 Tanques de almacenamiento para agua de producción .....	17
Figura 2.8 Bomba Booster .....	17
Figura 2.9 Bombas de alta presión .....	18
Figura 2.10 Pig limpiador .....	19
Figura 2.11 Tanques de almacenamiento de químicos para pozos de producción.....	19
Figura 2.12 Tanques de almacenamiento de químicos para facilidades.....	20
Figura 2.13 Sistemas de PC sector sur Bloque 16.....	22
Figura 2.14 Sistemas de PC sector norte Bloque 16 .....	30
Figura 2.15 Electrodo de cobre sulfato de cobre.....	32
Figura 2.16 Electrodo de Cobre/Sulfato de cobre y Multímetro .....	33
Figura 2.17 Medición de potencial en postes de prueba (1) .....	33
Figura 2.18 Curva de potenciales SPF – Amo A.....	34
Figura 2.19 Curva de potenciales Amo A – NPF.....	35
Figura 2.20 Curva de potenciales NPF – Pompeya .....	36
Figura 2.21 Curva de potenciales Iro A-SPF.....	37
Figura 2.22 Curva de potenciales La Y - Iro A .....	38
Figura 2.23 Curva de potenciales SPF – Ginta B.....	39
Figura 2.24 Curva de potenciales Daimi B – SPF .....	40
Figura 2.25 Curva de potenciales SPF – Amo A.....	41
Figura 2.26 Curva de potenciales Capirón – NPF.....	42
Figura 2.27 Curva de potenciales Capirón - NPF.....	43
Figura 2.28 Exterior de un rectificador y caja de conexiones.....	44
Figura 2.29 Interior de un rectificador .....	44

Figura 2.30 Elementos de medición de un rectificador .....	45
Figura 2.31 Caja de conexiones.....	45
Figura 2.32 Junta aislante.....	52
Figura 2.33 Estado de los pernos en juntas aislantes.....	53
Figura 2.34 Medición de eficiencia en juntas aislantes (1).....	53
Figura 2.35 Medición de eficiencia en juntas aislantes (2).....	54
Figura 2.36 Smart Pigs .....	57
Figura 2.37 Defectos Tubería IRO A a la Y (Km. 117) Febrero 13, 2006.....	59
Figura 2.38 Histograma Profundidad vs. Distancia IRO A a la Y Febrero 13, 2006 .....	60
Figura 2.39 Defectos tubería NPF a CAPIRON Diciembre 23, 2005 .....	61
Figura 2.40 Histograma Profundidad vs. Distancia NPF a CAPIRON Diciembre 23, 2005 .....	61
Figura 2.41 Defectos tubería NPF a TIVACUNO Diciembre 7, 2005 .....	62
Figura 2.42 Histograma Profundidad vs. Distancia NPF a TIVACUNO Diciembre 7, 2005 .....	63
Figura 2.43 Defectos tubería TIVACUNO a NPF Diciembre 25, 2005 .....	64
Figura 2.44 Histograma Profundidad vs. Distancia TIVACUNO a NPF Diciembre 25, 2005 .....	64
Figura 2.45 Defectos tubería Bogi a CAPIRON Mayo 16, 2006.....	65
Figura 2.46 Histograma Profundidad vs. Distancia Bogi a CAPIRON Mayo 16, 2006 .....	66
Figura 2.47 Defectos tubería La Y a IRO A Febrero 16, 2006 .....	67
Figura 2.48 Histograma Profundidad vs. Distancia La Y a IRO A Febrero 16, 2006 .....	67
Figura 2.49 Defectos tubería NPF a Pompeya Diciembre 31, 2005.....	68
Figura 2.50 Histograma Profundidad vs. Distancia NPF a Pompeya Diciembre 31, 2005 .....	69
Figura 3.1 Ciclo de los metales .....	70
Figura 3.2 Resistividad.....	71
Figura 3.3 Diagrama Velocidad de corrosión- Humedad Relativa.....	72
Figura 3.4 Mecanismo Básico General (1).....	75
Figura 3.5 Mecanismo Básico General (2).....	75
Figura 3.6 Mecanismo de Protección Catódica (1) .....	89

Figura 3.7 Mecanismo de Protección Catódica (2) .....	89
Figura 3.8 Mecanismo de Protección Catódica (3) .....	90
Figura 3.9 Esquema simplificado de un sistema de Protección Catódica Galvánica. ....	91
Figura 3.10 Ánodos de magnesio para uso en suelos (fundidos y extruídos). Tipo cinta y barras.....	92
Figura 3.11 Ánodos de Zinc para uso en Suelos y Tipo Cinta (Fundidos y extruídos).....	92
Figura 3.12 Protección catódica por corriente impresa .....	94
Figura 3.13 Carbón (Grafito) .....	96
Figura 3.14 Corte transversal de un polímero conductor .....	97
Figura 3.15 Polímero conductor .....	97
Figura 3.16 Ánodos tubulares .....	98
Figura 3.17 Ánodos en barra.....	98
Figura 3.18 Ánodos para diversas aplicaciones.....	99
Figura 3.19 Mezclas de óxidos metálicos .....	100
Figura 3.20 Ánodo de platino .....	100
Figura 3.21 Revestimientos protectores de tuberías enterradas (1) .....	102
Figura 3.22 Revestimientos protectores de tuberías enterradas (2) .....	102
Figura 3.23 Recubrimiento 3LPE .....	103
Figura 3.24 Recubrimiento 3 LPP .....	104
Figura 3.25 Recubrimiento FBE.....	105
Figura 3.26 Recubrimiento HPCC.....	106
Figura 3.27 Recubrimiento PRITEC.....	107
Figura 3.28 Potenciales Tubería – electrolito (suelo).....	109
Figura 3.29 Comparación de potenciales con el método de evaluación CIS (ON/OFF).....	110
Figura 3.30 100 mV de Polarización .....	110
Figura 3.31 Criterios de protección para el acero .....	111
Figura 3.32 Efectos perjudiciales de la protección catódica.....	112
Figura 3.33 Sistemática adoptada para medición de potenciales .....	112
Figura 3.34 Método de evaluación DCVG.....	115
Figura 3.35 Transmisor PCM Tx .....	118
Figura 3.36 Receptor (PCM Rx).....	119

Figura 3.37 Acople del receptor PCM (Mag foot).....	119
Figura 3.38 Método de evaluación CIS (1).....	121
Figura 3.39 Método de evaluación CIS (2).....	121
Figura 3.40 Método de evaluación CIS (3).....	122
Figura 3.41 Sentido de la trayectoria de la corriente.....	124
Figura 3.42 Polaridad correcta de instalación de un rectificador.....	124
Figura 3.43 Medición de potenciales en juntas aislantes.....	126
Figura 3.44 Medidor de eficiencia de juntas aislantes Tinker & Rasor Model RF-IT.....	126
Figura 3.45 Junta aislante para bridas.....	127
Figura 3.46 Empaques aislantes.....	127
Figura 3.47 Junta monolítica.....	128
Figura 3.48 Método Wenner – 4 puntas.....	129
Figura 3.49 Medidor de resistividad.....	130
Figura 3.50 Conexiones del medidor de resistividad.....	130
Figura 3.51 Medición de resistividad del suelo.....	131
Figura 3.52 Análisis resistividad Tivacuno - NPF.....	133
Figura 3.53 Análisis resistividad NPF- Capirón.....	133
Figura 3.54 Análisis resistividades Capirón- Bogi.....	134
Figura 3.55 Análisis de resistividades Ginta B- SPF.....	135
Figura 3.56 Análisis de resistividades SPF- “Y” IRO.....	136
Figura 3.57 Análisis de resistividades “Y” IRO – IRO A.....	137
Figura 3.58 Análisis de resistividades SPF-AMO A.....	138
Figura 3.59 Análisis de resistividades AMO A-NPF.....	139
Figura 3.60 Análisis de resistividades NPF-POMPEYA.....	140
Figura 3.61 Ecuación pH-Mv.....	142
Figura 3.62. Análisis de resultados de pH Tivacuno- NPF.....	143
Figura 3.63 Análisis de resultados de pH NPF- Capiron.....	144
Figura 3.64 Análisis de resultados de pH Capirón-Bogi.....	145
Figura 3.65 Análisis de resultados de pH SPF-Ginta B.....	146
Figura 3.66 Análisis de resultados de pH SPF-Y Iro.....	147
Figura 3.67 Análisis de resultados de pH Y Iro- Iro A.....	148
Figura 3.68 Análisis de resultados de pH SPF- Amo A.....	149
Figura 3.69 Análisis de resultados de pH Amo A-NPF.....	150

Figura 3.70 Análisis de resultados de pH NPF-Pompeya .....	151
Figura 3.71 Análisis de resultados de pH Pompeya-SSFD .....	152
Figura 3.72 Marcel Pourbaix en Milano 1948.....	153
Figura 3.73 Diagrama de Pourbaix del Hierro en agua a 25 °C .....	154
Figura 4.1 Defectos en el revestimiento de tuberías enterradas .....	158
Figura 4.2 Estado del rectificador X-2054-TR voltaje DC.....	160
Figura 4.3 Estado del rectificador X-2054-TR amperaje DC .....	160
Figura 4.4 Estado del rectificador X-1053-TR amperaje DC .....	160
Figura 4.5 Estado del rectificador X-1952-TR voltaje DC.....	161
Figura 4.6 Estado del rectificador X-1952-TR amperaje DC .....	161
Figura 4.7 Estado del rectificador X-2950-TR voltaje DC.....	161
Figura 4.8 Estado del rectificador X-2950-TR amperaje DC .....	162
Figura 4.9 Estado del rectificador X-2953-TR voltaje DC.....	162
Figura 4.10 Estado del rectificador X-2953-TR amperaje DC .....	163
Figura 4.11 Líneas a proteger con el sistema Ginta A .....	166
Figura 4.12 Líneas a proteger con el sistema Amo A .....	167
Figura 4.13 Líneas a proteger con el sistema Capirón.....	167
Figura 4.14 Líneas a proteger con el sistema Tivacuno.....	168
Figura 5.1 Método de las 4 picas .....	169
Figura 5.2 Resistividad del suelo por capas.....	169
Figura 5.3 Líneas a proteger con el sistema Amo A .....	172
Figura 5.4 Líneas a proteger con el sistema Capiron A .....	173
Figura 5.5 Líneas a proteger con el sistema Tivacuno.....	174
Figura 5.6 Líneas a proteger con el sistema Amo A .....	176
Figura 5.7 Rotulo para instalación de SPC .....	207
Figura 5.8 Soldadura Cadweld (1) .....	208
Figura 5.9 Soldadura Cadweld (2) .....	209
Figura 7.1 Optimización del sistema de PC .....	222
Figura 7.2 Daño del revestimiento por exceso de corriente de PC (1).....	223
Figura 7.3 Daño del revestimiento por exceso de corriente de PC (2).....	223
Figura 7.4 Interferencia de PC .....	224
Figura 7.5 Junta de aislamiento .....	224
Figura 7.6 Maquina curvadora .....	225
Figura 7.7 Curva fabricada en campo .....	226



Figura 7.8 Transporte de tubería.....	226
Figura 7.9 Almacenamiento de la tubería .....	227
Figura 7.10 Manejo de tubería .....	227
Figura 7.11 Zanjado para tubería.....	228

## INDICE DE ANEXOS

ANEXO A	229
ANEXO B	264
ANEXO C	289
ANEXO D	290
ANEXO E	295
ANEXO F	298

## RESUMEN

Repsol YPF S.A. del Ecuador con el objeto de controlar el mecanismo electroquímico de corrosión existente en las tuberías enterradas en el Bloque 16, que se encuentra concesionado a esta empresa, requiere optimizar su sistema de protección catódica actual de las líneas de transporte de fluidos, con el fin de evitar emergencias y contingencias que ocasionen gastos negativos muy elevados que perjudicarían al bio-ambiente, al personal y a los intereses internos de la empresa y del Ecuador.

- Para el efecto REPSOL YPF delega la responsabilidad de realizar el estudio, diseño y evaluación de alternativas de solución, para optimizar el Sistema existente de Protección Catódica del Bloque 16, mediante un proyecto de tesis.

La metodología de ejecución de este Estudio se realizó de la siguiente manera:

- Actualización y recopilación de información técnica sobre los diferentes métodos y estudios realizados en diferentes países, para aplicación de sistemas de protección catódica en tuberías enterradas de transporte de fluidos.
- Diagnostico del sistema de protección catódica existente en el Bloque 16, sus locaciones e instalaciones que son parte del mismo, mediante el relevamiento de información y datos con diferentes métodos de análisis a través de equipos específicos para el efecto.
- Recopilación de la información técnica existente en el Bloque 16, documentos y planos relacionados al Sistema de Protección Catódica instalada en ese Bloque.
- Evaluación de los datos obtenidos mediante los equipos y la información técnica recopilada, que permita identificar los problemas por los cuales el Sistema instalado no cumple con regulaciones y normas internacionales aprobadas por el organismo rector de corrosión, la NACE (National Association of Corrosion Engineers).

- Establecimiento de las alternativas para dar solución a las inconformidades encontradas al realizar este estudio.
- Definición de la alternativa más adecuada para optimizar el sistema con base a cumplimiento de los criterios de la Matriz de evaluación y conforme a los requerimientos y expectativas de REPSOL YPF.
- Cálculo de los parámetros y especificaciones de cada equipo y sistema que cumplan con los criterios de Protección Catódica para alcanzar la optimización en los niveles apropiados de Protección Catódica contra la Corrosión; y,
- Elaboración de la lista de equipos y materiales necesarios que se deben instalar para alcanzar el objetivo de optimización del Sistema de protección Catódica del Bloque 16.

# CAPITULO 1

## DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

### 1.1 ANTECEDENTES

Repsol-YPF S.A. del Ecuador está ubicado en la Amazonia Ecuatoriana y presta servicios de exploración y producción de hidrocarburos en el Bloque 16 desde el 27 de Enero de 1986. Al mismo tiempo, ha tenido como prioridad la innovación de nuevas tecnologías respetuosas con el medio ambiente, además de contar con normas y procedimientos que aseguran su producción y la minimización de cualquier impacto ambiental.

Desde el principio las operaciones dentro del Bloque 16, han sido realizadas utilizando tecnología de punta, con el objetivo esencial de producir más petróleo al menor costo socio-ambiental posible. Como parte de la tecnología de punta, Repsol-YPF, esta siempre preocupada por generar sistemas de protección en todas las instalaciones de la producción petrolera para que estas ofrezcan una alta confiabilidad y seguridad a su personal operativo, ecosistema, instalaciones e intereses económicos.

Uno de los elementos más importantes en el mundo petrolero, son las líneas de flujo o llamadas también vías de transporte para los productos de la producción petrolera. Al pasar por distintos estratos de suelos y por los productos que llevan, estas líneas de muchos kilómetros de longitud experimentan diferentes influencias corrosivas. Por lo tanto, la empresa, con el afán de reducir el impacto global debido a fallas imprevistas de los ductos por causa de la corrosión, se impone metas particulares para controlar la corrosión, previniendo así cualquier contingencia que pudiera ocurrir e incida en contra del ser humano y el medio ambiente.

Hoy en día Repsol YPF S.A. del Ecuador tiene una producción aproximada de 55000 a 65000 BOPD<sup>1</sup>. Para su producción ha construido grandes oleoductos e instalaciones de equipos de superficie para tratamiento, transporte de crudo y agua de producción. Estos a su vez se encuentran ubicados en diferentes localidades a lo largo del Bloque 16.

---

<sup>1</sup> BOPD.-Barriles de crudo por día.

El circuito formado por las líneas de flujo empieza en Lago Agrio y pasa por varias estaciones que son: Shushufindi (Estación de mezcla), Pompeya (Estación de bombeo), NPF (Northern Production Facilities) y SPF (Southern Production Facilities) siendo estas dos últimas las más importantes, ya que reciben fluidos de todos los pozos de extracción existentes. Hasta el momento están trabajando 15 pozos que son: Tivacuno, Capiron A, Bogi, Amo 1, WIP-S1, Amo A, Amo B, Amo C, Daimi A, Daimi B, Iro A, Iro B, Iro 1, Ginta A, Ginta B.

Todas las líneas de flujo que unen las estaciones antes nombradas tienen sistemas de control de la corrosión de métodos combinados. Los cuales son el sistema de Protección Catódica (PC) y los revestimientos: FBE (Fusion Bonded Epoxy), poli-propileno tri-capa y también cinta de revestimiento con especificaciones para alta temperatura.

Por lo tanto, Repsol YPF S.A. del Ecuador para poder controlar el mecanismo electroquímico de corrosión existente en sus tuberías enterradas, requiere optimizar su sistema de protección catódica actual de líneas de transporte de fluidos con el fin de evitar emergencias y contingencias que ocasionen gastos negativos muy elevados perjudicando los intereses internos de la empresa y del Ecuador.

En conclusión, mediante este estudio se trata de conservar las instalaciones del Bloque 16 en las mejores condiciones posibles para que estas ofrezcan una alta confiabilidad en la producción de la empresa.

## **1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

La ubicación de las camas anódicas instaladas actualmente, no es la adecuada, ya que produce interferencias al sistema de protección catódica de otras líneas de transporte de fluido.

Algunos rectificadores se encuentran trabajando casi al límite de su capacidad nominal.

La calibración de los equipos del sistema de protección catódica se dificulta, porque los sistemas no tienen un adecuado aislamiento eléctrico entre las líneas y las facilidades, debido en parte, a la falta o mal estado de juntas dieléctricas. Adicionalmente, en las líneas de agua, a pesar de existir juntas dieléctricas y estar en buenas condiciones, al momento de circular el agua la

cual posee en su composición química una alta conductividad eléctrica y baja resistividad se produce conducción de corriente a través de ésta, por lo que permite la fuga de la misma hacia las estructuras no protegidas por los sistemas de protección catódica.

En algunos tramos el electrolito es de baja resistividad, lo que favorece a los procesos corrosivos. Por lo que, en caso de existir deficiencias en el revestimiento exterior de las tuberías se acelera el proceso corrosivo.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

- Optimizar el sistema de protección catódica en Repsol YPF S.A. del Ecuador (BLOQUE 16).

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Relevar los sistemas de protección catódica y ductos existentes en el Bloque 16.
- Analizar los métodos de evaluación de la eficiencia de los sistemas de protección catódica y revestimientos.
- Optimizar del sistema de protección catódica.
- Recomendar futuros mantenimientos y alternativas de solución para los problemas que seguirán ocurriendo luego de la optimización de sistema de protección catódica del Bloque 16.

### **1.4 ALCANCE**

Conocer el estado de los sistemas actuales de protección catódica existentes en el Bloque 16, analizar su funcionamiento y demanda para poder generar alternativas que permitan optimizar la protección contra la corrosión de las líneas enterradas de transporte de fluidos.

### **1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

La necesidad de mantener en perfectas condiciones a todos los elementos que conforman la producción petrolera, obliga a que estos ofrezcan una confiabilidad muy alta, por eso, se utilizan sistemas modernos y confiables como la protección catódica, recubrimientos, tratamientos químicos que permiten inmunizar la corrosión existente en las líneas de flujo, ya que estas son las vías de transportación de crudo, agua y diesel.

Desde la extracción del petróleo, hasta llegar a su destino final las líneas de flujo (oleoductos) están presentes y así también la corrosión. Es por esto que un sistema de protección catódica en cooperación de revestimientos para tuberías enterradas, son importantes para mantener el estado óptimo de estos elementos de transportación de productos petroleros.

Mediante la optimización del sistema de protección catódica se espera conseguir la reducción en la pérdida de las propiedades físicas y químicas que poseen los ductos de transporte, para incrementar la vida útil y los posibles riesgos de contaminación como derrames, que se pudieran ocasionar a la reserva Huaorani y el Parque Nacional Yasuni, que son los espacios físicos donde se encuentran enterradas las líneas de flujo del Bloque 16.



## CAPITULO 2

### MARCO DE REFERENCIA

#### 2.1 GENERALIDADES

Repsol YPF S.A. del Ecuador, dentro del sistema de líneas de transporte de fluidos (Ver anexo C, plano VM-OSPC-002) posee tuberías de diferentes diámetros, espesores de pared, longitudes y materiales según API<sup>2</sup>, que fueron escogidos por diferentes condiciones iniciales de diseño, principalmente por su presión de operación. A su vez, conectan todos los Wellpads<sup>3</sup> del Bloque 16 y la distribución final del crudo.

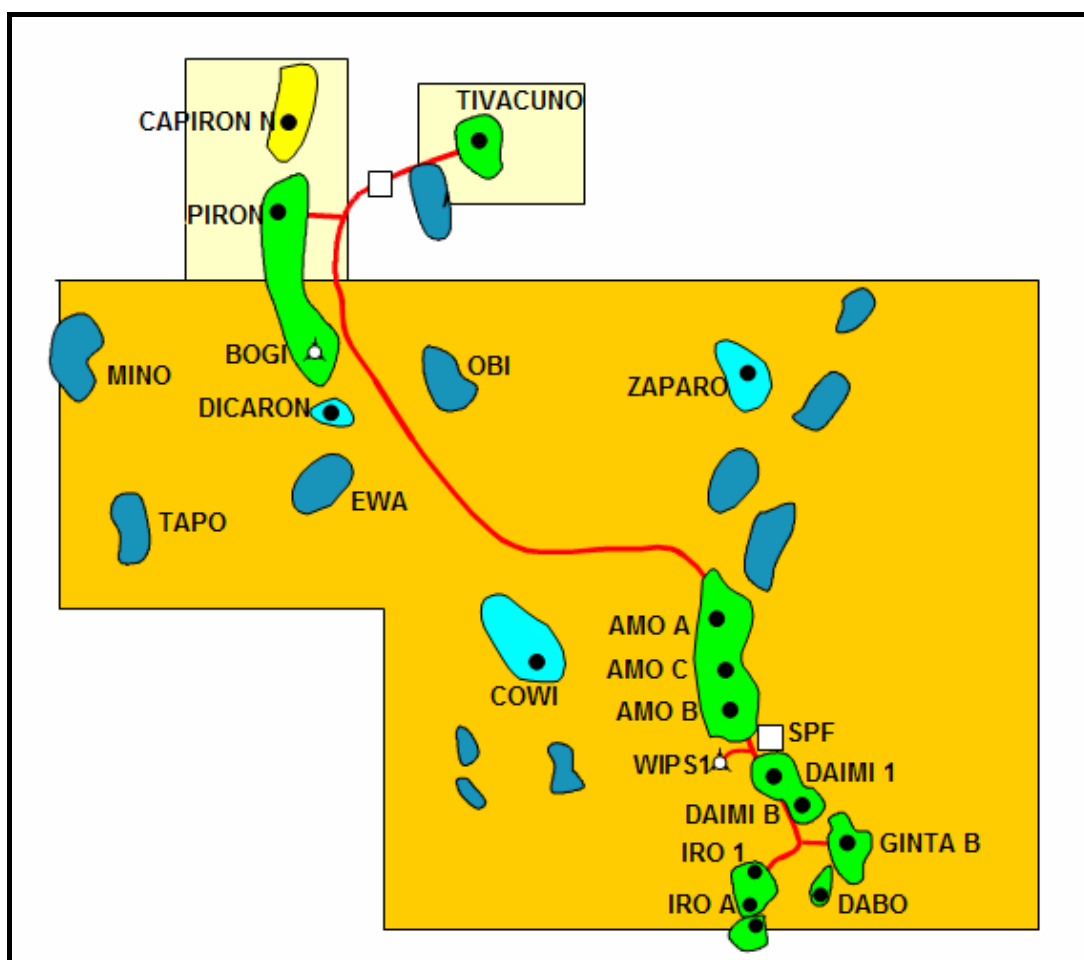


Figura 2.1 Wellpads del Bloque 16, Capirón y Tivacuno

<sup>2</sup> API.- American Petroleum Institute

<sup>3</sup> Wellpads.- Pozos de producción

## 2.1.1 RELEVAMIENTO DE LOS DUCTOS EXISTENTES EN EL BLOQUE 16

Propiedades Del Oleoducto Principal Del Bloque 16 Repsol YPF.

**Tabla 2.1 Propiedades oleoducto principal**

DISTRIBUCION	TRAMO	SERVICIO	DIAMETRO [in]	LONGITUD [Km.]
PZ 27 – L. A	PZ27 – OCP <sup>4</sup>	CRUDO	24	9,8
SSFD <sup>5</sup> – PZ27 <sup>6</sup>	Aguarico – PZ 27	CRUDO	16	34,2
	Shushufindi – Aguarico	CRUDO	16	23,1
PPY <sup>7</sup> – SSFD	PPY – Shushufindi	CRUDO	16	34,7
		DIESEL	4	34,7
NPF <sup>8</sup> – PPY	Tiputini – PPY	CRUDO	16	30,0
		DIESEL	4	30,0
	NPF – Tiputini	CRUDO	16	12,6
		DIESEL	4	12,6
AMO A – NPF	Río Tivacuno - NPF	CRUDO	16	16,6
		DIESEL	4	16,6
	Km. 80 – Río Tivacuno	CRUDO	16	20,7
		DIESEL	4	20,7
	Amo A – Km. 80	CRUDO	16	16,5
		DIESEL	4	16,5
SPF <sup>9</sup> – AMO A	Río Yasuni – Amo A	CRUDO	16	3,1
		DIESEL	4	3,1
	SPF – Río Yasuni	CRUDO	16	10,4
		DIESEL	4	10,4

Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

Propiedades De Los Ductos Secundarios Del Bloque 16 Repsol YPF.

**Tabla 2.2 Propiedades ductos secundarios**

DISTRIBUCION	TRAMO	SERVICIO	DIAMETRO [in]	LONGITUD [Km.]
NPF - TIVACUNO	NPF - TIVACUNO	CRUDO	14	13,1
		AGUA	10	13,1
NPF - CAPIRON	NPF - CAPIRON	CRUDO	16	8,3
		AGUA	14	8,3
CAPIRON - BOGI	CAPIRON - BOGI	CRUDO	12	7,5
		AGUA	12	7,5
		AGUA	10	7,5

<sup>4</sup> OCP.- Oleoducto de crudos pesados

<sup>5</sup> SSFD.- Shushufindi

<sup>6</sup> PZ27.- Pozo 27

<sup>7</sup> PPY.- Pompeya

<sup>8</sup> NPF.- North Production Facilities

<sup>9</sup> SPF.- South Production Facilities

SPF - AMO A	Río Yasuni - Amo A	CRUDO	20	3,1
		AGUA	18	3,1
	Amo B - Río Yasuni	CRUDO	20	5,9
		AGUA	18	5,9
	SPF - Amo B	CRUDO	20	4,5
		AGUA	18	4,5
SPF - IRO A	Y IRO - IRO A	CRUDO	12	6,1
		AGUA	12	6,1
		CRUDO	16	6,1
	Río Dicaro - Y IRO	CRUDO	16	8,2
	SPF - Río Dicaro	CRUDO	16	1,1
DAIMI B - SPF	DAIMI B - SPF	CRUDO	16	4,9
SPF - GINTA B	Y IRO - Ginta B	CRUDO	20	3,7
		AGUA	18	3,7
	Río Dicaro - Y IRO	CRUDO	20	8,2
		AGUA	18	8,2
	SPF - Río Dicaro	CRUDO	20	1,1
		AGUA	18	1,1

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

### 2.1.1.1 RELEVAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS TRANSPORTADOS EN LOS DUCTOS DEL BLOQUE 16.

#### 1) Especificaciones del agua

**Tabla 2.3 Análisis físico químico Agua de Inyección SPF**

pH	7,1
TEMP. ° C	26,7
CONDUCTIVIDAD mS/cm	26700
SALINIDAD CNa- (mg/l)	17400
TOTAL ALKAL. (CaCO <sub>3</sub> mg/l)	1040
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> mg/l)	910
DUREZA DE CALCIO (CaCO <sub>3</sub> mg/l)	800
DUREZA DE MAGNESIO (CaCO <sub>3</sub> mg/l)	110
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> (mg/l)	450
CO <sub>3</sub> <sup>--</sup> (mg/l)	0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	1269
Ca <sup>++</sup> (mg/l)	320
Mg <sup>++</sup> (mg/l)	26
Cl-(mg/l)	10440
Na <sup>+</sup> (mg/l)	6960
Fe <sup>++</sup> (mg/l)	2,5

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

**Tabla 2.4 Análisis físico químico Agua de Inyección NPF**

pH	7
TEMP.	50,7 °C
CONDUCTIVIDAD mS/cm	60800
SALINIDAD ClNa- (mg/l)	41900
TOTAL ALKAL. (CaCO3 mg/l)	680
DUREZA TOTAL (CaCO3 mg/l)	2900
DUREZA DE CALCIO (CaCO3 mg/l)	2300
DUREZA DE MAGNESIO(CaCO3 mg/l)	600
SO4 -- (mg/l)	140
CO3-- (mg/l)	0
HCO3-(mg/l)	830
Ca++ (mg/l)	920
Mg++ (mg/l)	144
Cl-(mg/l)	25140
Na+ (mg/l)	16760
Fe++(mg/l)	4,5

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

## 2) Especificaciones del crudo

**Tabla 2.5 Muestra de crudo Bloque 16**

Agua por destilación (ASTM D 4006 <sup>10</sup> )	0.4 % V
Sedimento por extracción (ASTM D 473)	0.1136 % P
Viscosidad cinemática a 100 °F (ASTM D 445)	1743.93 cSt
Viscosidad cinemática a 120 °F (ASTM D 445)	691.11 cSt
Viscosidad cinemática a 140 °F (ASTM D 445)	344.86 cSt
Viscosidad cinemática a 160 °F (ASTM D 445)	178.52 cSt
Viscosidad cinemática a 180 °F (ASTM D 445)	121.23 cSt
Viscosidad cinemática a 200 °F (ASTM D 445)	61.6 cSt
Azufre	2.4923 % P
Densidad API (ASTM D 287)	15.6 ° API
Poder calórico bruto (ASTM D 240)	9420 Kcal/kg.
Punto de inflamación (ASTM D 92)	67 °C
Punto de vertido (ASTM D 97)	9 °C(-)
Carbón conradson	14 % P
Cenizas (ASTM D 428)	0.23 % P

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

<sup>10</sup> Ver el significado de cada procedimiento ASTM en el Anexo E.

### 3) Especificaciones del Diesel

**Tabla 2.6 Muestra de Diesel TOP-31**

Densidad a 15°C (ASTM D-1298)	0,8370
Índice de Cetano (2 variables) (ASTM D-976)	46.7
Punto de Inflamación (ASTM D-93)	43.0°C
Color (ASTM D-1500)	< 0,5
Agua y Sedimentos (ASTM D-473)	Inf. a 0.05%
Carbón Conradson (ASTM D-189)	0.015%p
Cenizas (ASTM D-482)	0.0001 %p
Azufre (ASTM D-4045)	0.88 %p
Poder Calorífico Inferior (ASTM D-4868)	10180 kcal/Kg.
Poder Calorífico Superior (ASTM D-4868)	10852 kcal/Kg.
Calcio	0.40 ppm
Litio	0.10 ppm
Manganeso	0.15 ppm
Plomo	0.08 ppm
Potasio	0.15 ppm
Sodio	0.09 ppm
Vanadio	0.25 ppm

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

### 2.1.1.2 RELEVAMIENTO DE LAS ESPECIFICACIONES MECÁNICAS DE LOS DUCTOS DEL BLOQUE 16.

#### 1) OLEODUCTO PRINCIPAL DEL BLOQUE 16 REPSOL YPF.

**Tabla 2.7 Oleoducto principal del Bloque 16 Propiedades mecánicas**

DISTRIBUCION	TRAMO	ESPESOR [in]	MATERIAL [API]	RECUBRIMIENTO
PZ 27 - L.A.	PZ27 – OCP	0,375	5L X-70	3LPP <sup>11</sup>
SSFD - PZ27	Aguarico - PZ 27	0,312	5L X-60	FBE <sup>12</sup>
	Shushufindi - Aguarico	0,312	5L X-60	FBE
PPY – SSFD	PPY - Shushufindi	0,312	5L X-60	FBE
		0,237	5L X-42	FBE
NPF – PPY	Tiputini - PPY	0,312	5L X-60	FBE
		0,237	5L X-42	FBE
	NPF - Tiputini	0,312	5L X-60	FBE/3LPP
		0,237	5L X-42	FBE
AMO A - NPF	Río Tivacuno -	0,312	5L X-60	FBE

<sup>11</sup> 3LPP.- Three layer poly propylene

<sup>12</sup> FBE.- Fusion bonded epoxy

	NPF	0,237	5L X-42	FBE
	Km. 80 - Río Tivacuno	0,312	5L X-60	FBE
		0,237	5L X-42	FBE
	Amo A - Km. 80	0,312	5L X-60	FBE/3LPP
0,237		5L X-42	FBE	
SPF - AMO A	Río Yasuni - Amo A	0,312	5L X-60	3LPP
		0,237	5L X-42	FBE
	SPF - Río Yasuni	0,312	5L X-60	3LPP
		0,237	5L X-42	FBE

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

## 2) DUCTOS SECUNDARIOS DEL BLOQUE 16 REPSOL YPF.

**Tabla 2.8 Ductos secundarios del Bloque 16 Propiedades mecánicas**

DISTRIBUCION	TRAMO	ESPESOR [in]	MATERIAL [API]	RECUBRIMIENTO EXTERNO
NPF - TIVACUNO	NPF - TIVACUNO	0,250	5L X-60	3LPP
		0,307	5L X-60	3LPP
NPF - CAPIRON	NPF - CAPIRON	0,312	5L X-60	3LPP
		0,344	5L X-60	3LPP
CAPIRON - BOGI	CAPIRON - BOGI	0,307	5L X-60	3LPP
		0,307	5L X-60	3LPP
		0,307	5L X-60	3LPP
SPF - AMO A	Río Yasuni - Amo A	0,312	5L X-60	3LPP
		0,344	5L X-60	3LPP
	Amo B - Río Yasuni	0,312	5L X-60	3LPP
		0,344	5L X-60	3LPP
	SPF - Amo B	0,312	5L X-60	3LPP
		0,344	5L X-60	3LPP
SPF - IRO A	Y IRO - IRO A	0,25	5L X-60	3LPP
		0,25	5L X-60	3LPP
		0,375	5L X-60	3LPP
	Río Dicaro - Y IRO	0,375	5L X-60	3LPP
	SPF - Río Dicaro	0,375	5L X-60	3LPP
DAIMI B - SPF	DAIMI B - SPF	0,375	5L X-60	3LPP
SPF - GINTA B	Y IRO - Ginta B	0,312	5L X-60	3LPP
		0,25	5L X-60	3LPP
	Río Dicaro - Y IRO	0,312	5L X-60	3LPP
		0,25	5L X-60	3LPP
	SPF - Río Dicaro	0,312	5L X-60	3LPP
		0,25	5L X-60	3LPP

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

### 2.1.1.3 RELEVAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTOS QUÍMICOS EN LOS FLUIDOS TRANSPORTADOS EN LOS DUCTOS DEL BLOQUE 16

El sistema de tratamiento químico que recibe el crudo empieza desde el pozo de extracción, que es donde se inyectan sustancias químicas, que a continuación se muestran:

#### **Inhibidor de incrustación o anti-escala.**

Propiedades físicas y químicas

<b>Nombre:</b>	SCALETREAT IS-3602
<b>Apariencia:</b>	Líquido
<b>Olor:</b>	Pungente
<b>Color:</b>	Ámbar
<b>Solubilidad en el agua:</b>	SI
<b>pH.:</b>	3.0 - 4.0

Se utiliza para evitar la formación de depósitos escala<sup>13</sup> que contienen el fluido en los equipos y tuberías. En los equipos esta película impide su enfriamiento, y en la tubería, reduce el diámetro interior provocando así una reducción en la capacidad de transporte del fluido.

#### **Inhibidor de corrosión.**

Propiedades físicas y químicas

<b>Nombre:</b>	CORROSION INHIBITOR IC-1106
<b>Apariencia:</b>	Líquido
<b>Olor:</b>	Alcohólico
<b>Color:</b>	Café Rojizo
<b>Solubilidad en el agua:</b>	SI
<b>pH.:</b>	4.0 - 6.0
<b>Gravedad específica (Agua = 1):</b>	0.970 – 0.985 @ 25° C

Se utiliza en pozos de naturaleza muy corrosiva, evitando así la corrosión interna en las tuberías de transporte del fluido.

Los dos químicos antes mencionados son generalmente inyectados al capilar<sup>14</sup>.

Como se muestra en la Figura 2.2:

---

<sup>13</sup> Escala.- Depósitos sólidos formados básicamente por carbonatos de calcio.

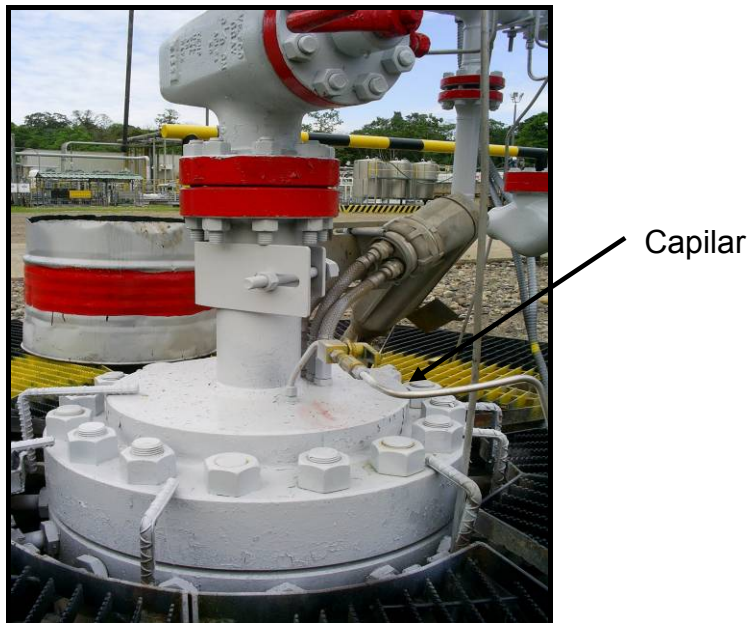
<sup>14</sup> Capilar.- Tubería de  $\phi 1/2''-3/4''$  de acero inoxidable que lleva la sustancia química al fondo del pozo.

## Sandtreat

Propiedades físicas y químicas

<b>Nombre:</b>	SANDTREAT 11SC
<b>Apariencia:</b>	Líquido
<b>Olor:</b>	-----
<b>Color:</b>	Ámbar
<b>Solubilidad en el agua:</b>	Apreciable
<b>pH.:</b>	3.5 - 4.0

Se utiliza cuando la naturaleza del pozo es muy arenosa. Su función es dispersar los sólidos que se encuentran en el fluido y mantenerlos en suspensión en caso de un Shut Down<sup>15</sup>.



**Figura 2.2 Cabezal de Extracción de Crudo Inyección del químico al Capilar.**

## Demulsificante

Propiedades físicas y químicas

<b>Nombre:</b>	DEMULSIFICANTE PT 2601
<b>Apariencia:</b>	Líquido
<b>Olor:</b>	Aromática
<b>Color:</b>	Amarillo a Ámbar
<b>Solubilidad en el agua:</b>	NO
<b>Gravedad específica (Agua = 1):</b>	0.91 – 0.93 @ 25° C

---

<sup>15</sup> Shut Down.- Parada de planta.

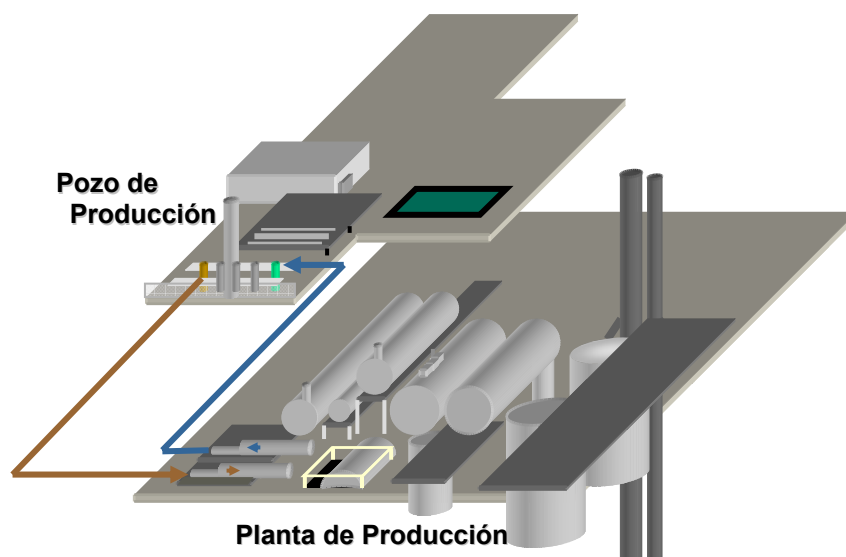


Se utiliza para ayudar en la separación del crudo con el agua. Este químico es inyectado en pozos con bajo corte de agua (Pozos que poseen en su composición un porcentaje menor al 60 % de agua). Generalmente esta sustancia es inyectada a la recirculación del cabezal, como se puede ver en la Figura 2.2:



Tubing a  
Recirculación

**Figura 2.3 Cabezal de Extracción de Crudo – Inyección del químico a la recirculación.**



**Figura 2.4 Ingreso del crudo a la planta de producción**

Luego de recibir el crudo que proviene de los pozos de producción (WellPads), en la planta de producción este pasa a una línea de fluido (Flowline) de diámetro NPS de 22" que dirige el fluido hacia los diferentes Free Water Knock out<sup>16</sup>.



Ingreso del crudo a la planta



Tubería Principal



Free Water Knock out

---

<sup>16</sup> Free Water Knock out.- Separadores trifásicos

En esta etapa los químicos usados son:

**Demulsificante de rápido efecto.**

Propiedades físicas y químicas

<b>Nombre:</b>	DEMULBREAK 100
<b>Apariencia:</b>	Líquido
<b>Olor:</b>	Alcohólico
<b>Color:</b>	Amarillo a Ámbar
<b>Solubilidad en el agua:</b>	NO
<b>Gravedad específica (Agua = 1):</b>	0.91 – 0.93 @ 25° C

Se utiliza para separar el crudo y el agua antes de su ingreso a los Free Water Knock out.

**Clarificador.**

Propiedades físicas y químicas

<b>Nombre:</b>	QUIMIFLOC A – 105*
<b>Apariencia:</b>	Líquido
<b>Olor:</b>	Ligero
<b>Color:</b>	Incoloro
<b>Solubilidad en el agua:</b>	
<b>pH. :</b>	3.0 – 5.0

Se utiliza para facilitar el agrupamiento de las moléculas de crudo; en si permite la formación de una nata de aceite sobre el agua para que este pueda ser retirado.

**Anti – espumante.**

Propiedades físicas y químicas

<b>Nombre:</b>	ANTIESPUMANTE MX 804
<b>Apariencia:</b>	Líquido
<b>Olor:</b>	Aromático
<b>Color:</b>	Amarillo claro
<b>Solubilidad en el agua:</b>	NO
<b>Gravedad específica (Agua = 1):</b>	0.84 – 0.86 @ 25° C

Se utiliza para liberar el gas del crudo.

Estos químicos son inyectados a la línea de fluido de diámetro NPS 22” como se ve en la Figura 2.5, y son bombeados hasta el ducto principal por medio de un sistema de bombeo como se ve en la Figura 2.6.



**Figura 2.5 Tubería principal crudo planta – Tubings para inyección de químicos**

Luego de cumplir con la separación de agua y crudo durante el proceso de producción, el agua de producción pasa a los tanques de almacenamiento, Figura 2.7, donde tiene un tiempo de residencia para luego ser transportado hacia los pozos inyectoros de agua.



**Figura 2.6 Sistema de bombeo para inyección de químicos en planta**

En el transcurso de esa etapa final, se inyectan químicos a la salida de los tanques de almacenamiento. En este lapso se administra inhibidor de corrosión para proteger las bombas booster Figura 2.8, y de alta presión, Figura 2.9 que envían el fluido a los diferentes pozos inyectores.



**Figura 2.7 Tanques de almacenamiento para agua de producción**



**Figura 2.8 Bomba Booster**



**Figura 2.9 Bombas de alta presión**

### **Biocida**

Propiedades físicas y químicas

<b>Nombre:</b>	BIOCIDA BAC 98
<b>Apariencia:</b>	Líquido
<b>Olor:</b>	Característico
<b>Color:</b>	Incoloro
<b>Solubilidad en el agua:</b>	Miscible con el agua
<b>Gravedad específica (Agua = 1):</b>	1.090 – 1.110 @ 25° C
<b>pH. :</b>	3.0 – 4.0

Se inyecta este químico cuando se realiza limpieza de las líneas tanto de crudo como de agua. Esta sustancia permite combatir las bacterias que se encuentran en los sedimentos que contiene la tubería en su interior. Estos depósitos son levantados por el Pig<sup>17</sup> limpiador durante su recorrido. Es por eso que se administra este químico detrás del Pig, para que pueda cumplir la función antes mencionada.

Todos los químicos utilizados en la planta y pozos de producción son almacenados en tanques como se ve en la Figura 2.11 y Figura 2.12 :

---

<sup>17</sup> FIG.- Se denomina chanchos por la forma y su velocidad de traslación dentro de las tuberías, existen de diferentes formas y funciones y se denominan: Poly pig, scrapers e inteligentes.



**Figura 2.10 Pig limpiador**



**Figura 2.11 Tanques de almacenamiento de químicos para pozos de producción**



**Figura 2.12 Tanques de almacenamiento de químicos para facilidades**

### **2.1.2 RELEVAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA EXISTENTES EN EL BLOQUE 16.**

El sistema de tuberías del Bloque 16 se encuentra protegido contra la corrosión externa mediante un sistema de protección catódica por corriente impresa<sup>18</sup>. Dentro de este sistema existen varios rectificadores de corriente, postes de prueba o control, para cada tramo de tubería.

Los datos que se ven a continuación fueron tomados recientemente (Julio 2006 y Septiembre 2006) con el objetivo de analizar el estado actual del sistema de protección catódica y comprenden:

- Estudio de los sistemas de protección catódica existentes en el Bloque 16.
- Medición de potenciales “ON” de las tuberías de transporte de fluido del Bloque 16. (Crudo, Agua de producción, Diesel).
- Rectificadores del Bloque 16 para líneas de transporte de fluidos.
- Estudio dieléctrico de las Juntas de aislamiento del Bloque 16.

---

<sup>18</sup> Ver Protección Catódica por corriente impresa en 3.2.4.2



## **ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA EXISTENTES EN EL BLOQUE 16.**

### **ESTUDIO DEL SISTEMA PC IRO**

Las locaciones de Iro son las más alejadas en la parte sur del Bloque 16. Comprende tres locaciones:

- 1) **Iro 1:** En esta localidad existen tres tramos cortos de líneas de flujo. Una línea de agua de 4". Una línea de crudo de 16" y otra línea de crudo de 16". La línea de 4" agua se interconecta a la línea de 12" de agua que va desde la "Y" del kilómetro 117 hasta Iro A. La línea de 10" de crudo se conecta a la línea antigua de 12" de crudo que va desde Iro A hasta la "Y" del kilómetro 117. Finalmente la línea de 16" de crudo se conecta a la línea nueva de 16" de crudo Iro A a SPF.
- 2) **Iro B:** Aquí existen 2 líneas. Una línea de 16" de crudo y una de 12" de agua. La línea de crudo se une a la línea nueva de 16" Iro A a SPF. La línea de agua se une a la línea antigua de 12" de agua que va desde la "Y" del kilómetro 117 hacia Iro A.
- 3) **Iro A:** Comprende 3 líneas. Una línea nueva de 16" de crudo. Una línea de 12" de agua y una de 12" de crudo. La línea nueva de 16" va desde Iro A hacia el SPF. Las líneas antiguas de 12" de agua y crudo van desde Iro A hasta la "Y" para conectarse con las tuberías principales de 18" (agua) y 20" (crudo) que van desde Ginta B hasta SPF. En la Figura 2. 13 se puede observar lo antes descrito.

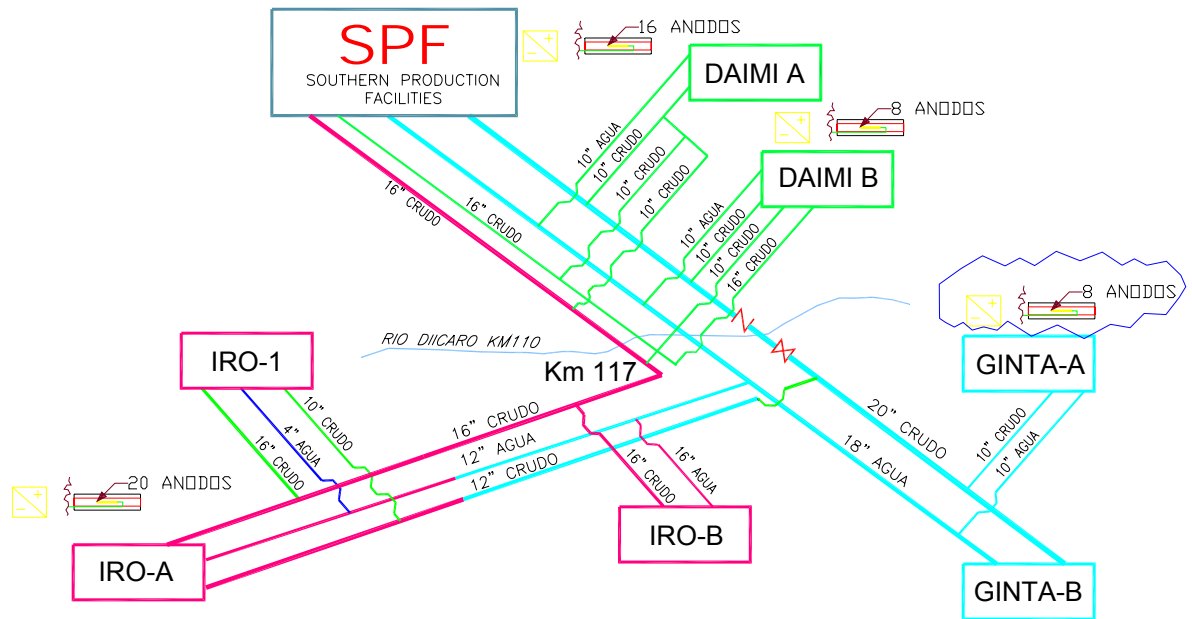


Figura 2.13 Sistemas de PC sector sur Bloque 16

Tabla 2.9 Líneas protegidas por el sistema de IRO

TRAMO	SERVICIO	DIAMETRO [in]	RECUBRIMIENTO EXTERNO	LONGITUD [Km]
IRO A – Km. 117	CRUDO	12	3LPP	6.10
IRO A – Km. 117	AGUA	12	3LPP	6.10
IRO A - SPF	CRUDO	16	3LPP	14.30
IRO 1	CRUDO	10	3LPP	0.04
IRO 1	AGUA	4	3LPP	0.04
IRO 1	CRUDO	16	3LPP	0.04
IRO B	CRUDO	16	3LPP	0.12
IRO B	AGUA	12	3LPP	0.12

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2006

Tabla 2.10 Datos actuales de potenciales en tuberías sistema IRO

UBICACIÓN MEDICIÓN	POTENCIAL NATURAL vs. CSE <sup>19</sup> (- mV)	POTENCIALES		JA <sup>20</sup> RF-IT (%)	JA POTENCIALES CSE (- mV)	
		“ON” vs. CSE (- mV)	“OFF” vs. CSE (- mV)		LADO PC	SIN PC
IRO A	545	980	796	15	968	776
IRO A	540	1064	780	20	1067	768
IRO B		1180		65	1180	759

<sup>19</sup> CSE.- Media celda de referencia Cobre- Sulfato de cobre

<sup>20</sup> JA.- Junta de aislamiento dieléctrico

IRO B		819		30	819	761
IRO 1		946		100	946	798
IRO 1		1260		70	1260	796
IRO 1		844		30	844	771

Fuente: Datos tomados visita septiembre 2006

En la plataforma de Iro A se instaló un SPC<sup>21</sup> para la nueva línea de 16" de crudo. Este sistema comprende:

- 1) Rectificador enfriado por aceite
- 2) Una caja de conexiones con tres reóstatos. Tipo Nema 4X<sup>22</sup>.
- 3) Una cama de 20 ánodos de Ti-MMO.
- 4) 15 postes de prueba para monitoreo a lo largo del DDV<sup>23</sup>.

El rectificador X-2950-TR de este SPC está conectado a:

- 1) Línea nueva de crudo de 16" Iro A a SPF
- 2) Línea antigua de 12" de agua "Y" kilómetro 117 hasta Iro A.
- 3) Línea antigua de 12" de crudo Iro A a "Y" de kilómetro 117.

En la anterior tabla se detallan los datos medidos en campo de los potenciales de las líneas que son afectadas por es SPC.

## ESTUDIO DEL SISTEMA PC GINTA

La plataforma existente en este sistema es Ginta B. Aquí existen dos líneas de flujo de de 13 kilómetros de longitud aproximadamente. La primera línea de 18" de agua. La otra línea es de 20" de crudo. La línea de agua va desde el SPF, pasando por la "Y" del kilómetro 117 hacia la plataforma Ginta B. La línea de crudo va desde el SPF pasando por la "Y" del kilómetro 117 hasta Ginta B. En la figura 2.13 expuesta anteriormente se puede observar un detalle de este sistema.

**Tabla 2.11 Líneas protegidas por el sistema de GINTA**

TRAMO	SERVICIO	DIAMETRO [in]	RECUBRIMIENTO EXTERNO	LONGITUD [Km]
GINTA B- SPF	CRUDO	20	3LPP	13.1
GINTA B- SPF	AGUA	18	3LPP	13.1
GINTA A	CRUDO	10	3LPP	0.2
GINTA A	AGUA	10	3LPP	0.2

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2006

<sup>21</sup> SPC.- Sistema de protección catódica.

<sup>22</sup> NEMA.- National Electrical Manufacturers Association

<sup>23</sup> DDV.- Derecho de vía

El SPC existente que protege estas líneas esta compuesto por:

El rectificador **X-2054-TR** de este SPC está conectado a:

**Tabla 2.12 Datos actuales de potenciales en tuberías sistema GINTA**

UBICACIÓN MEDICIÓN	POTENCIAL NATURAL vs. CSE (- mV)	POTENCIALES		JA RF-IT (%)	JA POTENCIALES CSE (- mV)	
		“ON” vs. CSE (- mV)	“OFF” vs. CSE (-mV)		LADO PC	SIN PC
		SPF	512			
SPF	581	1 326		45	1 323	950
GINTA A	626	608		SIN J. A.	SIN J. A.	SIN J. A.
GINTA A	595	615		SIN J. A.	SIN J. A.	SIN J. A.
GINTA B	582	696		30	722	691
GINTA B	531	733		25	718	682

Fuente: Datos tomados visita septiembre 2006

## ESTUDIO DEL SISTEMA PC DAIMI

A continuación un detalle de las plataformas existentes para este sistema:

- 1) **Daimi A:** A esta locación llegan 2 líneas de flujo. La primera de 10” de diámetro de agua. La segunda línea de 10” de crudo. La línea de agua se conecta a la línea principal de 18” que va desde SPF hacia Ginta B. La línea de 10” de crudo se une a la línea principal de crudo que va desde Ginta B hacia el SPF. Esta línea se interconecta adicionalmente, por medio de tramos de tubería de 10”, con la línea nueva de 16” Iro A a SPF y además a la línea nueva de 16” Daimi B a SPF.
- 2) **Daimi B:** En esta plataforma existen cuatro líneas. Tres líneas de crudo y una línea de agua. La línea de agua es de 10” y se une a la línea principal de agua de 18” SPF a Ginta B. De las tres líneas de crudo, dos son de 10”. La primera se conecta a la línea principal de crudo de 20” Ginta B a SPF, la otra línea de 10” se conecta a la línea nueva de 16” Iro A a SPF. La tercera línea de crudo es nueva, su diámetro es 16” y la longitud aproximada de 4800 metros. Esta línea va desde esta locación hasta el SPF. En la figura 2.13 expuesta anteriormente se puede observar un detalle de este sistema.

**Tabla 2.13 Líneas protegidas por el sistema de DAIMI**

TRAMO	SERVICIO	DIAMETRO [in]	RECUBRIMIENTO EXTERNO	LONGITUD [Km]
DAIMI B	CRUDO	10	3LPP	0.6
DAIMI B	AGUA	10	3LPP	0.3
DAIMI B - SPF	CRUDO	16	3LPP	4.8
DAIMI A	CRUDO	10	3LPP	1.0
DAIMI A	AGUA	10	3LPP	0,3

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2006

El SPC existente para este grupo de líneas se compone por:

1. Rectificador enfriado por aceite
2. Una caja de conexiones con un reóstato. Tipo Nema 3R.
3. Una cama de 6 ánodos de Ti-MMO.
4. 8 Postes de prueba.

**Tabla 2.14 Datos actuales de potenciales en tuberías sistema DAIMI**

UBICACIÓN MEDICIÓN	POTENCIAL NATURAL vs. CSE (- mV)	POTENCIALES		JA RF-IT (%)	JA POTENCIALES CSE (- mV)	
		"ON" vs. CSE (- mV)	"OFF" vs. CSE (-mV)		LADO PC	SIN PC
DAIMI B		810		0	810	647
DAIMI B		853		20	853	654
DAIMI B		1040		40	1040	655
DAIMI A		727		SIN J.A	727	727
DAIMI A		1031		55	1031	749
SPF	559	1036		90	1036	933

Fuente: Datos tomados visita septiembre 2006

El rectificador **X-2953-TR** de este sistema se encuentra conectado a:

1. Línea de crudo de 16" Daimi B a SPF.
2. Ramal de línea de crudo de 10" que se interconecta a línea nueva de crudo de 16" Iro A a SPF.
3. Ramal de línea de crudo de 10" que se une a línea principal de crudo de 20" Ginta B a SPF.

4. Ramal de línea de agua de 10" que se conecta a línea principal de agua de 18" SPF a Ginta B.
5. Ramales de 10" de crudo que salen de Daimi A y se conectan a: línea nueva de crudo de 16" Iro A a SPF, línea nueva de crudo de 16" Daimi B a SPF, línea principal de crudo de 20" Ginta B a SPF.
6. Ramal de 10" de agua que sale de Daimi A y se conecta a línea principal de agua SPF a Ginta B.

## **ESTUDIO DEL SISTEMA PC AMO**

A continuación un detalle de las plataformas existentes para este sistema:

- 1) **Amo A:** En esta plataforma existen 4 líneas. La primera es de crudo de 20" de diámetro. La segunda línea es agua de 18". Existen dos ramales adicionales uno de 10" agua y uno de 4" de crudo. La línea principal de crudo de 20" tiene una longitud aproximada de 13.5 Km. y va desde esta plataforma hasta el SPF. La línea de 18" de crudo es de 13.5 Km. de longitud y va desde el SPF hasta esta localidad. El ramal de 10" de agua va hasta Amo 1 al igual que el ramal de 4" de crudo.
- 2) **Amo C:** Aquí existen dos ramales de 10". El primero es de agua y se une a la línea principal de 18" SPF a Amo A. El otro ramal es de crudo y se conecta a la línea principal de 20" Amo A a SPF.
- 3) **Amo B:** Existen al igual que en Amo C dos ramales de 10" de diámetro, el primero es de crudo y se conecta a línea principal de 20" Amo A a SPF. El otro ramal se une a la línea de 18" SPF a Amo A.
- 4) **WIP S1:** Esta es una localidad que se utiliza únicamente para la re inyección de agua de producción. Aquí existen 2 líneas de agua una de 24" y una de 16". La línea de 16" se une a la línea principal de 18" SPF a Amo A. La línea de 24" se une a la de 18" y desde este punto se incrementa el diámetro de esta línea a 24", es decir, el tramo de SPF hasta el WIP es de 24" y desde el WIP S1 hasta Amo A es de 18".
- 5) **Amo 1:** Los ramales de esta plataforma ya se especificaron en Amo A. Repsol YPF realizó los estudios de DCVG en algunas de las líneas de este sistema, para evaluar el estado de su revestimiento. En la tabla 15 se muestra los resultados de estos estudios.

**Tabla 2.15 Líneas protegidas por el sistema de AMO**

TRAMO	SERVICIO	DIAMETRO [in]	RECUBRIMIENTO EXTERNO	LONGITUD [Km]
AMO A – SPF	CRUDO	20	3LPP	13.5
AMO A – SPF	AGUA	18	3LPP	13.5
AMO C	CRUDO	10	3LPP	0.6
AMO C	AGUA	10	3LPP	0.6
AMO B	CRUDO	10	3LPP	0.5
AMO B	AGUA	10	3LPP	0.5
SPF - WIP	AGUA	16	3LPP	0.5
SPF - WIP	AGUA	24	3LPP	0.5

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2006

El SPC de este grupo de localidades es el mismo que el del sistema Ginta, por lo tanto se tiene:

- 1) Rectificador X-2054.
- 2) Una caja de conexiones con tres reóstatos. Tipo Nema 3R.
- 3) Una cama de 16 ánodos de grafito.
- 4) 9 Postes de prueba.

**Tabla 2.16 Datos actuales de potenciales en tuberías sistema AMO**

UBICACIÓN MEDICIÓN	POTENCIAL NATURAL vs. CSE (- mV)	POTENCIALES		JA RF-IT (%)	JA POTENCIALES CSE (- mV)	
		“ON” vs. CSE (- mV)	“OFF” vs. CSE (-mV)		LADO PC	SIN PC
		SPF	563			
SPF	647	1 328		0	1 343	881
AMO A	579	713		0	713	651
AMO A	532	734		0	734	672
AMO A	485	730		0	730	666
AMO A	539	775				
AMO A						
AMO B		349		40	349	328
AMO B		748		40	748	673
AMO C						
AMO C		789		SIN JA		
WIP		641		0.0	641	634
WIP		392		0.0	392	278
SPF	348	1 038		SIN JA		

Fuente: Datos tomados visita septiembre 2006

## ESTUDIO DEL SISTEMA PC OLEODUCTOS PRINCIPALES

Existen los siguiente oleoductos principales que van desde el SPF hacia el NPF.

1. Oleoducto de crudo de 16". Este oleoducto va desde el SPF hasta el NPF, su longitud aproximada es de 67.3 km.
2. Línea de Diesel 4". Esta tubería va del NPF al NPF y su longitud aproximada es de 67.3 km.

**Tabla 2.17 Líneas protegidas por el sistema de los oleoductos principales**

TRAMO	SERVICIO	DIAMETRO [in]	RECUBRIMIENTO EXTERNO	LONGITUD [Km]
SPF – NPF	CRUDO	16	FBE	67.3
SPF - NPF	DIESEL	4	FBE	67.3

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2006

Este sistema se divide en dos partes, la sur que se controla desde el SPF con el rectificador X-2054 y la parte norte que se controla con el rectificador X-1053. A continuación las especificaciones del SPC que está en el NPF.

1. Rectificador X-1053-TR.
2. 1 caja de conexiones con dos reóstatos. Tipo Nema 3R.
3. Una cama de 16 ánodos de grafito
4. 35 postes de prueba.

**Tabla 2.18 Datos actuales de potenciales en tuberías sistema de los oleoductos principales**

UBICACIÓN MEDICIÓN	POTENCIAL NATURAL vs. CSE (- mV)	POTENCIALES		JA RF-IT (%)	JA POTENCIALES CSE (- mV)	
		"ON" vs. CSE (- mV)	"OFF" vs. CSE (-mV)		LADO PC	SIN PC
SPF	514	1458		100	1458	975
NPF	430	1480		100	1480	851
NPF	484	2165		80	2165	847

Fuente: Datos tomados visita septiembre 2006

## ESTUDIO DEL SISTEMA DE PC CAPIRÓN

Este sistema está compuesto por las siguientes localidades:

1. **Capirón:** En esta localidad existen cinco líneas. Una línea de agua de 14" y una de crudo de 16". La línea de agua va desde el NPF hasta Capirón. La



línea de crudo va desde Capirón hasta el NPF. La longitud aproximada de ambas líneas es de 8.3 km. Las tres líneas adicionales se mostrarán en la localidad de Bogi.

2. **Bogi:** Aquí existen tres líneas. Dos de agua, una de 12” y una de 10” y una línea de crudo de 12”. Las líneas de agua van desde Capirón hasta esta localidad con una longitud de 7.5 km. La línea de crudo va desde esta plataforma hasta Capirón.

**Tabla 2.19 Líneas protegidas por el sistema CAPIRÓN**

<b>TRAMO</b>	<b>SERVICIO</b>	<b>DIAMETRO [in]</b>	<b>RECUBRIMIENTO EXTERNO</b>	<b>LONGITUD [Km]</b>
Capirón – NPF	CRUDO	16	3LPP	8.3
NPF - Capirón	AGUA	14	3LPP	8.3
Bogi - Capirón	CRUDO	12	3LPP	7.5
Capirón – Bogi	AGUA	12	3LPP	7.5
Capirón - Bogi	AGUA	10	3LPP	7.5

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2006

Este sistema trabaja con dos rectificadores. El X-1053-TR que se ubica en el NPF y el X-1952-TR que se encuentra en Capirón. A continuación los datos de este sistema:

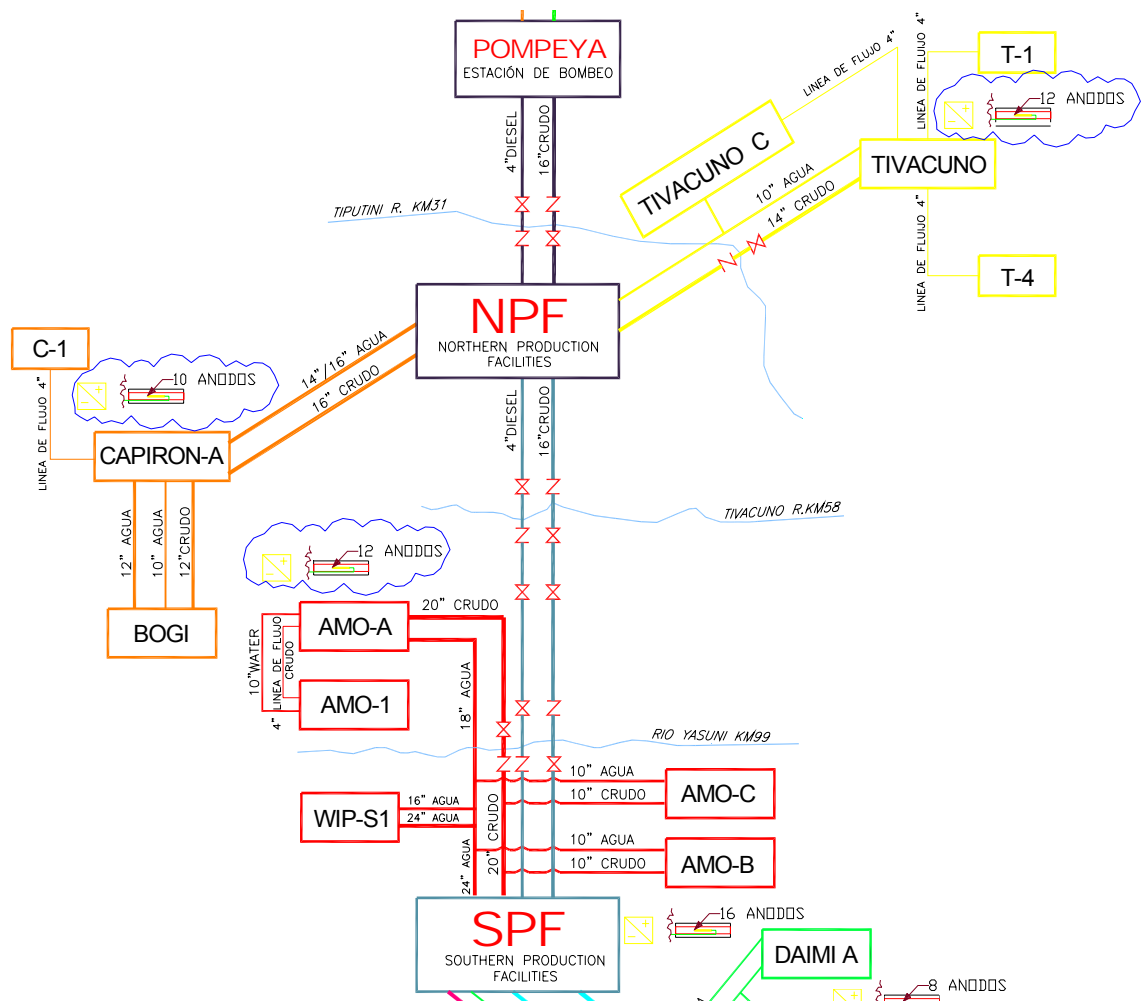


Figura 2.14 Sistemas de PC sector norte Bloque 16

Tabla 2.20 Datos actuales de potenciales en tuberías sistema de Capirón

UBICACIÓN MEDICIÓN	POTENCIAL NATURAL vs. CSE (- mV)	POTENCIALES		JA RF-IT (%)	JA POTENCIALES CSE (- mV)	
		"ON" vs. CSE (- mV)	"OFF" vs. CSE (-mV)		LADO PC	SIN PC
NPF	518	1 338		100	1 338	730
NPF	517	1 297		15	1 297	832
CAPIRÓN	445	1 220		5	1 220	743
CAPIRÓN	445	1 215		15	1 215	710
CAPIRÓN		776		SIN JA		
CAPIRÓN		782		SIN JA	782	773
CAPIRÓN		1 300		25	1 300	770
BOGI		1 046		0	1046	727
BOGI		707		0	707	701
BOGI		667		SIN JA		

Fuente: Datos tomados visita septiembre 2006

## ESTUDIO DEL PC DE SISTEMA TIVACUNO

Este sistema está formado por la plataforma Tivacuno. Aquí existen dos líneas. Una línea de agua de 10" y una línea de crudo de 14". La longitud aproximada de ambas líneas es de 13.1 km. La línea de agua va desde el NPF hasta esta locación y la de crudo desde aquí hacia el NPF.

**Tabla 2.21 Líneas protegidas por el sistema TIVACUNO**

TRAMO	SERVICIO	DIAMETRO [in]	RECUBRIMIENTO EXTERNO	LONGITUD [Km]
Tivacuno – NPF	CRUDO	14	3LPP	13.1
NPF - Tivacuno	AGUA	10	3LPP	13.1

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2006

Este sistema trabaja con el rectificador X-1053.

**Tabla 2.22 Datos actuales de potenciales en tuberías sistema TIVACUNO**

UBICACIÓN MEDICIÓN	POTENCIAL NATURAL vs. CSE (- mV)	POTENCIALES		JA RF-IT (%)	JA POTENCIALES CSE (- mV)	
		“ON” vs. CSE (- mV)	“OFF” vs. CSE (-mV)		LADO PC	SIN PC
NPF	507	1 484		40	1 484	846
NPF	488	1 490		100	1 490	838
TIVACUNO	474	1 134		40	1 134	766
TIVACUNO	489	1 171		100	1 171	755

Fuente: Datos tomados visita septiembre 2006

## ESTUDIO DEL SISTEMA PC NPF-POMPEYA

En este sistema se incluyen dos líneas:

- 1) **Oleoducto de crudo de 16"**. Este oleoducto va desde el SPF hasta el NPF, su longitud aproximada es de 42.6 km.
- 2) **Línea de Diesel 4"**. Esta tubería va del NPF al NPF y su longitud aproximada es de 42.6 km.

**Tabla 2.23 Líneas protegidas por el sistema NPF - POMPEYA**

TRAMO	SERVICIO	DIAMETRO [in]	RECUBRIMIENTO EXTERNO	LONGITUD [Km]
NPF - POMPEYA	CRUDO	16	FBE	42.6
NPF – POMPEYA	DIESEL	4	FBE	42.6

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2006

Este sistema trabaja con el rectificador X-1053 ubicado en el NPF.

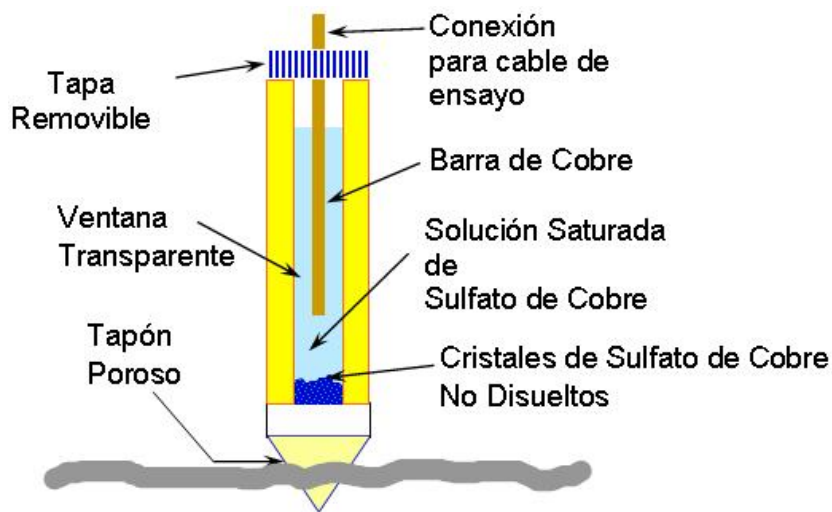
**Tabla 2.24 Datos actuales de potenciales en tuberías sistema NPF - POMPEYA**

UBICACIÓN MEDICIÓN	POTENCIAL NATURAL vs. CSE (- mV)	POTENCIALES		JA RF-IT (%)	JA POTENCIALES CSE (- mV)	
		"ON" vs. CSE (- mV)	"OFF" vs. CSE (-mV)		LADO PC	SIN PC
NPF	484	2 165		100	2 165	847
PPY	549	1 029		100	1 029	255
PPY	480	980		100	980	158

Fuente: Datos tomados visita septiembre 2006

### MEDICIÓN DE POTENCIALES "ON" DE LAS TUBERÍAS DE TRANSPORTE DE FLUIDO DEL BLOQUE 16.

Esta medición se la realiza trimestralmente en conjunto con la DNH<sup>24</sup>. Dentro de esta actividad se utilizan herramientas que facilitan las mediciones: un multímetro y un electrodo de Cobre/ Sulfato de Cobre.



**Figura 2.15 Electrodo de cobre sulfato de cobre**

DNH.- Dirección Nacional de Hidrocarburos



**Figura 2.16 Electrodo de Cobre/Sulfato de cobre y Multímetro**



**Figura 2.17 Medición de potencial en postes de prueba (1)**

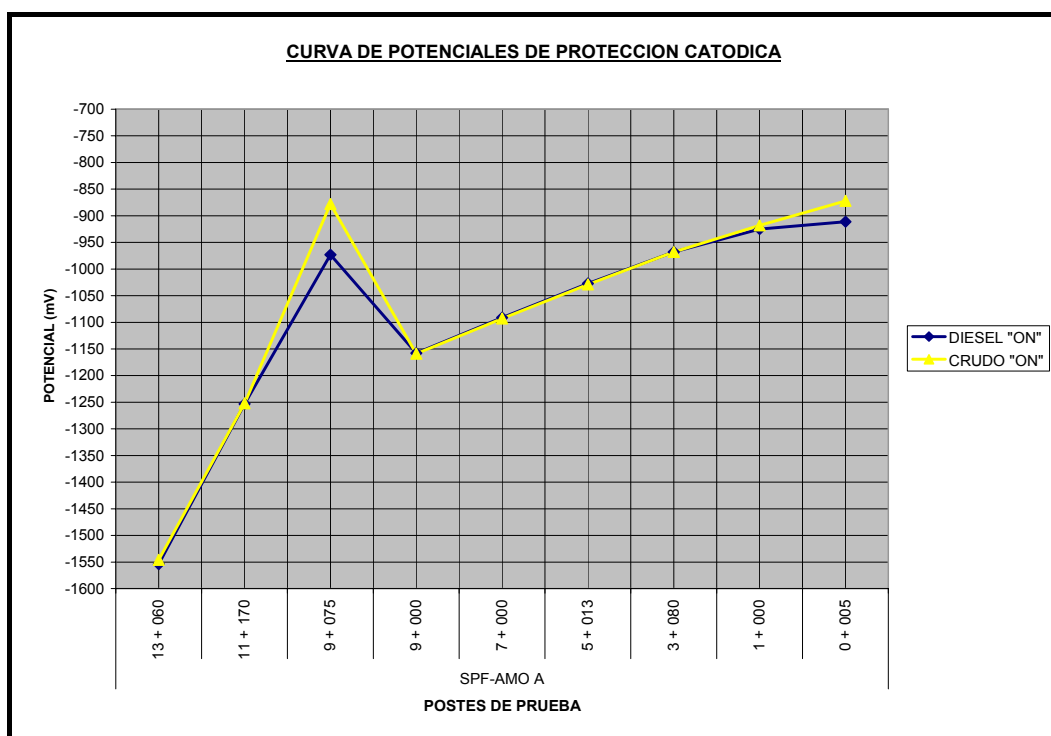
1. Tramo SPF – Amo A

Comprende dos tuberías de transporte de fluido una de Diesel y otra de crudo.

**Tabla 2.25 Potenciales “ON” tramo SPF – Amo A**

Loc	Poste de Prueba:	1.DIESEL	2.CRUDO
		Potencial (mV)	Potencial (mV)
SPF-AMO A	13 + 060	-1554	-1546
	11 + 170	-1253	-1252
	9 + 075	-973	-878
	9 + 000	-1158	-1159
	7 + 000	-1091	-1093
	5 + 013	-1027	-1029
	3 + 080	-968	-968
	1 + 000	-925	-918
	0 + 005	-911	-872

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005



**Figura 2.18 Curva de potenciales SPF – Amo A**

2. Tramo Amo A – NPF

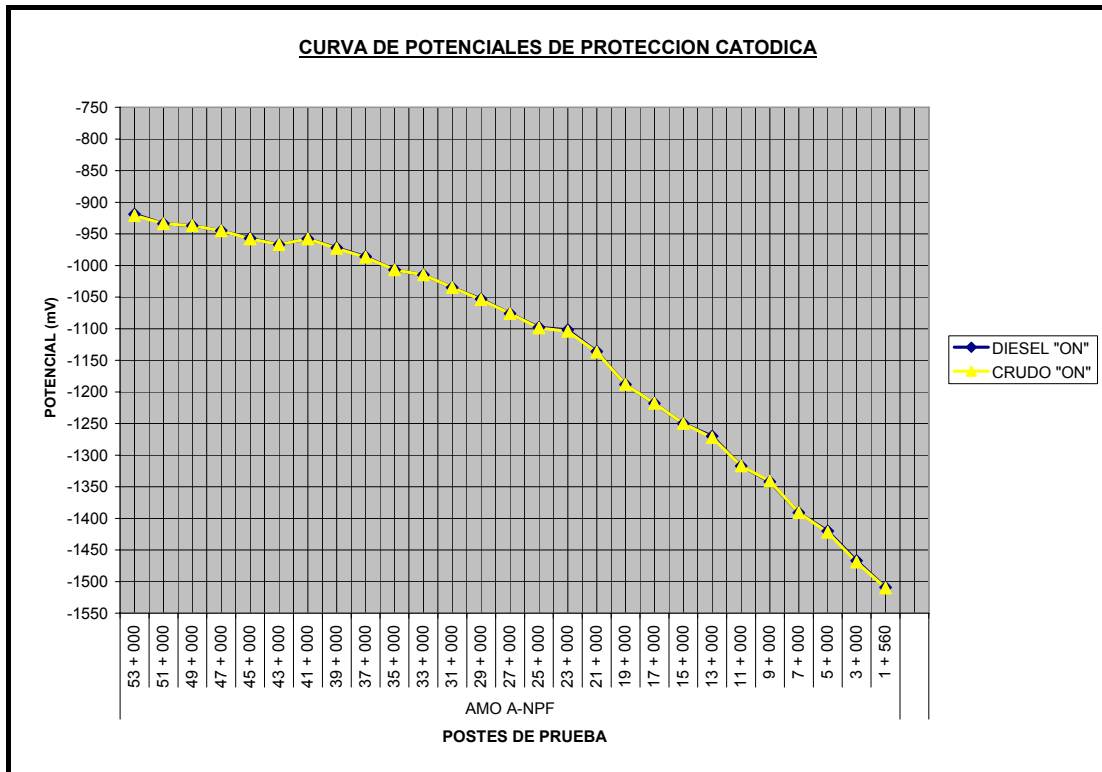
Comprende dos tuberías de transporte de fluido una de diesel y otra de crudo.

**Tabla 2.26 Potenciales "ON" tramo Amo A - NPF**

Loc.	Poste de Prueba:	1.DIESEL	2.CRUDO
		Potencial (mV)	Potencial (mV)
AMO A-NPF	53 + 000	-919	-921
	51 + 000	-934	-934
	49 + 000	-937	-937
	47 + 000	-945	-945
	45 + 000	-957	-958
	43 + 000	-967	-967
	41 + 000	-958	-958
	39 + 000	-972	-973
	37 + 000	-986	-987
	35 + 000	-1007	-1007
	33 + 000	-1015	-1015
	31 + 000	-1035	-1035
	29 + 000	-1053	-1054
	27 + 000	-1076	-1076
	25 + 000	-1098	-1099
	23 + 000	-1102	-1104
	21 + 000	-1136	-1137
19 + 000	-1188	-1188	
17 + 000	-1218	-1218	

	15 + 000	-1250	-1250
	13 + 000	-1270	-1272
	11 + 000	-1317	-1317
	9 + 000	-1342	-1341
	7 + 000	-1391	-1391
	5 + 000	-1420	-1422
	3 + 000	-1467	-1469
	1 + 560	-1509	-1510

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005



**Figura 2.19 Curva de potenciales Amo A – NPF**

### 3. Tramo NPF - Pompeya

Comprende dos tuberías de transporte de fluido una de diesel y otra de crudo.

**Tabla 2.27 Potenciales "ON" tramo NPF - Pompeya**

Loc	Poste de Prueba:	1.DIESEL	2.CRUDO
		Potencial (mV)	Potencial (mV)
NPF-PPY	77 + 000	-2414	-2449
	75 + 000	-2137	-2036
	73 + 000	-1991	-2000
	71 + 000	-1882	-1886
	69 + 015	-1763	-1764
	67 + 000	-1665	-1665
	65 + 040	-1583	-1583
	63 + 000	-1506	-1506

	61 + 000	-1455	-1455
	59 + 004	-1372	-1372
	57 + 000	-1326	-1327
	55 + 000	-1278	-1279
	53 + 000	-1242	-1243
	51 + 000	-1178	-1183
	49 + 015	-1169	-1172
	47 + 040	-1149	-1153
	44 + 950	-1147	-1149
	42 + 960	-1133	-1333
	41 + 030	-1164	-990
	38 + 700	-1163	-1163
	37 + 000	-1160	-1160

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

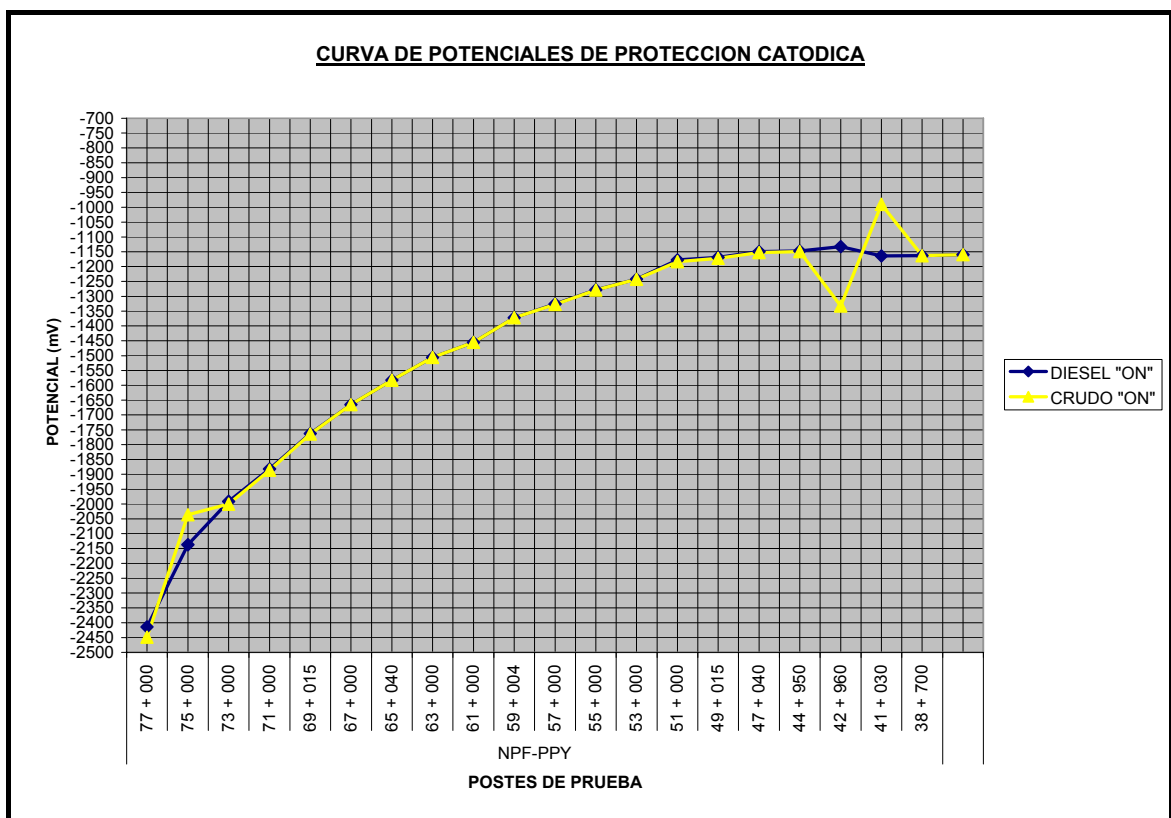


Figura 2.20 Curva de potenciales NPF – Pompeya



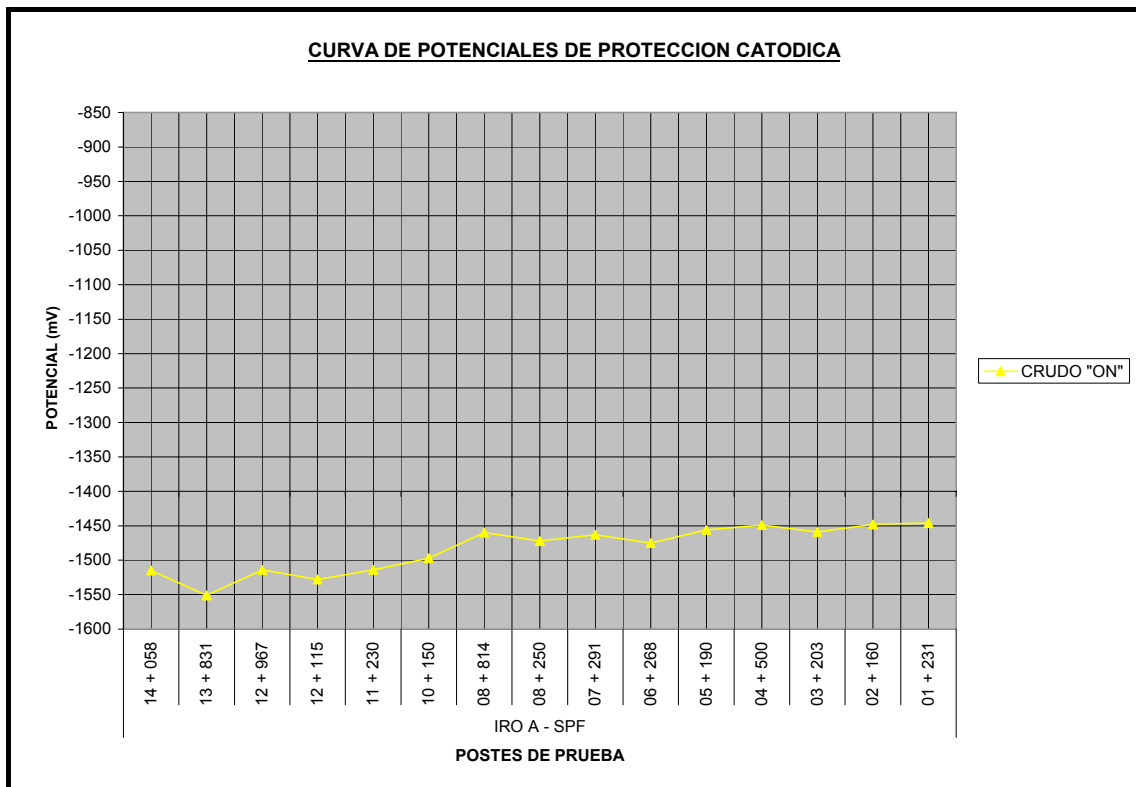
#### 4. Tramo Iro A - SPF

Comprende una tubería de transporte de fluido.

**Tabla 2.28 Potenciales "ON" tramo Iro A - SPF**

Loc	Poste de Prueba:	FLUIDO
		Potencial (mV)
IRO A - SPF	14 + 058	-1515
	13 + 831	-1551
	12 + 967	-1514
	12 + 115	-1528
	11 + 230	-1514
	10 + 150	-1497
	08 + 814	-1460
	08 + 250	-1472
	07 + 291	-1463
	06 + 268	-1475
	05 + 190	-1456
	04 + 500	-1449
	03 + 203	-1459
	02 + 160	-1448
01 + 231	-1446	

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005



**Figura 2.21 Curva de potenciales Iro A-SPF**

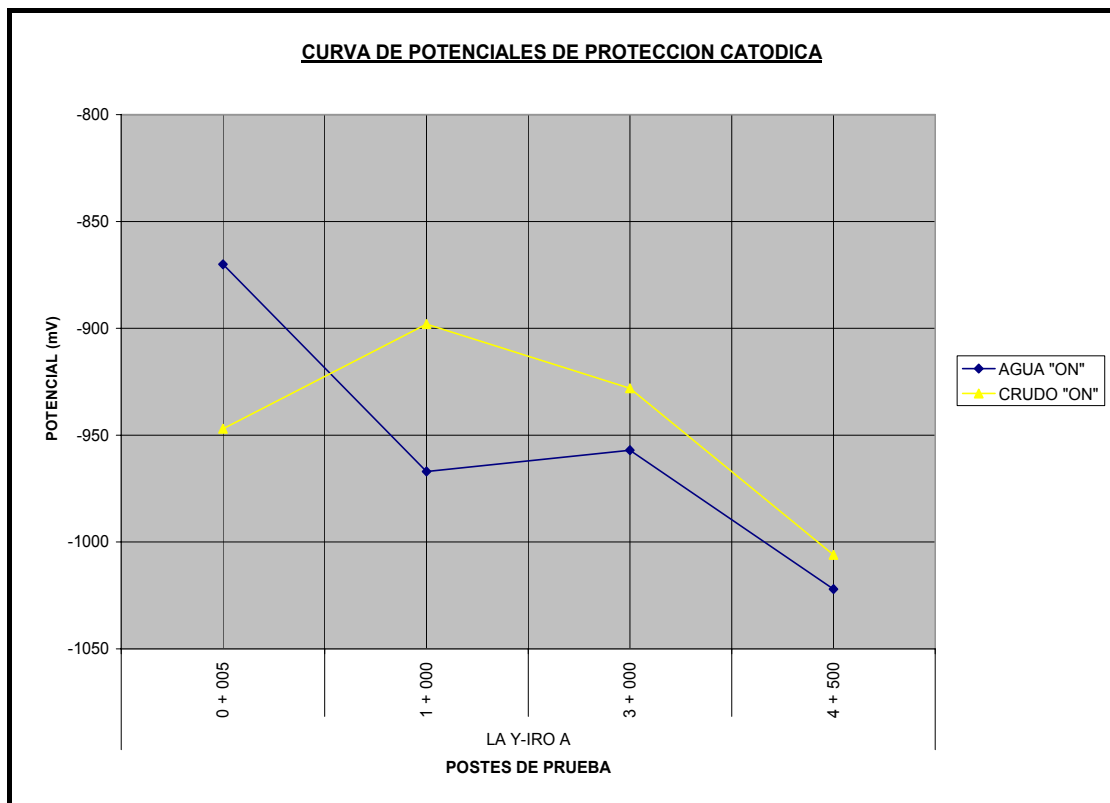
5. Tramo La Y – Iro A

Comprende dos tuberías de transporte de fluido una de agua y otra de crudo.

**Tabla 2.29 Potenciales “ON” tramo La Y – Iro A**

Loc	Poste de Prueba:	AGUA	CRUDO
		Potencial (mV)	Potencial (mV)
LA Y-IRO A	0 + 005	-870	-947
	1 + 000	-967	-898
	3 + 000	-957	-928
	4 + 500	-1022	-1006

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005



**Figura 2.22 Curva de potenciales La Y - Iro A**

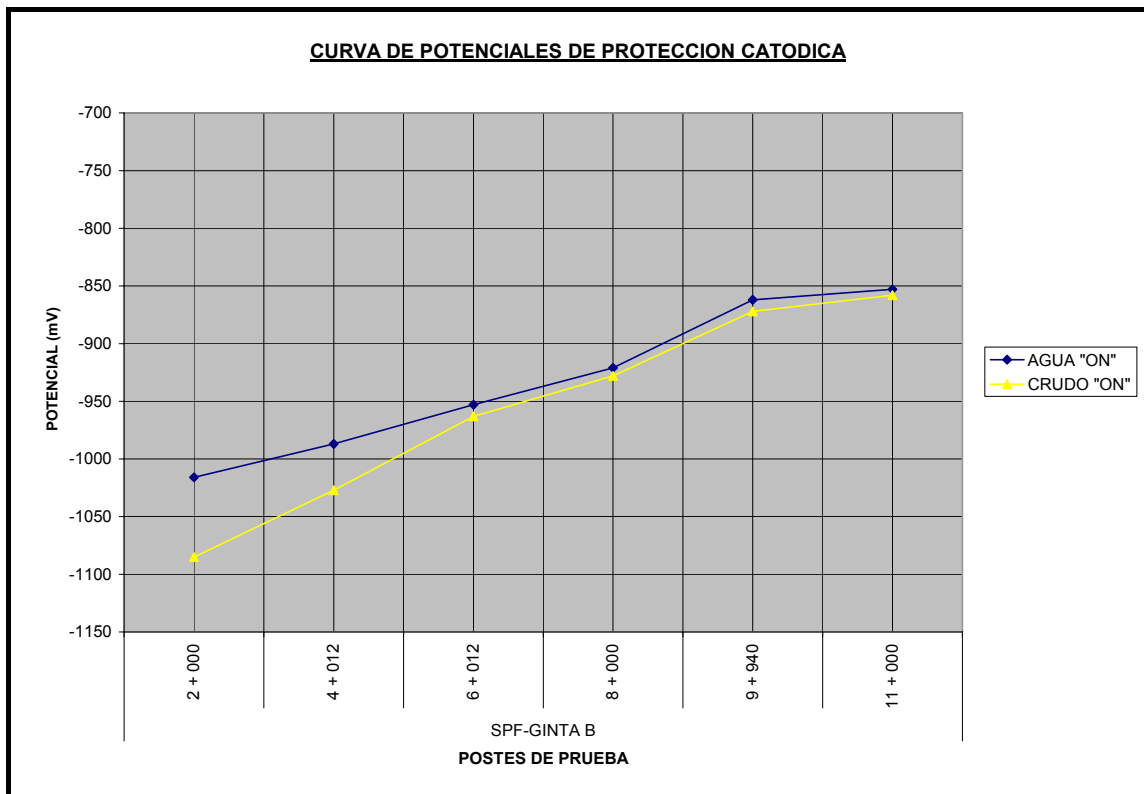
6. Tramo SPF – Ginta B

Comprende dos tuberías de transporte de fluido una de agua y otra de crudo.

**Tabla 2.30 Potenciales “ON” tramo SPF – Ginta B**

Loc	Poste de Prueba:	AGUA	CRUDO
		Potencial (mV)	Potencial (mV)
		ON	ON
SPF-GINTA B	2 + 000	-1016	-1085
	4 + 012	-987	-1027
	6 + 012	-953	-963
	8 + 000	-921	-928
	9 + 940	-862	-872
	11 + 000	-853	-858

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005



**Figura 2.23 Curva de potenciales SPF – Ginta B**

7. Tramo Daimi B - SPF

Comprende una tubería de transporte de crudo.

**Tabla 2.31 Potenciales "ON" tramo Daimi B - SPF**

Loc	Poste de Prueba:	CRUDO
		Potencial (mV)
		ON
DAIMI B - SPF	4 + 062	-1472
	3 + 479	-1414
	2 + 868	-1414
	2 + 807	-1436
	2 + 062	-1444
	0 + 991	-1448
	0 + 249	-1416
	0 + 014	-1391

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005



**Figura 2.24 Curva de potenciales Daimi B – SPF**

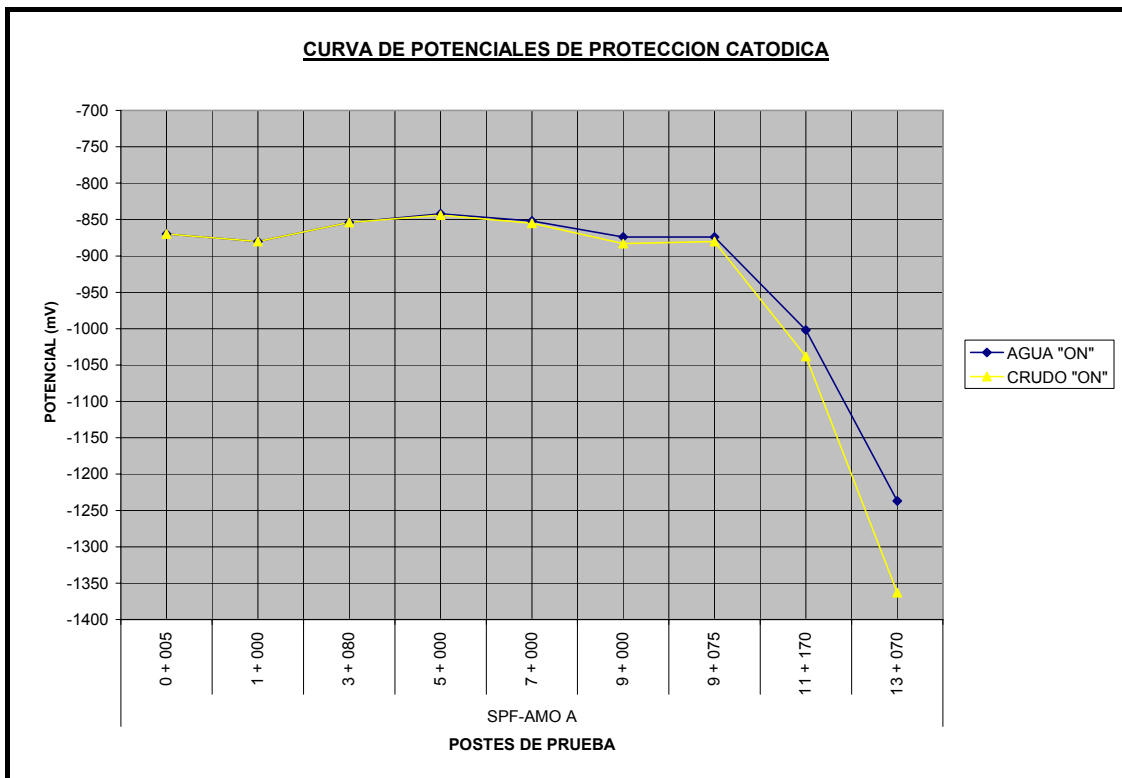
8. Tramo SPF – Amo A

Comprende dos tuberías de transporte de fluido una de agua y otra de crudo.

**Tabla 2.32 Potenciales “ON” tramo SPF –Amo A**

Loc	Poste de Prueba:	AGUA	CRUDO
		Potencial (mV)	Potencial (mV)
		ON	ON
SPF-AMO A	0 + 005	-870	-870
	1 + 000	-880	-880
	3 + 080	-854	-854
	5 + 000	-842	-844
	7 + 000	-852	-855
	9 + 000	-874	-883
	9 + 075	-874	-880
	11 + 170	-1002	-1038
	13 + 070	-1237	-1363

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005



**Figura 2.25 Curva de potenciales SPF – Amo A**

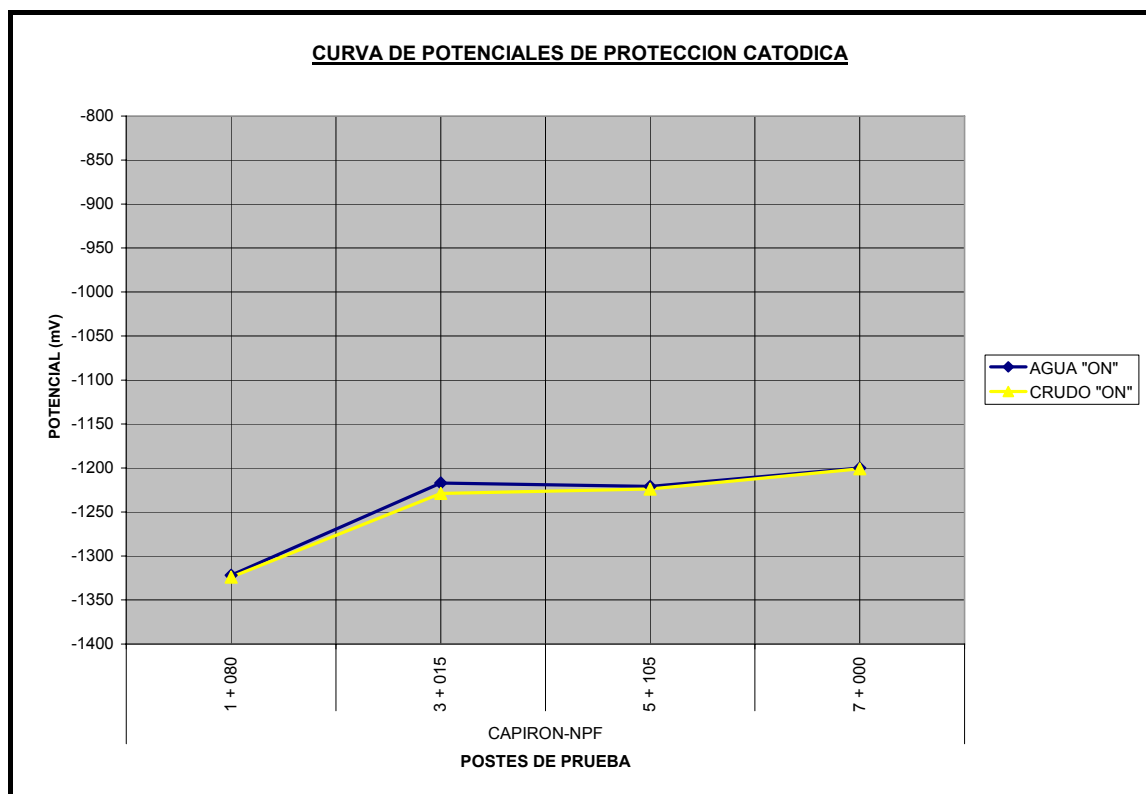
## 9. Tramo Capirón - NPF

Comprende dos tuberías de transporte de fluido una de agua y otra de crudo.

**Tabla 2.33 Potenciales "ON" tramo Capirón - NPF**

Loc	Poste de Prueba:	AGUA	CRUDO
		Potencial (mV)	Potencial (mV)
		ON	ON
CAPIRON- NPF	1 + 080	-1322	-1324
	3 + 015	-1217	-1229
	5 + 105	-1221	-1224
	7 + 000	-1200	-1201

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005



**Figura 2.26 Curva de potenciales Capirón – NPF**

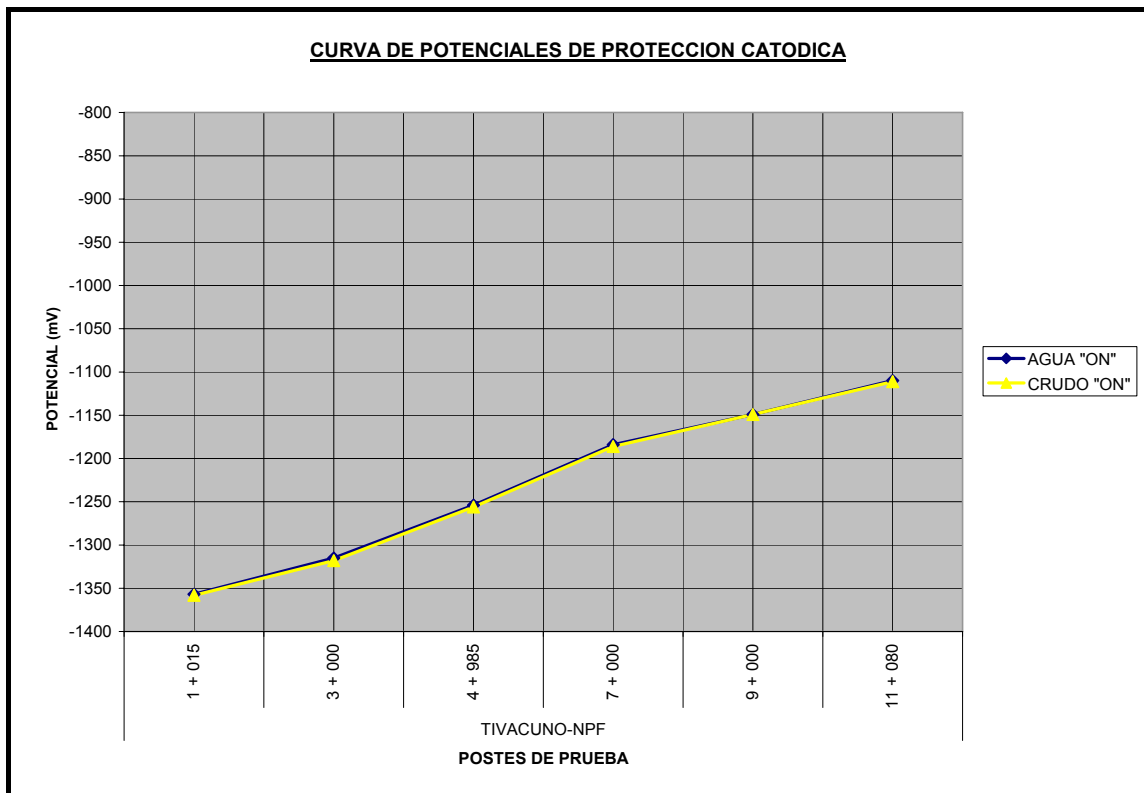
10. Tramo Tivacuno - NPF

Comprende dos tuberías de transporte de fluido una de agua y otra de crudo.

**Tabla 2.34 Potenciales "ON" tramo Capirón - NPF**

Loc	Poste de Prueba:	AGUA	CRUDO
		Potencial (mV)	Potencial (mV)
		ON	ON
TIVACUNO-NPF	1 + 015	-1357	-1358
	3 + 000	-1315	-1318
	4 + 985	-1254	-1256
	7 + 000	-1184	-1186
	9 + 000	-1149	-1149
	11 + 080	-1110	-1111

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005



**Figura 2.27 Curva de potenciales Capirón - NPF**

El resumen de datos y conclusiones acerca de todos los sistemas de protección catódica existente en el Bloque 16 se pueden ver en el Capítulo 4, Datos de campo obtenidos durante las visitas realizadas.

## RECTIFICADORES DEL BLOQUE 16 PARA LÍNEAS DE TRANSPORTE DE FLUIDO



Figura 2.28 Exterior de un rectificador y caja de conexiones

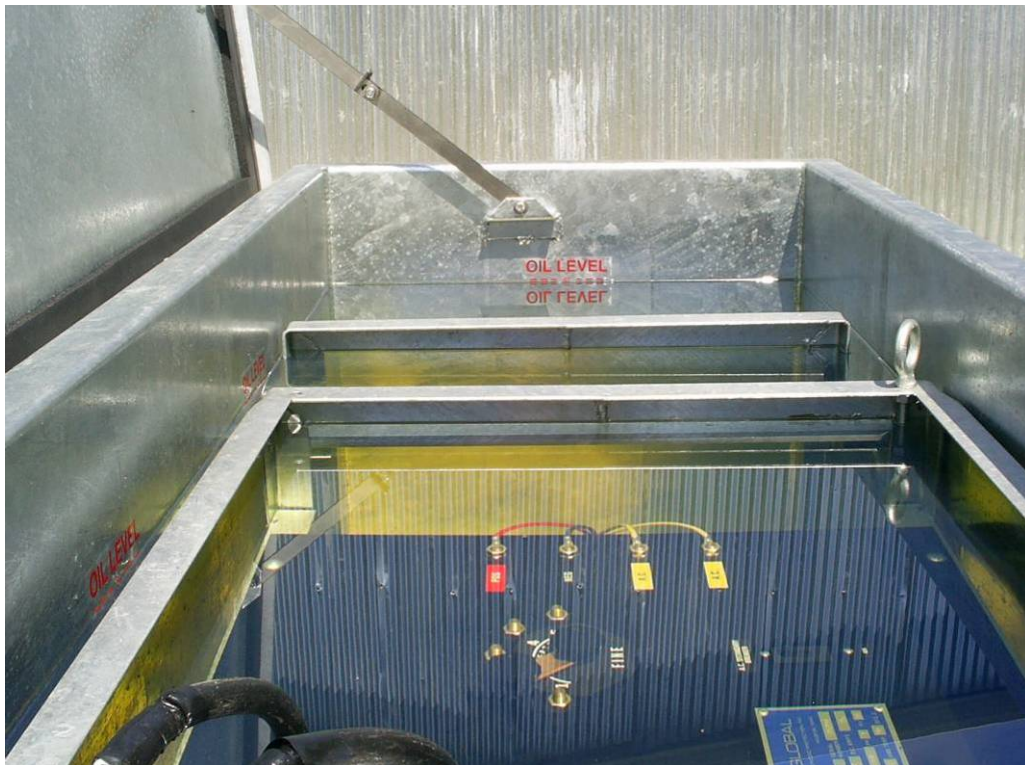


Figura 2.29 Interior de un rectificador



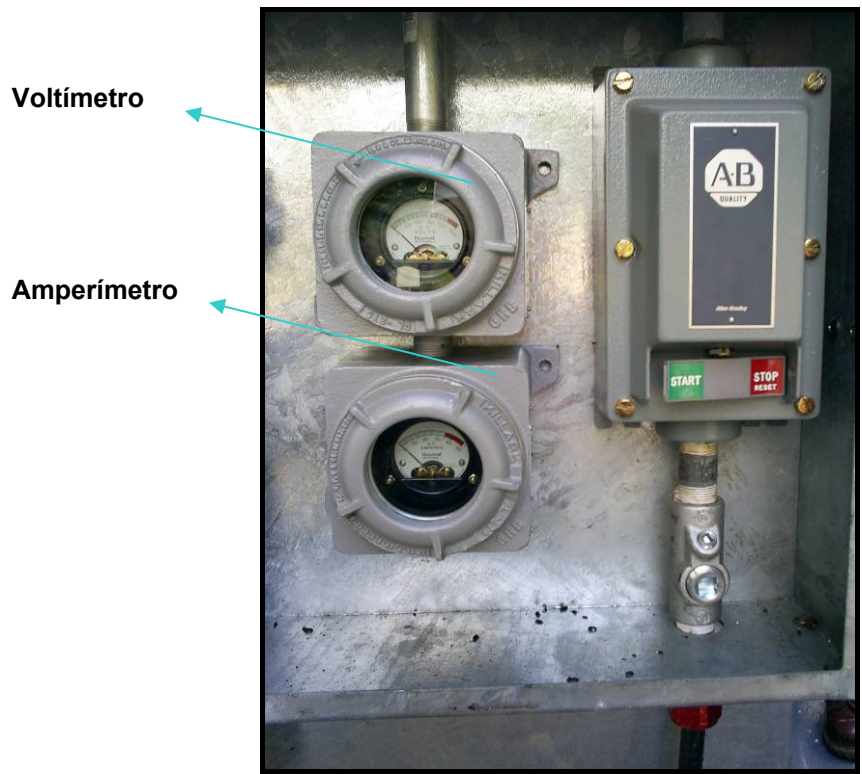


Figura 2.30 Elementos de medición de un rectificador



Figura 2.31 Caja de conexiones

**Tabla 2.35 Rectificadores y postes de prueba Oleoducto principal Bloque 16**

DISTRIBUCION	TRAMO	RECTIFICADOR PROTECCION CATODICA	POSTES DE PRUEBA
NPF - PPY	Tiputini – PPY	X-1053-TR	21
	NPF – Tiputini		
AMO A - NPF	Río Tivacuno - NPF	X-1053-TR	27
	Km. 80 - Río Tivacuno		
	Amo A - Km. 80		
SPF - AMO A	Río Yasuni - Amo A	X-2054-TR	8
	SPF - Río Yasuni		

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

**Tabla 2.36 Rectificadores y postes de prueba de los ductos secundarios Bloque 16**

DISTRIBUCION	TRAMO	RECTIFICADOR PROTECCION CATODICA	POSTES DE PRUEBA
NPF - TIVACUNO	NPF – TIVACUNO	X-1053-TR	6
NPF - CAPIRON	NPF – CAPIRON	X-1053-TR	4
CAPIRON - BOGI	CAPIRON – BOGI	X-1952-TR	6
SPF - AMO A	Río Yasuni - Amo A	X-2054-TR	9
	Amo B - Río Yasuni		
	SPF - Amo B		
SPF - IRO A	Y IRO - IRO A	X-2950-TR	15
	Río Dicaro - Y IRO		
	SPF - Río Dicaro		
DAIMI B - SPF	DAIMI B – SPF	X-2953-TR	8
SPF - GINTA B	Y IRO - Ginta B	X-2054-TR	6
	Río Dicaro - Y IRO		
	SPF - Río Dicaro		

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

### **DATOS RECTIFICADOR X-2054-TR**

TAG: X-2054-TR  
MARCA: RTS ELECTRONIC MANUFACTURING LTDA.  
LUGAR DE FABRICACION: EDMONTON, ALBERTA CANADA.  
AÑO DE FABRICACION: N/A  
UBICACION: SPF

### **DATOS DE PLACA:**

MODELO: CXYSC 60-50X  
TIPO: TAP-ADJUSTED  
SERIAL: C-93524  
Voltios (V) AC: 230  
Voltios (V) DC: 60  
Amperios (A) AC: 21,3  
Amperios (A) DC: 50  
FASES: 1  
CICLOS: 60  
TEMP DE TRABAJO (°C): 45  
CASE: 0-2 ENFRIADO POR ACEITE  
BREAKER: SI  
OIL CAPACITY (GAL): N/A  
OIL TYPE: N/A

LECTURAS ACTUALES: X-2054-TR  
TAP GRUESO: D  
TAP MEDIO: N/A  
TAP FINO: 1  
Voltios (V) DC: 41.6  
Amperios (A) DC: 48.8

Resumen estado actual rectificador X-2054-TR: Este rectificador se encuentra trabajando a 48.8 (A) DC de los 50 (A) DC y a 41.6 (V) DC de los 60 (V) DC permisibles por el fabricante, lo que representa 97.6 % con respecto a su amperaje y 69.33 % con respecto al voltaje de su capacidad.

**DATOS RECTIFICADOR X-1053-TR**

TAG: X-1053-TR  
MARCA: WAYNE BROYLES INC.  
LUGAR DE FABRICACION: N/A  
AÑO DE FABRICACION: JULIO 1993  
UBICACION: NPF

**DATOS DE PLACA:**

MODELO: 46226-2  
TIPO: TAP-ADJUSTED  
SERIAL: 0593390-N  
Voltios (V) AC: 460  
Voltios (V) DC: 35  
Amperios (A) AC: 2  
Amperios (A) DC: 30  
FASES: 3  
CICLOS: 60  
TEMP DE TRABAJO (°C): N/A  
CASE: ENFRIADO POR ACEITE  
BREAKER: SI  
OIL CAPACITY (GAL): 36  
OIL TYPE: ACEITE PARA TRANSFORMDOR  
SIN INHIBIDOR DE CORROSIÓN

LECTURAS ACTUALES: X-1053-TR  
TAP GRUESO: 2  
TAP MEDIO: 2  
TAP FINO: 2  
Voltios (V) DC: 12.2  
Amperios (A) DC: 13.1

Resumen estado actual rectificador X-1053-TR: Este rectificador se encuentra trabajando a 13.1 (A) DC de los 30 (A) DC amperios y a 12.2 (V) DC de los 35 (V) DC permisibles por el fabricante, lo que representa 43.66 % con respecto a su amperaje y 34.85 % con respecto al voltaje de su capacidad.

**DATOS RECTIFICADOR X-1952-TR**

TAG: X - 1952 TR  
MARCA: Petro Energy  
LUGAR DE FABRICACION: Ecuador  
AÑO DE FABRICACION: Agosto -08 – 2004  
UBICACION: CAPIRON

**DATOS DE PLACA:**

MODELO: CAYSE 30 - 10  
TIPO: AMM - TAP ADJUSTED  
SERIAL: 12.101  
Voltios (V) AC: 115/230  
Voltios (V) DC: 30  
Amperios (A) AC: 4.8/2.4  
Amperios (A) DC: 10  
FASES: 1  
CICLOS: 60  
TEMP DE TRABAJO (°C): 45  
CASE: AIR COOLED (14/12 R - 80 - 0060)  
BREAKER: YES  
OIL CAPACITY (GAL): N/A  
OIL TYPE: N/A

LECTURAS ACTUALES: X-1952-TR  
TAP GRUESO: 4  
TAP MEDIO: N/A  
TAP FINO: A  
Voltios (V) DC: 11  
Amperios (A) DC: 1,8

Resumen estado actual rectificador X-1952-TR: Este rectificador se encuentra trabajando a 1.8 (A) DC de los 10 (A) DC amperios y a 11 (V) DC de los 30 (V) DC permisibles por el fabricante, lo que representa 18 % con respecto a su amperaje y 36.66 % con respecto al voltaje de su capacidad.

**DATOS RECTIFICADOR X-2950-TR**

TAG: X-2950-TR  
MARCA: GLOBAL CATHODIC PROTECTION, INC.  
LUGAR DE FABRICACION: HOUSTON TEXAS  
AÑO DE FABRICACION: N/A  
UBICACION: IRO A

**DATOS DE PLACA:**

MODELO: OSXI  
TIPO: TAP-ADJUSTED  
SERIAL: 052094  
Voltios (V) AC: 230/460  
Voltios (V) DC: 125  
Amperios (A) AC: 268/134  
Amperios (A) DC: 35  
FASES: 1  
CICLOS: 60  
TEMP DE TRABAJO (°C): 50  
CASE: 0-2 ENFRIADO POR ACEITE  
BREAKER: SI  
OIL CAPACITY (GAL): N/A  
OIL TYPE: N/A

LECTURAS ACTUALES: X-2950-TR  
TAP GRUESO: D  
TAP MEDIO: N/A  
TAP FINO: 1  
Voltios (V) DC: 6  
Amperios (A) DC: 11

Resumen estado actual rectificador X-2950-TR: Este rectificador se encuentra trabajando a 6 (A) DC de los 35 (A) DC y a 11 (V) DC de los 125 (V) DC permisibles por el fabricante, lo que representa 17.14 % con respecto a su amperaje y 8.8 % con respecto al voltaje de su capacidad.

**DATOS RECTIFICADOR X-2953-TR**

TAG: X-2953-TR  
MARCA: MATCOR  
LUGAR DE FABRICACION: DOYLESTOWN, PA, USA  
AÑO DE FABRICACION: N/A  
UBICACION: DAIMI B

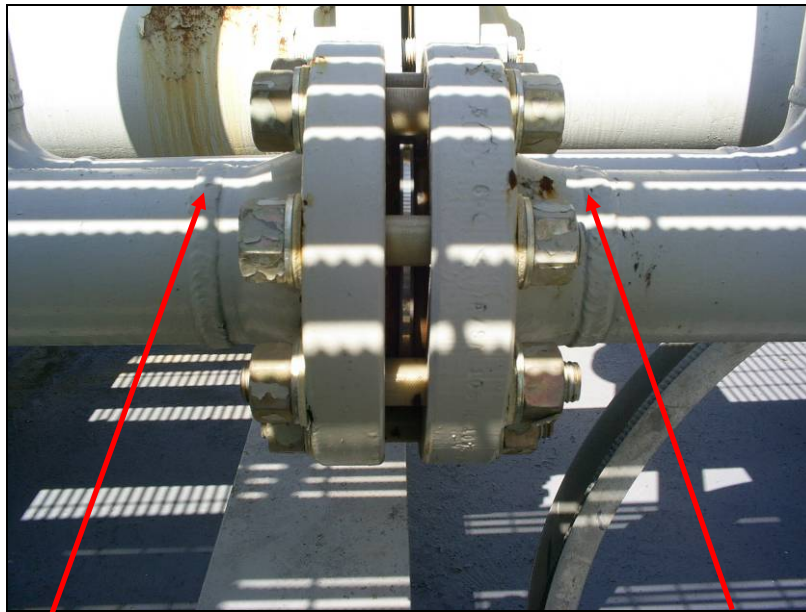
**DATOS DE PLACA:**

MODELO: MOSYSE60  
TIPO: TAP-ADJUSTED  
SERIAL: 052802  
Voltios (V) AC: 115/230  
Voltios (V) DC: 60  
Amperios (A) AC: 110/55  
Amperios (A) DC: 15  
FASES: 1  
CICLOS: 60  
TEMP DE TRABAJO (°C): 50  
CASE: 0-2 ENFRIADO POR ACEITE  
BREAKER: SI  
OIL CAPACITY (GAL): N/A  
OIL TYPE: N/A

LECTURAS ACTUALES: X-2953-TR  
TAP GRUESO: D  
TAP MEDIO: N/A  
TAP FINO: 1  
Voltios (V) DC: 2  
Amperios (A) DC: 0.2

Resumen estado actual rectificador X-2953-TR: Este rectificador se encuentra trabajando a 0.2 (A) DC de los 15 (A) DC y a 2 (V) DC de los 60 (V) DC permisibles por el fabricante, lo que representa 1.3 % con respecto a su amperaje y 3.33 % con respecto al voltaje de su capacidad.

### Estudio dieléctrico de las Juntas de aislamiento del Bloque16



1. Lado protegido por el SPC    2. Lado de la planta o facilidad

**Figura 2.32 Junta aislante**

Se realizó una recopilación del estado actual en lo referente a las juntas aislantes para del Bloque 16 que se vera a continuación en las siguientes tablas resumido en diferentes sectores.

Dentro de este estudio se verifican los siguientes aspectos:

- Estado de la junta de aislamiento dieléctrico
- Verificación de potenciales de protección catódica
- Verificación de efectividad de manguitos, arandelas, pernos en caso de que la junta aislante presente anomalías.

Equipo utilizado:

- Insulator Tester Model RF – IT
- Media celda de referencia Cu/CuSO<sub>4</sub>
- Multímetro





**Figura 2.33 Estado de los pernos en juntas aislantes**



**Figura 2.34 Medición de eficiencia en juntas aislantes (1)**



**Figura 2.35 Medición de eficiencia en juntas aislantes (2)**

## **SECTOR NPF**

**Tabla 2.37 Potenciales en juntas aislantes sector NPF**

<b>DESDE / HACIA</b>	<b>FLUIDO</b>	<b>DIÁ- METRO (IN)</b>	<b>POTENCIAL (LADO ENTERRADO)</b>	<b>POTENCIAL (LADO WELL PAD)</b>
NPF A CAPIRON	AGUA	14"	-1386	-877
NPF A CAPIRON	AGUA	14"	-1359	-857
CAPIRON A NPF	CRUDO	16"	-1446	-845
CAPIRON A NPF	CRUDO	0	-1496	-860
CAPIRON A NPF	CRUDO	16"	-1223	-723
CAPIRON A NPF	CRUDO	16"	-1221	-733
NPF A CAPIRON	AGUA	14"	-1215	-701
NPF A CAPIRON	AGUA	14"	-1221	-710

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

## SECTOR PLANTA SPF

**Tabla 2.38 Potenciales en juntas aislantes sector Planta SPF**

DESDE / HACIA	FLUIDO	DIÁ- METRO (IN)	POTENCIAL (LADO ENTERRADO)	POTENCIAL (LADO WELL PAD)
AMO A/B/C	CRUDO	20"	-1389	-787
A WIP	AGUA	20"	-1033	-1033
A AMO A, B, C, WIP	AGUA	18"	-1263	-921
A KM 80	CRUDO	16"	-1336	-854
DAIMI, IRO, GINTA	CRUDO	16"	-1338	-924
A DIESEL SARAGE TANK	DIESEL	4"	-869	-869
A DIESEL DAY TANK	DIESEL	4"	-934	-934
DESDE NPF	DIESEL	4"	-1452	-919
A DAIMI, IRO, GINTA	DIESEL	18"	-1346	-905
IRO, GINTA DAIMI	CRUDO	20"	-1550	-926

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

## SECTOR SPF

**Tabla 2.39 Potenciales en juntas aislantes sector SPF**

DESDE / HACIA	FLUIDO	DIÁ- METRO (IN)	POTENCIAL (LADO ENTERRADO)	POTENCIAL (LADO WELL PAD)
SPF A AMO A	AGUA	10"	-717	-630
SPF A AMO A	CRUDO	10"	-800	-711
SPF A AMO A	AGUA	12"	-777	-677
SPF A NPF	CRUDO	16"	-912	-859
SPF A AMO C	AGUA	4"	-769	-769
AMO C A SPF	CRUDO	10"	-758	-758
AMO B A SPF	CRUDO	10"	-756	-691
SPF A AMO B	AGUA	10"	-599	-578
SPF A AMOs	AGUA	18"	-915	-792
AMO B A SPF	CRUDO	6"	-771	-771
SPF A WIP	AGUA	16"	-782	-787
SPF A WIP	AGUA	16"	-735	-631
DAIMI 1 A SPF	CRUDO	4"	-933	-933
DAIMI A A SPF	CRUDO	10"	-1060	-785
SPF A DAIMI A	AGUA	10"	-787	-787
SPF A DAIMI B	AGUA	10"	-818	-661
DAIMI B A SPF	CRUDO	10"	-796	-643
IRO A A SPF	CRUDO	16"	-1195	-699
IRO A A SPF	CRUDO	12"	-825	-706
SPF A IRO A	AGUA	12"	-893	-760
SPF A IRO 1	AGUA	4"	-791	-791
IRO 1 A SPF	CRUDO	10"	-894	-1061
IRO 1 A SPF	CRUDO	10"	-1302	-1059
IRO 1 A SPF	CRUDO	10"	-1041	-771
SPF A IRO	AGUA	12"	-760	-783
SPF A IRO	AGUA	12"	-727	-712
IRO A SPF	CRUDO	12"	-665	-628

IRO A SPF	CRUDO	12"	-836	-809
IRO A SPF	CRUDO	16"	-880	-1296
IRO B A SPF	CRUDO	10"	-	-
SPF A IRO B	AGUA	10"	-	-
GINTA A A SPF	CRUDO	10"	-625	-599
SPF A GINTA A	AGUA	10"	-656	-592
GINTA B A SPF	CRUDO	20"	-683	-648
SPF A R-2983	AGUA	18"	-659	-631

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

**Tabla 2.40 Estudio de dieléctrico en juntas de aislamiento sector NPF**

DESDE / HACIA	FLUIDO	DIÁ- METRO (IN)	ESPE- SOR	CLASE	ESTADO JUNTA DE AISLAMIENTO	PERNOS ANÓMA- LOS
NPF A CAPIRON	AGUA	14"	XH	600	MALO	0
NPF A CAPIRON	AGUA	14"	XH	600	MALO	0
CAPIRON A NPF	CRUDO	16"	STD	300	MALO	0
CAPIRON A NPF	CRUDO	16"	STD	300	MALO	0
CAPIRON A NPF	CRUDO	16"	STD	300	MALO	0
CAPIRON A NPF	CRUDO	16"	STD	300	MALO	0
NPF A CAPIRON	AGUA	14"	XH	600	MALO	0
NPF A CAPIRON	AGUA	14"	XH	600	MALO	0

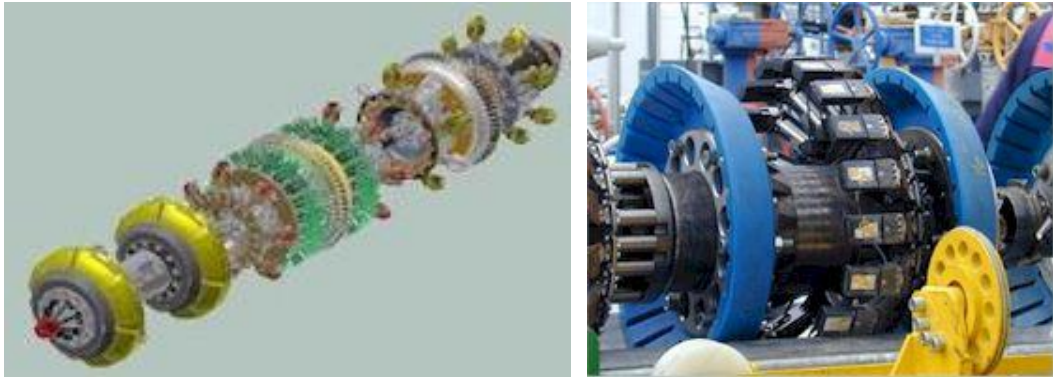
Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

**Tabla 2.41 Estudio de dieléctrico en juntas de aislamiento planta SPF**

DESDE / HACIA	FLUIDO	DIÁ- METRO (IN)	ESPE- SOR	CLASE	ESTADO JUNTA DE AISLAMIENTO	PERNOS ANÓMA- LOS
AMO A/B/C	CRUDO	20"	0.312"	300	MALO	0
HACIA WIP	AGUA	20"	PEND.	600	NO EXISTE	24
A AMO A, B, C, WIP	AGUA	18"	0.344"	600	MALO	1
A KM 80	CRUDO	16"	0.312"	600	BUENO	0
DAIMI, IRO, GINTA	CRUDO	16"	PEND	600	MALO	0
A TANQUE DE DIESEL ALMACENAMIENTO	DIESEL	4"	PEND	150	NO EXISTE	4
A TANQUE DE DIESEL DIARIO	DIESEL	4"	PEND	150	NO EXISTE	4
DESDE NPF	DIESEL	4"	0.237"	900	BUENO	0
A DAIMI, GINTA, IRO	DIESEL	18"	0.344"	600	MALO	0
A IRO, GINTA, DAIMI	CRUDO	20"	0.312"	300	MALO	0

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

### 2.1.3 REVISION DE LOS ESTUDIOS INTERNOS DE LOS DUCTOS CON EL USO DE SMART PIGS



**Figura 2.36 Smart Pigs**

Dentro del bloque 16 se realizaron varias inspección de tuberías para conocer su estado actual, en sí, sus defectos, donde se encuentran y que tan críticos son. Para esto se ocupó tecnología de última generación.

El estudio realizado con Smart Pigs<sup>25</sup> ofrece una inspección exhaustiva de las condiciones en las cuales se encuentra una tubería. Para este estudio la compañía rento los servicios de las herramientas de inspección de tuberías de alta resolución MFL 1.5 fueron diseñadas originariamente en Alberta- Canadá a principios de la década del 90, utilizando tecnología de última generación, tanto en lo que respecta al diseño magnético como en lo concerniente a los avances de diseño electrónico. Los tamaños de las herramientas oscilan entre 3 y 16 pulgadas. Actualmente son unas de las herramientas más versátiles del mercado.

Todas las herramientas son unidades autónomas que pueden ser utilizadas en tuberías con diversos productos, ya sean de líquido o gas.

La totalidad de las herramientas de inspección de alta resolución MFL 1.5 utilizan muestreos basados en distancia con un incremento de datos de 4 mm. Las herramientas de 6" o mayor tamaño poseen capacidad de detección de curvas de 1.5 D. La herramienta inteligente de 8" actualmente posee 48 canales de inspección de corrosión mientras que las herramientas entre 10" y 16" poseen 64 canales.

---

<sup>25</sup> Smart Pigs.- Equipo computarizado con sensores de ultrasonido o inducción magnética para la inspección de tuberías.

El reporte final que ofrece MFL 1.5 ha sido desarrollado para ser actualmente una evaluación exhaustiva de las tuberías.

Las especificaciones operativas de la herramienta MFL 1.5 de G.E. Oil and Gas PII Pipeline Solutions son:

**Tabla 2.42 Especificaciones operativas MFL 1.5 de G.E.**

<b>Especificaciones operativas</b>	<b>Tolerancias</b>
Temperatura de la tubería	Hasta 80 °C (176 ° F)
Presión de la tubería	Hasta 137 bar. (2000 psi.)
Velocidad óptima de la herramienta	1.6 km./h - 11 km./h(1 a 6.8 mph)
Medio	Líquido o Gas

Fuente: GE Energy P II Pipeline Solutions

Las especificaciones de la inspección de la herramienta MFL 1.5 de G.E. Oil and Gas PII Pipeline Solutions son:

**Tabla 2.43 Especificaciones de la inspección de la herramienta**

<b>Especificaciones de la inspección</b>	<b>Grado</b>	<b>Corrosión General</b>
Precisión profundidad medida 80 % de confianza	$\pm 10\%$ <sup>26</sup>	$\pm 20\%$
Precisión longitud medida 80 % de confianza	$\pm 13mm$	$\pm 25mm$
Precisión ancho medido 80 % de confianza	$\pm 25mm$	$\pm 25mm$

Fuente: GE Energy P II Pipeline Solutions

Nota: La herramienta MFL 1.5 de G.E. Oil and Gas PII Pipeline Solutions es optima para la medición de corrosión por picadura<sup>27</sup>.

### **Resumen de defectos encontrados en las tuberías analizadas**

Para la revisión del estado actual de cada una de las tuberías analizadas por la herramienta MFL 1.5 de G.E. Oil and Gas PII Pipeline Solutions se facilitará un resumen general a continuación.

<sup>26</sup> +/- % representan medidas absolutas- profundidad del defecto- grado de profundidad del defecto

<sup>27</sup> Ver corrosión por picadura en el Capitulo 3 literal 3.1.3.7

## Tubería IRO A a la Y (Km. 117)

### Información general de la tubería:

**Tabla 2.44 Parámetros generales Tubería IRO A a la Y**

Función	Transporte de Líquido
Diámetro exterior	12.75 "/ 323.85 mm.
Espesor nominal	0.250 "/ 6.35 mm.
Historia de corrosión	Desconocida
Longitud de la línea	5.36 km.
Intervalo de muestreo	4 mm.

Fuente: GE Energy P II Pipeline Solutions Febrero 13, 2006

### Resumen:

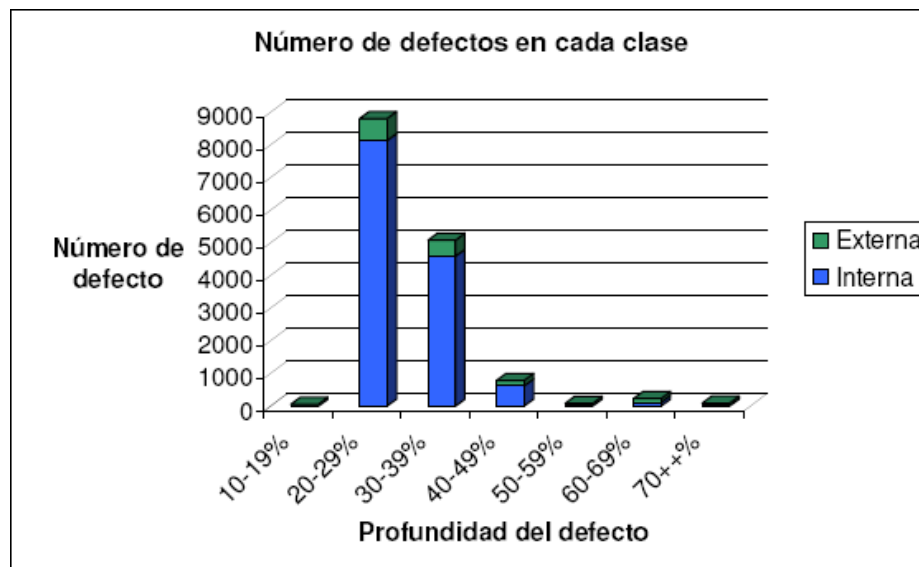
Un total de 15137 defectos fueron detectados. Existe corrosión interna y externa en todas las posiciones del reloj a lo largo de la tubería. Los defectos encontrados están entre el 10 % y 70 %++ de pérdida de espesor.

**Tabla 2.45 Resumen de defectos Tubería IRO A a La Y**

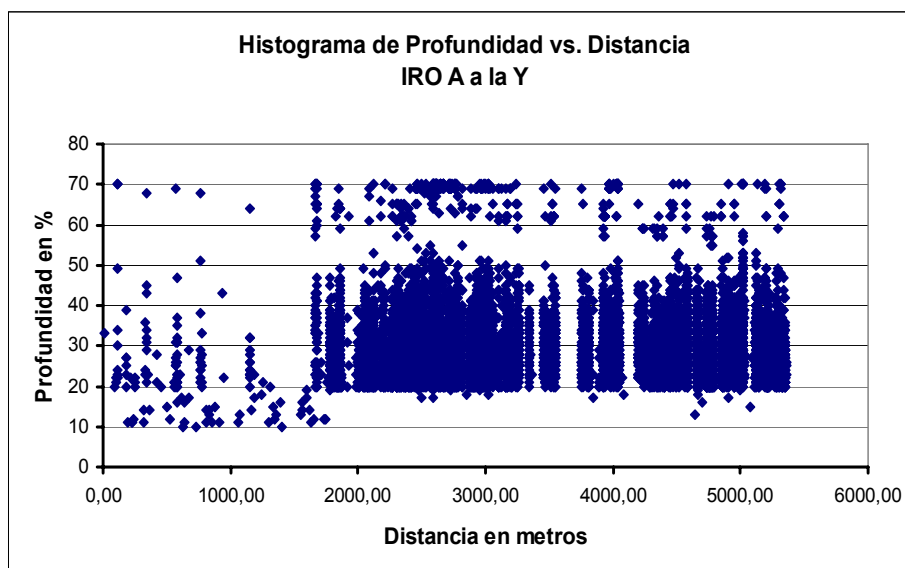
Clase	10-19%	20-29%	30-39%	40-49%	50-59%	60-69%	70%++
<b>Interna</b>	24	8128	4588	616	58	113	40
<b>Externa</b>	38	673	490	173	23	121	52
<b>TOTAL</b>	62	8801	5078	789	81	234	92

Fuente: GE Energy P II Pipeline Solutions Febrero 13, 2006

La suma de los defectos externos es de: 1570 que es el 10.37% de los defectos existentes.



**Figura 2.37 Defectos Tubería IRO A a la Y (Km. 117) Febrero 13, 2006**



**Figura 2.38 Histograma Profundidad vs. Distancia IRO A a la Y Febrero 13, 2006**

**Tubería NPF a CAPIRON**

**Información general de la tubería:**

**Tabla 2.46 Parámetros generales Tubería NPF a CAPIRÓN**

<b>Función</b>	<b>Transporte de Agua Fresca</b>
Diámetro exterior	14 "/ 355.6 mm.
Espesor nominal	0.344 "/ 8.74 mm.
Historia de corrosión	Desconocida
Longitud de la línea	8.2 km.
Intervalo de muestreo	4 mm.

Fuente: GE Energy P II Pipeline Solutions Diciembre 23, 2005

**Resumen:**

Un total de 2816 defectos fueron detectados. Existe corrosión externa en su mayoría en todas las posiciones del reloj a lo largo de la tubería. Los defectos encontrados están entre el 10 % y 70 %++ de pérdida de espesor. En los primeros 470 metros algunos datos fueron ignorados debido a posibles desechos en el ducto, que impiden que se tenga certeza en los datos que arroja la herramienta.

**Tabla 2.47 Resumen de defectos Tubería NPF a CAPIRÓN**

<b>Clase</b>	<b>10-19%</b>	<b>20-29%</b>	<b>30-39%</b>	<b>40-49%</b>	<b>50-59%</b>	<b>60-69%</b>	<b>70%++</b>
<b>Interna</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>Externa</b>	258	2222	281	34	14	1	6
<b>TOTAL</b>	258	2222	281	34	14	1	6

Fuente: GE Energy P II Pipeline Solutions Febrero 13, 2006



La suma de los defectos externos es de: 2816

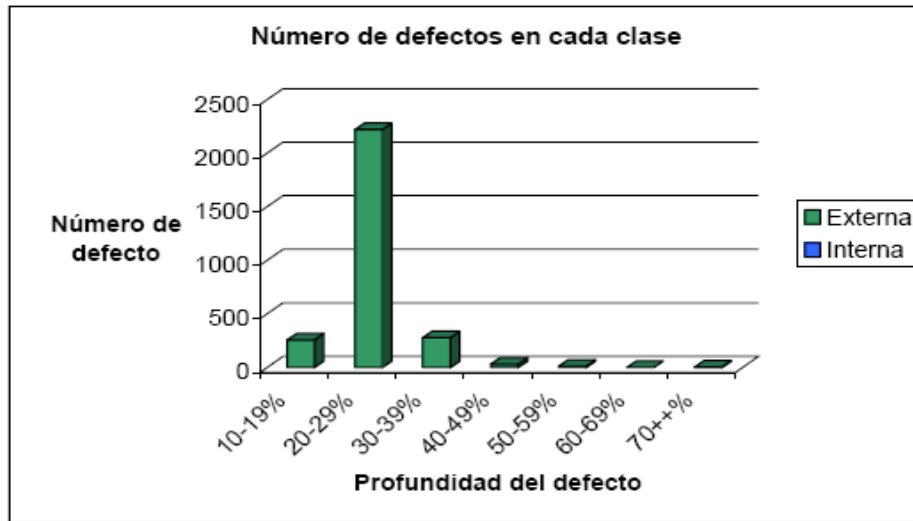


Figura 2.39 Defectos tubería NPF a CAPIRON Diciembre 23, 2005

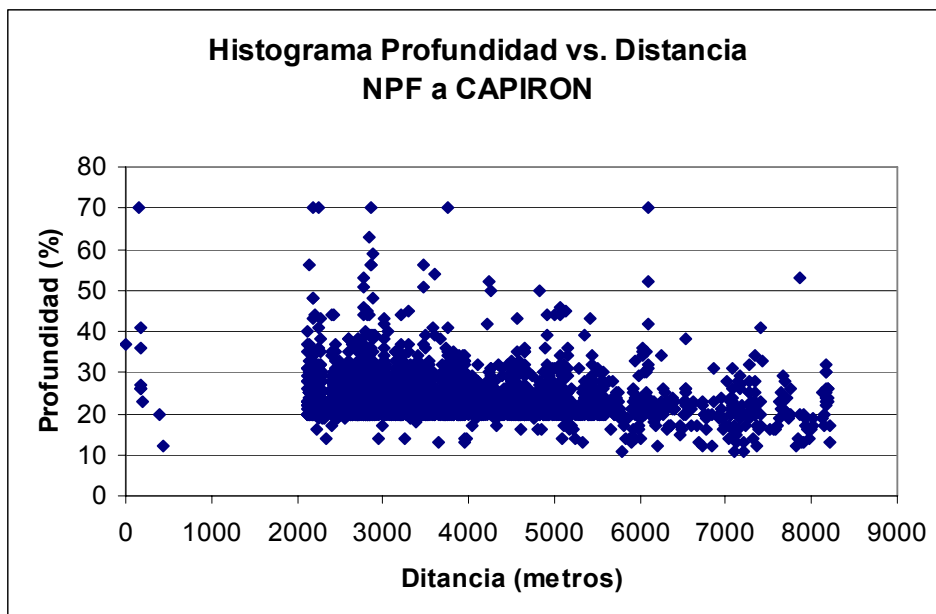


Figura 2.40 Histograma Profundidad vs. Distancia NPF a CAPIRON Diciembre 23, 2005

## Tubería NPF a TIVACUNO

### Información general de la tubería:

**Tabla 2.48 Parámetros generales Tubería NPF a TIVACUNO**

Función	Transporte de Agua
Diámetro exterior	10 "/ 273.05 mm.
Espesor nominal	0.307 "/ 7.80 mm.
Historia de corrosión	Desconocida
Longitud de la línea	13.16 km.
Intervalo de muestreo	4 mm.

Fuente: GE Energy P II Pipeline Solutions Diciembre 7, 2005

### Resumen:

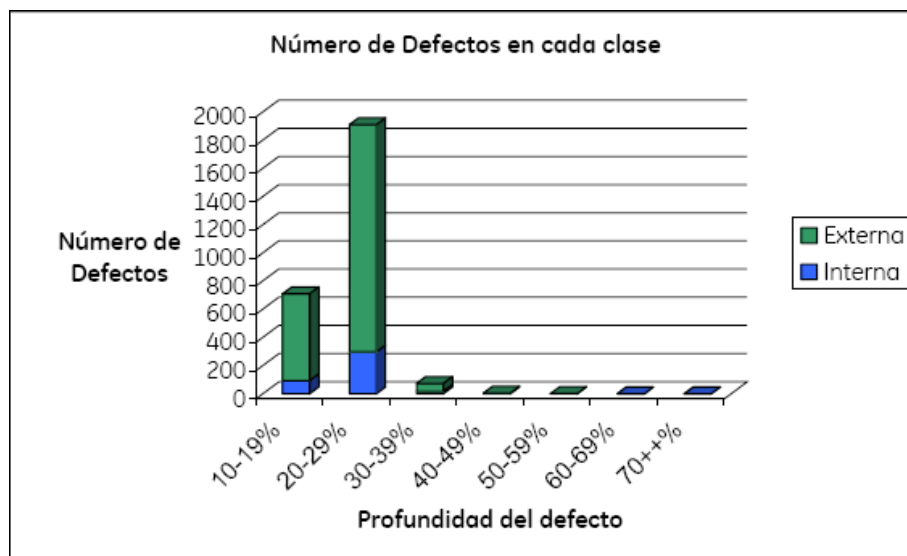
Un total de 2701 defectos fueron detectados. Existe corrosión externa en su mayoría e interna en todas las posiciones del reloj a lo largo de la tubería. Los defectos encontrados están entre el 11 % y 56 %++ de pérdida de espesor de la tubería.

**Tabla 2.49 Resumen de defectos Tubería NPF a TIVACUNO**

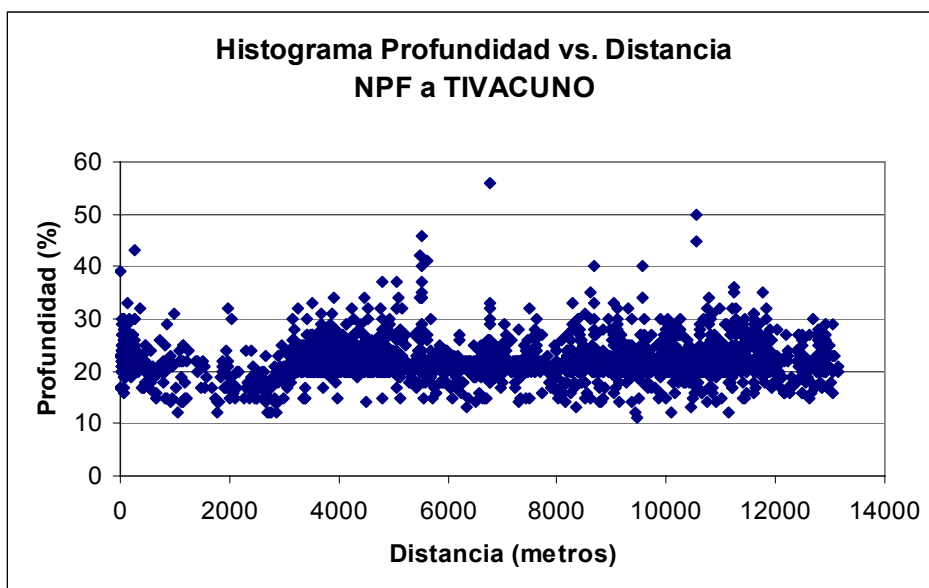
Clase	10-19%	20-29%	30-39%	40-49%	50-59%	60-69%	70%++
Interna	94	298	18	0	0	0	0
Externa	616	1613	55	6	1	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>710</b>	<b>1911</b>	<b>73</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Fuente: GE Energy P II Pipeline Solutions Diciembre 7, 2005

La suma de los defectos externos es de: 2291 que es el 84.82 % de todos los defectos existentes.



**Figura 2.41 Defectos tubería NPF a TIVACUNO Diciembre 7, 2005**



**Figura 2.42 Histograma Profundidad vs. Distancia NPF a TIVACUNO  
Diciembre 7, 2005**

**Tubería TIVACUNO a NPF**

**Información general de la tubería:**

**Tabla 2.50 Parámetros generales Tubería TIVACUNO a NPF**

<b>Función</b>	<b>Transporte de líquido</b>
Diámetro exterior	14 " / 355.6 mm.
Espesor nominal	0.250 " / 6.35 mm.
Historia de corrosión	Desconocida
Longitud de la línea	13.1 km.
Intervalo de muestreo	4 mm.

Fuente: GE Energy P II Pipeline Solutions Diciembre 25, 2005

**Resumen:**

Un total de 680 defectos fueron detectados. Existe corrosión externa e interna en todas las posiciones del reloj a lo largo de la tubería. Los defectos encontrados están entre el 10 % y 70 %++ de pérdida de espesor de la tubería.

**Tabla 2.51 Resumen de defectos Tubería TIVACUNO a NPF**

<b>Clase</b>	<b>10-19%</b>	<b>20-29%</b>	<b>30-39%</b>	<b>40-49%</b>	<b>50-59%</b>	<b>60-69%</b>	<b>70%++</b>
<b>Interna</b>	295	134	13	1	0	0	0
<b>Externa</b>	100	61	26	11	8	4	27
<b>TOTAL</b>	395	195	39	12	8	4	27

Fuente: GE Energy P II Pipeline Solutions Diciembre 25, 2005

La suma de los defectos externos es de: 237 que es el 34.85 % de todos los defectos existentes.

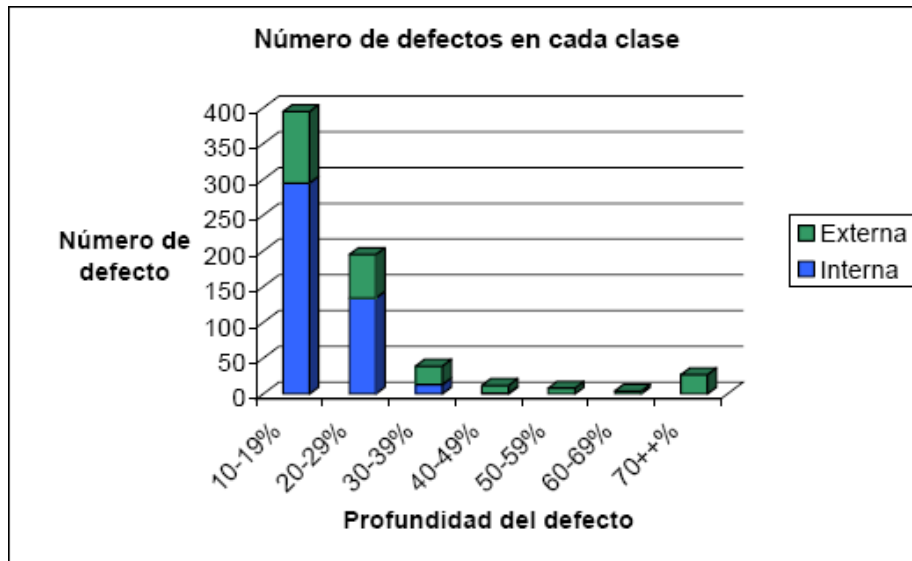


Figura 2.43 Defectos tubería TIVACUNO a NPF Diciembre 25, 2005

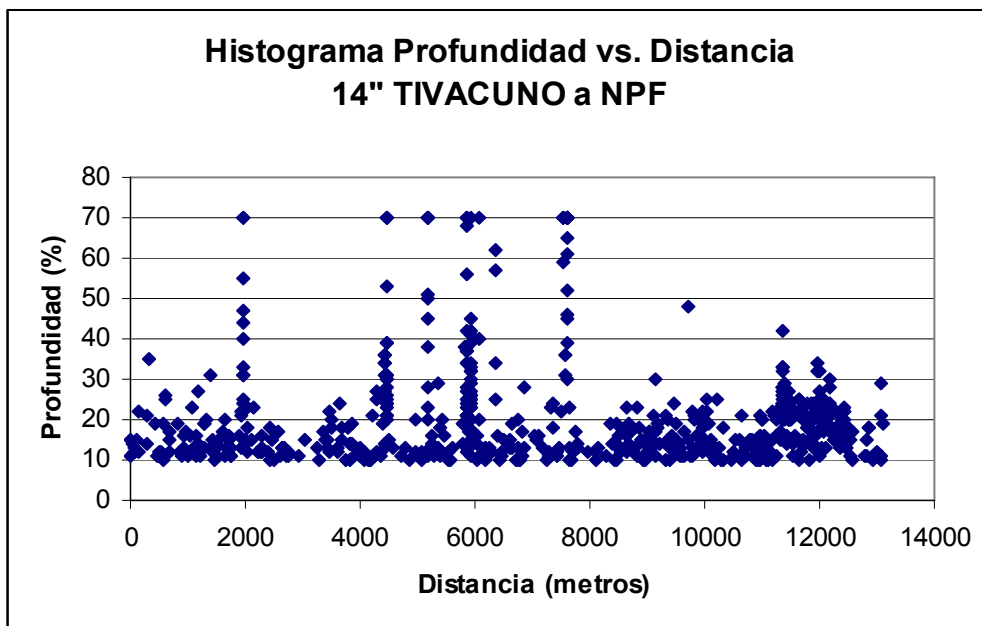


Figura 2.44 Histograma Profundidad vs. Distancia TIVACUNO a NPF Diciembre 25, 2005

## Tubería Bogi a CAPIRON

### Información general de la tubería:

**Tabla 2.52 Parámetros generales Tubería Bogi a CAPIRÓN**

Función	Transporte de tres productos
Diámetro exterior	12.75 "/ 323.85 mm.
Espesor nominal	0.250 "/ 6.35 mm.
Historia de corrosión	Desconocida
Longitud de la línea	7.46 km.
Intervalo de muestreo	4 mm.

Fuente: GE Energy P II Pipeline Solutions Diciembre 25, 2005

### Resumen:

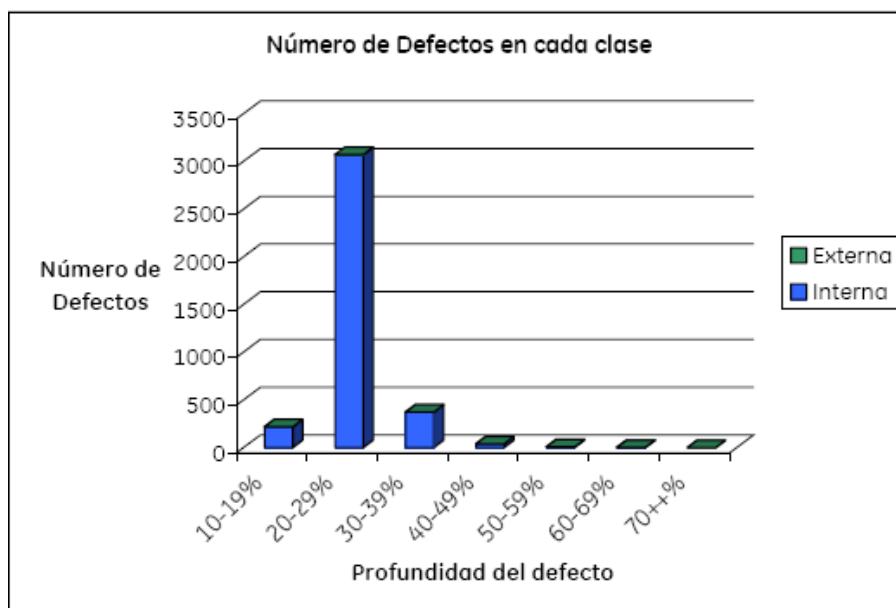
Un total de 6650 defectos fueron detectados. Existe corrosión interna en la parte inferior de la tubería. Los defectos encontrados están entre el 10 % y 70 %++ de pérdida de espesor de la tubería.

**Tabla 2.53 Resumen de defectos Tubería Bogi a CAPIRÓN**

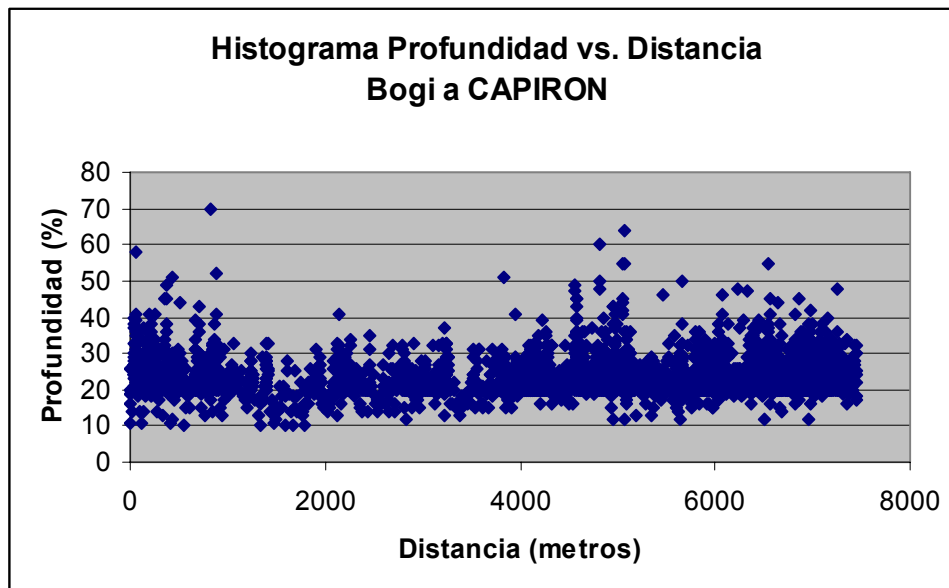
Clase	10-19%	20-29%	30-39%	40-49%	50-59%	60-69%	70%++
<b>Interna</b>	219	3070	373	40	9	2	1
<b>Externa</b>	0	1	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	219	3071	373	40	9	2	1

Fuente: GE Energy P II Pipeline Solutions Diciembre 25, 2005

La suma de los defectos externos es mínima.



**Figura 2.45 Defectos tubería Bogi a CAPIRON Mayo 16, 2006**



**Figura 2.46 Histograma Profundidad vs. Distancia Bogi a CAPIRON Mayo 16, 2006**

**Tubería La Y a IRO A**

**Información general de la tubería:**

**Tabla 2.54 Parámetros generales Tubería La Y a IRO A**

<b>Función</b>	<b>Transporte de tres productos</b>
Diámetro exterior	12.75 "/ 323.85 mm.
Espesor nominal	0.250 "/ 6.35 mm.
Historia de corrosión	Desconocida
Longitud de la línea	5.37 km.
Intervalo de muestreo	4 mm.

Fuente: GE Energy P II Pipeline Solutions Febrero 16, 2006

**Resumen:**

Un total de 58 defectos fueron detectados. Existe corrosión interna y externa en todas las posiciones del reloj a lo largo de la tubería. Los defectos encontrados están entre el 10 % y 70 %++ de pérdida de espesor de la tubería.

**Tabla 2.55 Resumen de defectos Tubería La Y a IRO A**

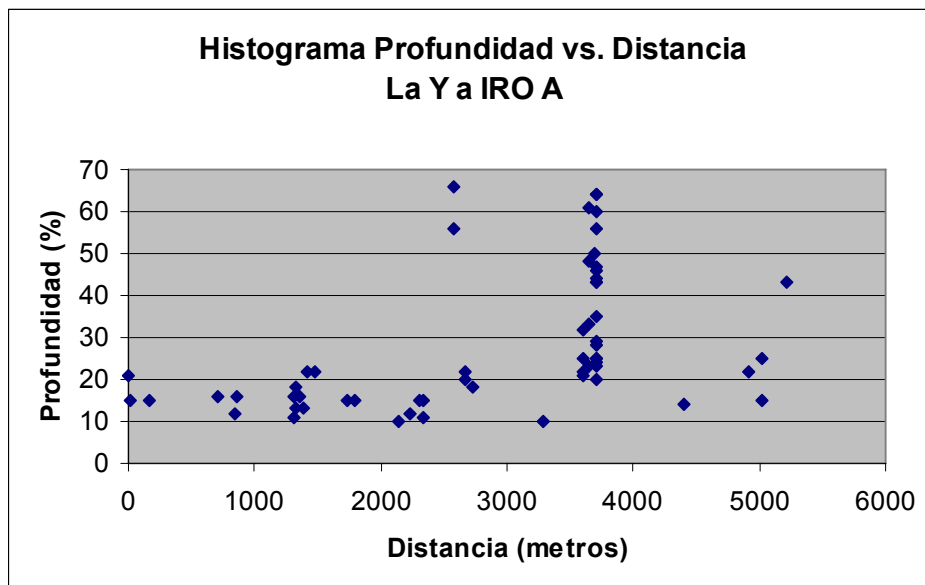
<b>Clase</b>	<b>10-19%</b>	<b>20-29%</b>	<b>30-39%</b>	<b>40-49%</b>	<b>50-59%</b>	<b>60-69%</b>	<b>70%++</b>
<b>Interna</b>	11	2	0	0	0	0	0
<b>Externa</b>	11	16	3	7	3	5	0
<b>TOTAL</b>	22	18	3	7	3	5	0

Fuente: GE Energy P II Pipeline Solutions Febrero 16, 2006

La suma de los defectos externos es de: 45 que es el 77.58 % de todos los defectos existentes.



**Figura 2.47 Defectos tubería La Y a IRO A Febrero 16, 2006**



**Figura 2.48 Histograma Profundidad vs. Distancia La Y a IRO A Febrero 16, 2006**

## Tubería NPF a Pompeya

### Información general de la tubería:

**Tabla 2.56 Parámetros generales Tubería NPF a Pompeya**

Función	Transporte de Crudo
Diámetro exterior	16 " / 406.4 mm.
Espesor nominal	0.312 " / 7.92 mm.
Historia de corrosión	Desconocida
Longitud de la línea	41.75 km.
Intervalo de muestreo	4 mm.

Fuente: GE Energy P II Pipeline Solutions Diciembre 31, 2005

### Resumen:

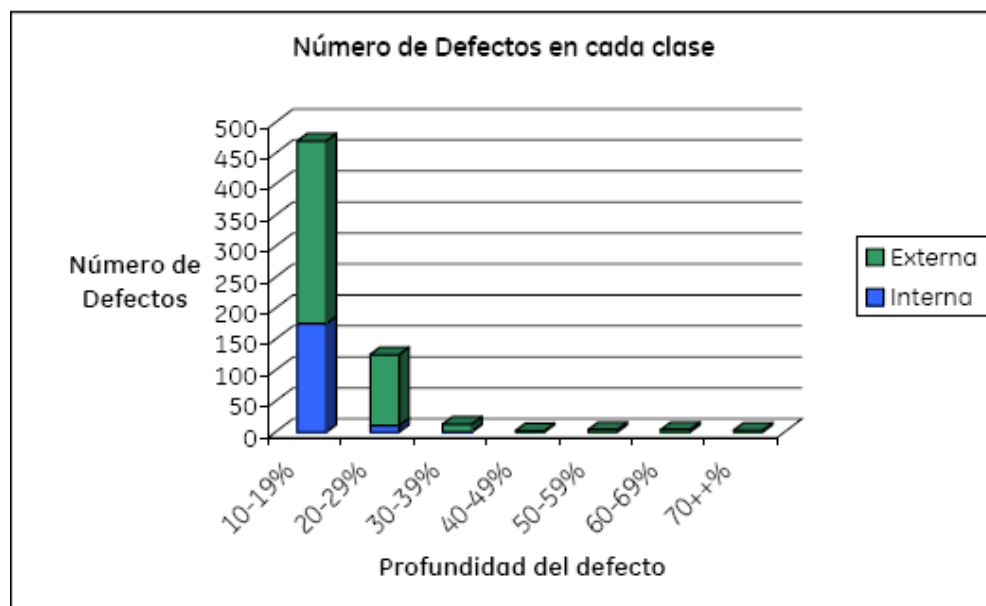
Un total de 621 defectos fueron detectados. Existe corrosión interna y externa en su mayoría en todas las posiciones del reloj a lo largo de la tubería. Los defectos encontrados están entre el 10 % y 70 %++ de pérdida de espesor de la tubería.

**Tabla 2.57 Resumen de defectos Tubería NPF a Pompeya**

Clase	10-19%	20-29%	30-39%	40-49%	50-59%	60-69%	70%++
<b>Interna</b>	175	10	1	0	0	0	0
<b>Externa</b>	295	115	12	2	4	4	3
<b>TOTAL</b>	470	125	13	2	4	4	3

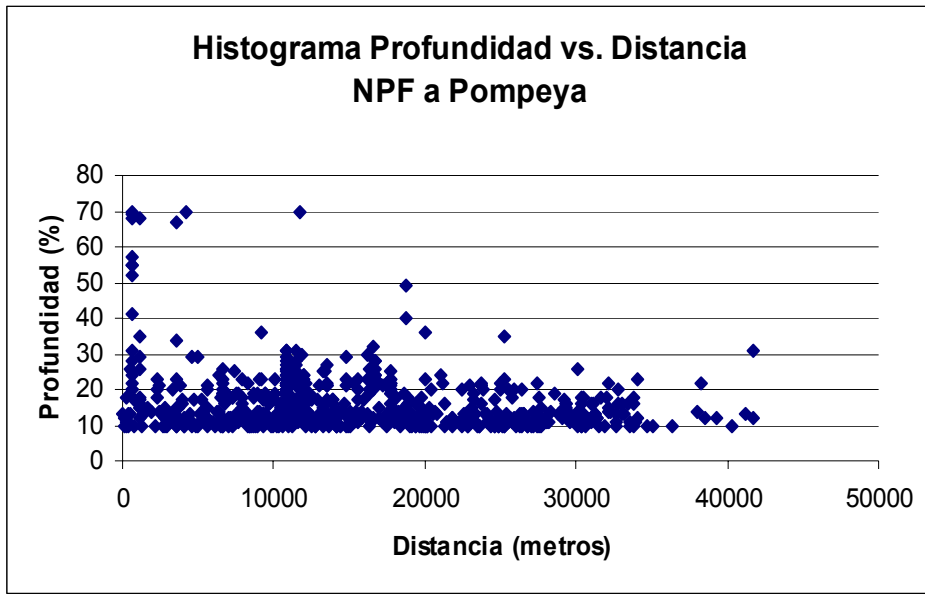
Fuente: GE Energy P II Pipeline Solutions Diciembre 31, 2005

La suma de los defectos externos es de: 435 que es el 70.04 % de todos los defectos existentes.



**Figura 2.49 Defectos tubería NPF a Pompeya Diciembre 31, 2005**





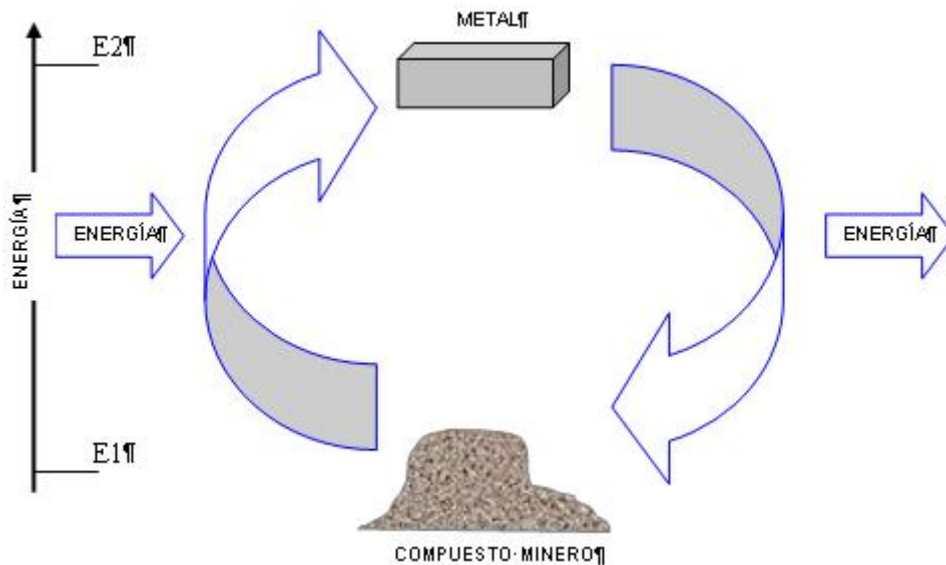
**Figura 2.50 Histograma Profundidad vs. Distancia NPF a Pompeya  
Diciembre 31, 2005**

# CAPITULO 3

## FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA Y CORROSIÓN

### 3.1 CORROSIÓN

Se deduce por corrosión a la interacción de un metal con el medio que lo rodea, produciendo el futuro deterioro en sus propiedades tanto físicas como químicas. La característica fundamental de este fenómeno, es que sólo ocurre en presencia de un electrolito. Este mecanismo que es analizado desde un punto de vista termodinámico electroquímico, indica que el metal tiende a retornar al estado primitivo o de mínima energía, como se ve en la figura 3.1.



**Figura 3.1 Ciclo de los metales**

Los procesos de corrosión de estructuras enterradas dependen de distintos factores propios del metal y del medio donde se encuentran. En este caso las tuberías se encuentran enterradas en el suelo que es un medio heterogéneo en donde se dan muchas variaciones en la velocidad de corrosión. Sin embargo, normalmente podemos considerar que las propiedades del suelo controlan la iniciación y propagación del ataque, siendo las más relevantes las siguientes:

## Resistividad eléctrica, Humedad, Densidad, pH.

### Resistividad

Puede definirse como la dificultad del medio para transportar carga eléctrica. Esta propiedad varía de acuerdo al contenido de humedad y de sales por lo que su medición permite estimar con bastante exactitud el grado de agresividad de un suelo determinado. Adicionalmente, presenta una ventaja con respecto a otras variables: puede determinarse en el sitio con la ayuda de equipos portátiles. Se consideran resistividades menores a 3000  $\Omega \cdot \text{cm}$ . para calificar a un suelo como muy corrosivo.

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} * \frac{A}{L} \quad (3.1)$$

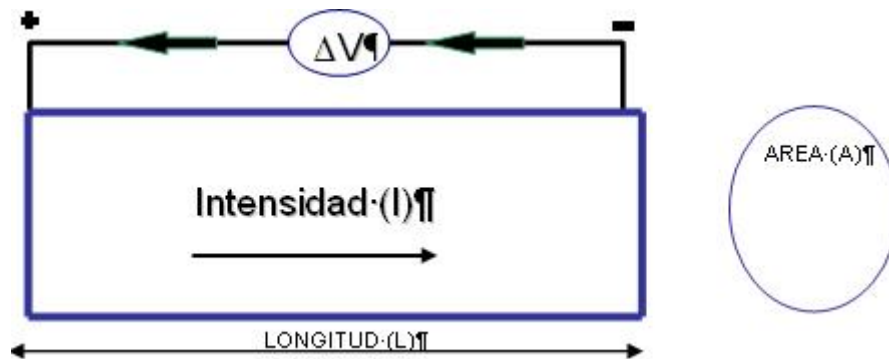


Figura 3.2 Resistividad.

Tabla 3.1 Tabla de resistividades

Resistividad ( $\rho$ ) [ $\Omega \cdot \text{cm}$ .]	Agresividad del Medio
$\rho < 900$	Severamente corrosivo
$900 < \rho < 2300$	Muy corrosivo
$2300 < \rho < 5000$	Moderadamente corrosivo
$5000 < \rho < 10000$	Poco corrosivo
$\rho > 10000$	Muy poco corrosivo

Fuente: CORROSION Volume I Metal Environment Reactions

### Densidad- Humedad

Tanto la densidad como la humedad no son parámetros directamente relacionados con la velocidad o con el potencial de corrosión. No obstante, la norma ASTM C136-84a proporciona una base para selección de backfill aptos para obtener una distribución homogénea de humedad (curvas de distribución

de tamaño de partícula). Debido a que la corrosión de tuberías enterradas es un proceso electroquímico la cual requiere la presencia de un electrolito para su iniciación y posterior deterioro. Esto no implica que la superficie del acero deba estar sumergida en agua, sino que una delgada película de líquido que se asienta en las paredes del tubo es suficiente para sustentar el proceso. Si la concentración de sales en el medio es superior a 200 ppm., la velocidad de corrosión crece constantemente con el porcentaje de humedad.

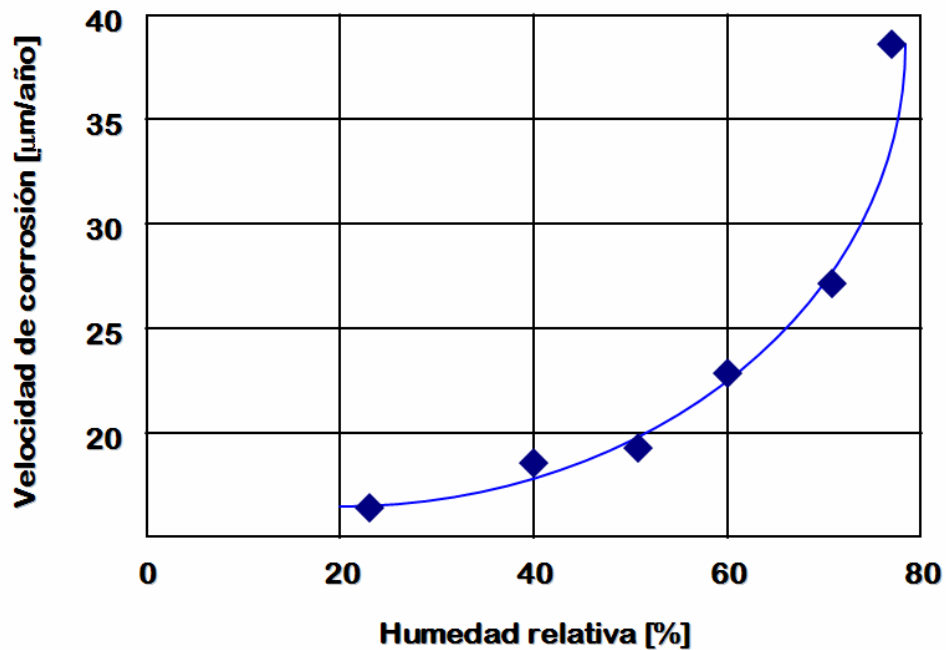


Figura 3.3 Diagrama Velocidad de corrosión- Humedad Relativa

### Ph

El pH es un parámetro indicador del grado de acidez del medio y se define como:

$$pH = -\log(H^+) \quad (3.2)$$

En la ecuación 3.2  $[H^+]$  constituye el porcentaje de protones del medio. La relación entre este parámetro y la tendencia de un metal a corroerse fue establecida por Pourbaix en 1965, quien construyó una serie de diagramas que vinculan el potencial del metal con el pH.

**Tabla 3.2 Ph de suelos**

<b>pH</b>	<b>Acidez del Suelo</b>	<b>Agresividad del Suelo</b>
pH < 4.0	Fuertemente Ácido	Severamente Corrosivo
4.0 <pH<4.5	Muy Acido	
4.5<pH<5.5	Acido	
5.5<pH<6.0	Moderadamente Acido	
6.0<pH<6.6	Poco Acido	Bastante Corrosivo
6.5<pH<7.5	Neutro	Poco
7.5<pH<8.5	Levemente Alcalino	Corrosivo
pH>8.5	Muy Alcalino	Dependiente del Metal

Fuente: CORROSION Volume I Metal Environment Reactions

Existen ciertos metales y revestimientos metálicos que presentan una tendencia a corroerse tanto en suelos con pH ácido como alcalino (zinc y aleaciones de zinc-aluminio). Tanto los aceros al carbono comunes (serie 1000) como los micro-aleados (acero de bajo contenido de carbono) se corroen activamente en medios ácidos, neutros y levemente alcalinos (pH < 8.5). Cuando el pH es superior a 10 el acero se pasiva y las velocidades de corrosión son muy bajas (siempre y cuando los porcentajes de cloruros y sulfatos sean inferiores a 100 ppm y 200 ppm, respectivamente).

En general un proceso de corrosión sin métodos de combate<sup>28</sup> contra el mismo puede generar:

- Pérdida de producto (espesor de la tubería), generaría un aumento en el riesgo de accidentes personales, incendios y explosiones.
- Aumento del riesgo de contaminación ambiental, lo que afectaría al medio ambiente, como la flora y fauna que vive en el sitio.
- Paros del proceso de producción y/o transporte del fluido, generando así pérdidas económicas como elevados costos de reparación y a su vez la disminución del número de barriles de producción diario.

### **3.1.1 MECANISMO QUÍMICO DE LA CORROSIÓN**

El mecanismo de corrosión químico esta caracterizado por una reacción química del metal como agente corrosivo, siempre que exista desplazamiento de electrones envueltos en dirección de otras áreas. El producto de la corrosión

---

<sup>28</sup> Ver 3.1.4 Métodos de combate contra la corrosión

se forma en la superficie del metal expuesta al medio, pudiendo constituir una película que dependiendo del metal, del medio o de las condiciones en que se procesa la reacción, puede presentar diferentes propiedades.

La velocidad de los procesos de oxidación se puede traducir a leyes de crecimiento de las películas producto de la corrosión. Las leyes más frecuentes son:

1) Lineal

En los procesos en que se verifica la ley lineal, el crecimiento de la película esta dado por la expresión:

$$y = Kt + c \quad (3.3)$$

Donde  $y$  es el espesor de la película,  $K$  y  $c$  son constantes y  $t$  el tiempo.

2) Parabólica

Cuando un proceso obedece a la ley parabólica, el crecimiento del espesor de la película esta dado por la expresión:

$$y^2 = k_1t + c_1 \quad (3.4)$$

Donde  $k_1$  y  $c_1$  son constantes y  $t$  el tiempo.

3) Logarítmica

La ley logarítmica expresa una velocidad de crecimiento del espesor de la película de corrosión menor a lo que se encontraba en la ley parabólica. Este crecimiento esta expresado por la ley:

$$y = \log(k_2t) \quad (3.5)$$

Donde  $k_2$  es constante y  $t$  el tiempo.

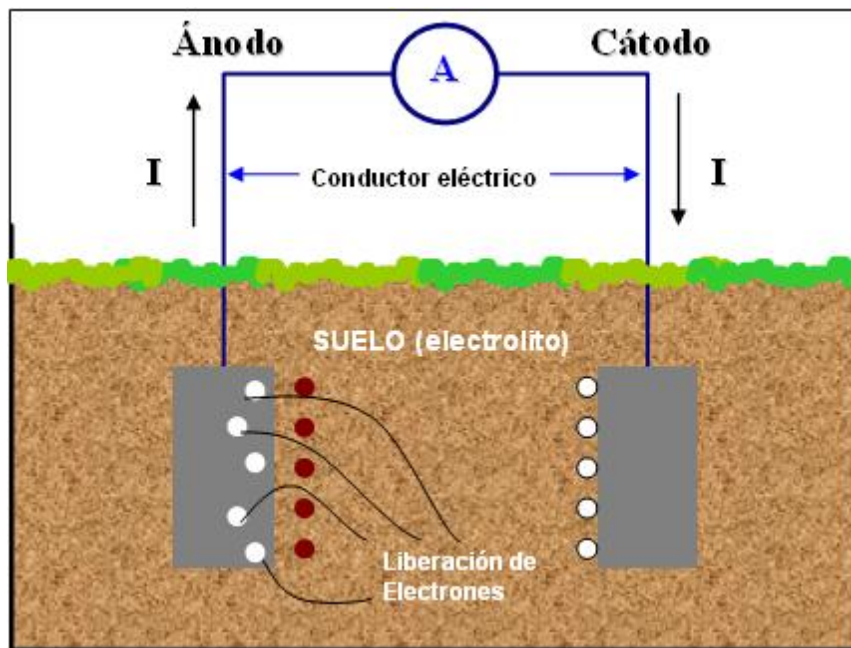
La velocidad de estos procesos varia tanto como con el metal como con la temperatura del medio donde la tubería esta enterrada. Generalmente un proceso de oxidación en sus diversas etapas, envuelve más de una ley, iniciándose con el espesor de la película aumentando según la ley lineal, pasando después para la parabólica, prosiguiendo de acuerdo con la ley logarítmica.

### 3.1.2 MECANISMO ELECTROQUÍMICO DE LA CORROSIÓN

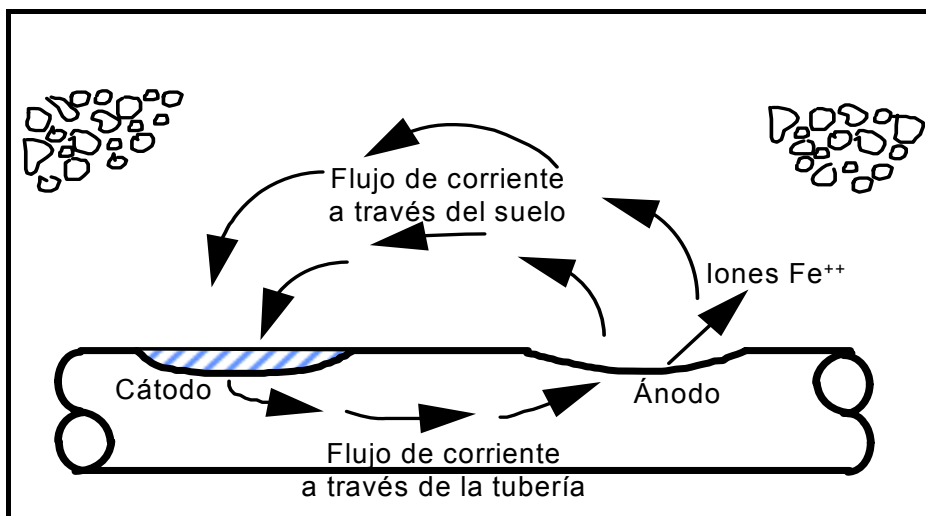
La característica fundamental del mecanismo electroquímico es que solo se verifica en presencia de un electrolito. Una reacción de corrosión esta

compuesta de dos reacciones parciales: una reacción anódica y una reacción catódica que se procesan en puntos distintos.

Una reacción anódica es una reacción de oxidación en la cual los electrones son liberados, los cuales se desplazan hacia otros puntos del metal donde ocurre la reacción catódica, que es una reacción de reducción. Una reacción anódica tiene como consecuencia la disolución del metal. La segunda consecuentemente en la región catódica donde ocurre la inmunidad del metal.

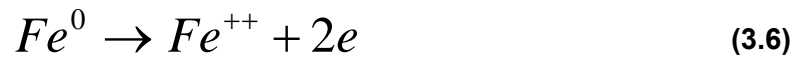


**Figura 3.4 Mecanismo Básico General (1)**



**Figura 3.5 Mecanismo Básico General (2)**

La mayoría de los metales que se encuentran en la naturaleza se encuentran en forma de óxidos metálicos o sales, estos compuestos, son insolubles en el agua más comúnmente encontrada:



Esta pérdida de electrones se denomina oxidación. El hierro iónico va a la solución y deja atrás en el metal, dos electrones.

Los átomos de hierro cargados positivamente se combinan con los iones hidroxilo del medio (suelo, agua), para formar un hidróxido ferroso  $Fe(OH)_2$  luego forma hidróxido férrico  $Fe(OH)_3$  el cual es el producto de la corrosión.

Las zonas metálicas del tubo donde tienen lugar el desprendimiento iónico ( $Fe^{++}$ ) se denominan zonas anódicas y las áreas donde las cargas negativas ( $e^-$ ) se depositan, se denominan zonas catódicas. Cuando la tubería está enterrada, el electrolito que actúa es el suelo, y la atmósfera (agua de condensación) cuando la tubería es aérea.

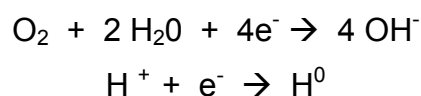
Para obtener el fenómeno de corrosión se requieren cuatro elementos básicos: ánodo, cátodo, conductor eléctrico y electrolito.

### **Ánodo**

Es aquella parte de la superficie del metal (tubería) que esta siendo afectada por el fenómeno de la corrosión. Es el lugar donde el metal se disuelve y pasa a la solución; al momento de ocurrir esto es por que los átomos metálicos pierden electrones y pasan a la solución como iones. Los átomos contienen la misma cantidad de protones y electrones y al ocurrir una perdida de electrones se produce un exceso de carga positiva, formándose un ión positivo.

### **Cátodo**

Es aquella parte de la superficie metálica (tubería) que no se disuelve y es el sitio de otra reacción química necesaria para que ocurra el proceso de corrosión. Los electrones que se liberan al dividir el metal en el ánodo viajan hasta la zona catódica en donde se consumen por la reacción de un agente reductor presente en el agua. El consumo de electrones se llama reacción de reducción.





### **Conductor eléctrico**

Es el medio que conduce los electrones. Normalmente un metal entre el ánodo y el cátodo.

### **Electrolito**

Para que se complete el circuito eléctrico la superficie metálica (tubería), tanto el cátodo como el ánodo, deben estar sumergidos en un medio conductor de electricidad llamado, electrolito. Este medio permite el traspaso de electrones del ánodo al cátodo y luego viceversa.

### **3.1.3 TIPOS DE CORROSIÓN**

Existen diferentes tipos de corrosión que se definen de acuerdo a condiciones particulares en que se procesan, como por ejemplo el tipo de suelo donde están enterradas las tuberías o del metal que se encuentran construidas. A continuación se presenta las más importantes.

#### **3.1.3.1 CORROSIÓN UNIFORME**

Es la corrosión que se produce con la reducción uniforme del espesor de la tubería durante un espacio de tiempo enterrada. Por lo tanto, se puede decir que es un deterioro superficial a muy bajas concentraciones.

#### **3.1.3.2 CORROSIÓN GALVÁNICA**

Es la corrosión resultante del contacto de dos materiales distintos, en presencia de un electrolito. Este tipo de corrosión tendrá una mayor intensidad, si los materiales se encuentran más alejados en la tabla de potenciales electroquímicos, sin considerar el electrolito donde se encuentran enterrados.

Es también de gran influencia la relación entre las áreas anódicas y catódicas. Esta relación deberá ser la mayor posible para que el desgaste del espesor de las tuberías sea menor y más uniforme en el área anódica.

#### **3.1.3.3 CORROSIÓN ELECTROLÍTICA**

Es la corrosión resultante de los procesos de naturaleza electroquímica, afectando a las estructuras metálicas enterradas, como son los oleoductos. Esto se produce por un flujo no deseado de corriente continua dispersa en el electrolito.

#### **3.1.3.4 CORROSIÓN INTERGRANULAR**

También llamada ínter cristalina, la misma que ocurre con mayor frecuencia en metales y aleaciones. Este proceso de corrosión se ubica en los límites de grano que son zonas de alta energía debido a la gran proporción de dislocaciones en la estructura natural del material.

#### **3.1.3.5 CORROSIÓN PROVOCADA POR EL SUELO**

Es el proceso corrosivo que se da en estructuras enterradas. Generalmente estas estructuras son: oleoductos, tanques enterrados, líneas de flujo en general. La intensidad de esta corrosión depende de factores como la humedad y pH del propio suelo. Normalmente en la práctica se utiliza el factor de la resistividad del suelo para medir la agresividad del mismo (Ver Tabla 3.2 Ph Suelos). Un suelo de resistividad baja es más agresivo, en cuanto que uno de elevada resistividad es menos agresivo. Otros factores que pueden influenciar en la corrosividad del suelo son:

- Permeabilidad del suelo: suelos más permeables permiten respiración por parte de la tubería y consecuentemente mayor grado de corrosión.
- Presencia de bacterias: ciertos tipos de bacterias pueden ser causantes de acelerar el proceso corrosivo.
- Presencia de contaminantes: los contaminantes pueden darle un grado mayor de agresividad al suelo.

#### **3.1.3.6 CORROSIÓN POR BACTERIAS O CORROSIÓN MICROBIOLÓGICA**

Es la corrosión donde organismos biológicos son causa de la aceleración del proceso de corrosión. Este tipo de afectación al metal se da más en medio acuoso donde las tuberías están sumergidas o flotando. En sí este fenómeno ocurre cuando organismos biológicos presentes en el agua actúan en la superficie del metal, provocando el transporte del oxígeno hacia la cara externa del mismo, generando así una aceleración de la corrosión.

#### **3.1.3.7 CORROSIÓN POR PICADURAS**

Las picaduras ocurren normalmente en zonas localizadas, como por ejemplo juntas soldadas como chapas sobrepuestas, en uniones bridadas y roscadas, que son zonas de baja corrosión generalizada. En sí, es un proceso de disolución anódica local donde la pérdida de metal es acelerada por la presencia de un ánodo pequeño y un cátodo mucho mayor.

### **3.1.4 MÉTODOS DE COMBATE CONTRA LA CORROSIÓN**

#### **3.1.4.1 MÉTODO DE DISEÑO**

Como ya se hablo anteriormente, la corrosión puede estar presente tanto dentro como fuera en una tubería. Por lo tanto este agente destructivo debe ser controlado o mitigado desde el inicio del diseño y construcción de la estructura metálica.

Existen detalles que el diseñador debe tomar en cuenta el momento de la instalación de la tubería y sus accesorios para que estos no provoquen una retención de líquidos que luego sean causantes de una corrosión localizada.

Además, el manejo adecuado de la tubería durante su almacenamiento, transporte e instalación debe ser supervisado para que no existan golpes o rajaduras de la tubería que luego causen externamente corrosión localizada.

Durante el montaje de la tubería se tiene como prioridad unir las tuberías mediante tie ins<sup>29</sup>, ya que la presencia de muchos accesorios como uniones bridadas o roscadas generarían que el fluido turbulento transportado golpee a los mismos y genere desprendimiento de material, provocando así corrosión por picadura.

#### **3.1.4.2 SELECCIÓN DE MATERIALES**

Este método consiste en la utilización de metales o aleaciones metálicas de mayor resistencia a cada tipo específico de corrosión, o más propiamente, en la selección del material metálico adecuado para un determinado medio corrosivo.

En estos métodos están incluidos:

- Utilización de aleaciones resistentes a la corrosión:
- Algunos metales y particularmente el acero, se tornan más resistentes a la corrosión con la adición de determinados elementos de aleación como Cr, Ni, Mo, Cu, Nb.
- Aplicación de tratamientos térmicos para el aumento de la resistencia de corrosión.

La aplicación de tratamiento térmico de alivio de tensiones aumenta la resistencia a la corrosión del material metálico.

---

<sup>29</sup> Tie-in.- Es a la unión de dos sectores de tubería que deben juntarse en un determinado sitio para completar un tramo.

La utilización de las aleaciones metálicas resistentes a la corrosión constituye generalmente en una solución más cara que la utilización de acero al carbono como de otros métodos de protección anticorrosiva. La aplicación de estos materiales más resistentes es indicada para unidades de proceso en la industria del petróleo, química y petroquímica, donde la alta agresividad, como altas temperaturas y las condiciones particulares de sus procesos imposibilitan el uso de otros métodos de protección.

El empleo de aceros resistentes a la corrosión atmosférica, son aceros que contienen pequeños porcentajes de cobre, fósforo y más recientemente niobio, siendo muy frecuente su uso en puentes, viaductos, inclusive edificios.

### **3.1.4.3 Modificación del medio corrosivo**

Son métodos que tienen como objetivo modificar la agresividad del medio corrosivo a través de la alteración en sus características físicas o químicas, o también a través de la adición al medio de determinados compuestos, como inhibidores de corrosión por ejemplo. Entre estos métodos están incluidos:

- Disminución de temperatura

Con la disminución de temperatura, se disminuye en general la velocidad de las reacciones, teniendo así de esta forma una disminución en la agresividad del medio corrosivo.

- Empleo de desaeración

El oxígeno es un importante elemento de control de los procesos corrosivos. Si se hace un retiro del mismo este propicia una mayor polarización en las áreas catódicas, disminuyendo con esto la agresividad del medio. Entre los métodos más comunes se encuentran, particularmente para el agua un tratamiento con sulfito de sodio, de acuerdo con la reacción:  $(\text{Na}_2\text{SO}_3 + 1/2 \text{O}_2 = \text{Na}_2\text{SO}_4)$ , o tratamiento con la hidrazina ( $\text{N}_2\text{H}_4 + \text{O}_2 = \text{N}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ ) y la desaeración por acción mecánica con vapor, con gas inerte y por medio de vacío. La desaeración mecánica es hecha en desaeradores, en los cuales el agua es pasada en sentido contrario a al corriente con descargas de vapor o gas inerte. Puede ser hecha también en cámara de vacío.

- Empleo de inhibidores de corrosión

Los inhibidores de corrosión son compuestos químicos que adicionados a un medio corrosivo, disminuyen o eliminan su agresividad. Los principales tipos de

inhibidores son los anódicos, los catódicos y los formadores de película. Los inhibidores anódicos son compuestos que inhiben las reacciones anódicas, por la formación de compuestos insolubles en estas áreas. Los inhibidores catódicos son compuestos que inhiben los procesos catódicos, como resultado de la formación de productos insolubles en estas áreas. En consecuencia la inhibición de las reacciones catódicas, las reacciones anódicas quedan bloqueadas. Son ejemplos de estos inhibidores los sulfatos de Zn, Mg y Ni. Los inhibidores formadores de película crean una capa protectora simultáneamente sobre las áreas anódicas y catódicas, impidiendo así la acción del medio sobre el metal.

#### **3.1.4.4 Revestimientos**

Los revestimientos protectores son fundamentalmente la barrera que existe entre el medio corrosivo y el cuerpo de la tubería. Existen varios tipos de revestimientos que se usan para el combate y control de la corrosión:

- Revestimientos orgánicos
- Revestimientos inorgánicos
- Revestimientos metálicos

##### **Revestimientos orgánicos**

Este tipo de revestimiento consiste en la utilización de un material de naturaleza orgánica, para la interposición del medio corrosivo con la superficie metálica de la tubería. Los principales revestimientos utilizados son los siguientes:

##### 1) Pintura Industrial

Este método es usado para el control de la corrosión en estructuras aéreas o enterradas en un medio. La pintura es un revestimiento de muy poco espesor (120 a 500  $\mu m$ ), que se aplica en la cara externa de la tubería.

Un sistema de pintura normalmente se conforma de tres capas. La primera o fondo, una intermedia y de acabado final. El fondo y la intermedia tienen como finalidad la protección anticorrosiva y el acabado final tiene como función dar el aspecto final al sistema.

Los sistemas de pintura más comunes son:

- Sistemas ricos en zinc
- Sistemas acrílicos

- Sistemas con poliuretano
- Sistemas con silicón
- Sistemas epóxicos
- Sistemas vinílicos
- Sistemas de caucho tratado con cloro

La selección de un sistema de pintura dependerá de la agresividad del medio corrosivo donde se instale la tubería, además de las condiciones de operación de la tubería como temperatura de operación y fluido transportado.

## 2) Revestimientos con caucho

Estos revestimientos consisten en recubrir la tubería con una capa de caucho. Este método es más utilizado en la industria química donde se trabajan con medios altamente corrosivos que no afectan al caucho.

## 3) Revestimientos para tuberías enterradas o sumergidas

Tuberías enterradas como oleoductos, gasoductos son generalmente protegidas contra la corrosión por revestimientos de alto espesor. Entre los más importantes se destacan los siguientes:

### a) Revestimiento con esmalte de alquitrán de carbón (Col –tar):

Posee el mayor número de buenas características entre todos los que serán nombrados. Es aplicado en dos espesores, una de 3 a 5 mm llamado revestimiento simple, y dos de 6 a 8 mm llamado revestimiento doble. Los revestimientos simples son usados normalmente, y el revestimiento doble es usado en medios altamente agresivos.

### b) Revestimiento con fibras plásticas:

Estos revestimientos son elaborados con la unión de dos materiales que son: fibras de polietileno y PVC de poliéster. Estas fibras son aplicadas helicoidalmente con una superposición de capas. Generalmente, antes de ser aplicado este revestimiento en la tubería, se aplica una pintura vinílica que permita la limpieza de la superficie.

### c) Revestimiento con espuma rígida de poliuretano:

Este es un revestimiento de alto espesor (25 a 50 mm). Se lo debe utilizar cuando a más de evitar el fenómeno de la corrosión deseamos aislar térmicamente la tubería.

d) Revestimiento con Epoxy (alquitrán de carbón):

Es usado en espesores del orden de 500  $\mu m$ . Posee poca resistencia mecánica, siendo por tanto un revestimiento precario en tuberías enterradas. Como el mantenimiento de líneas enterradas es difícil, la utilización de este revestimiento sería bueno recomendado para obras pequeñas o de corto recorrido, aún en suelos de alta resistividad.

### **Revestimientos Inorgánicos**

Este tipo de revestimiento consiste en la interposición del medio corrosivo con la tubería a proteger por medio de una capa no metálica, inorgánica. Estos mecanismos de protección son esencialmente por barrera y por inhibición anódica. Entre los principales tipos están los siguientes:

1) Anodización

Este método de protección consiste en crear una capa protectora mas espesa. Este mecanismo que es un proceso electrolítico en el cual es posible transformar la superficie del aluminio en óxido de aluminio, ofreciendo así a la tubería una gran resistencia química. Para garantizar una máxima protección, el espesor de la capa puede alcanzar las 25  $\mu m$ .

2) Cromatización

Este mecanismo consiste en la formación de una capa de cromatos en la superficie de las tuberías. Esto se logra con la inmersión de la tubería en un baño cromatizante. Este método aumentará la resistencia a la corrosión.

3) Fosfatización

Este mecanismo consiste en la formación de una capa de fosfatos en la superficie de la tubería. La capa de fosfatos inhibe los procesos corrosivos. Además, este método es un proceso aplicado en la industria de autos y electrodomésticos.

4) Revestimiento con mortero de cemento.

Este revestimiento en la aplicación de una capa de mortero de cemento con espesores mayores a 3 mm, sobre la superficie de la tubería, puede ser esta interna o externa. Este método es utilizado es su mayoría para transporte de agua salada.

### 3.1.4.5 Inhibidores

Entre los métodos activos de protección contra la corrosión tenemos la utilización de inhibidores de corrosión. Se considera uno de los métodos más, más difundido en la lucha contra la corrosión electroquímica.

A parte de los beneficios indirectos que se pueden derivar del correcto empleo de los inhibidores se destacan como principales beneficios los siguientes:

- Reducen sustancialmente las pérdidas por corrosión.
- En ocasiones permiten la utilización de aleaciones más baratas.
- Aumentan la vida útil en servicio de las instalaciones y equipos.

Según la NACE<sup>30</sup>, los inhibidores son sustancias que retardan la corrosión cuando se añaden a un medio corrosivo, en concentraciones pequeñas.

Sin embargo, la definición es amplia, ya que en ella pueden incluirse sustancias que alteran la concentración de los agentes oxidantes o de otros agentes agresivos del medio:

El sulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) y la Hidrazina ( $\text{N}_2\text{H}_4$ ): estas sustancias son fuertes reductoras del oxígeno y el proceso consiste en la eliminación del oxígeno disuelto por reacción química.

El ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ): la adición de gotas de ácido sulfúrico en un medio básico, puede reducir notablemente la velocidad de corrosión del aluminio.

En cuanto a la cantidad de inhibidor a adicionar, no hay un criterio único al respecto, por lo general se adicionan desde el orden de los ppm hasta los g/l pero se plantea que esa cantidad no debe sobrepasar los 5 g/l.

Los inhibidores en su acción superficial varían la velocidad de las reacciones de oxidación / reducción entre el metal y el medio oxidante. La forma en que esto se realiza, es decir, el mecanismo de acción, puede variar en dependencia de la naturaleza del inhibidor, sus propiedades químicas, las características del metal y del medio corrosivo. Por esta razón, los inhibidores pueden clasificarse desde muchos puntos de vista.

- Según su naturaleza química
- Según el proceso o semi reacción de retardo
- Según su peligrosidad

---

<sup>30</sup> NACE.- National Association of Corrosion Engineers



- Según la sustancia que realmente inhibe
- Según el carácter iónico del inhibidor
- Según el medio corrosivo en que resultan efectivos
- Según el tipo de corrosión que combaten
- Según el sistema donde se aplican
- Según el mecanismo de su acción

#### **3.1.4.6 Protección catódica**

La protección catódica es un método de protección de estructuras metálicas<sup>31</sup> sujetas a corrosión húmeda. Es una técnica electroquímica aplicada para la protección de los metales especialmente en ambientes naturales (aguas terrenos). No puede ser usada en estructuras aéreas ya que necesita de un electrolito continuo. Este tipo de protección contra la corrosión, es una alternativa menos costosa ya que las tuberías que se encuentran protegidas con este mecanismo tienen una mayor durabilidad y mejor confiabilidad de trabajo, generando así un beneficio económico a la empresa.

#### **3.1.4.7 Protección anódica**

Es un método de control de la corrosión, que consiste en imponer a una superficie que se desea proteger un potencial anódico. Este mecanismo no solo propicia una formación de una película protectora sino que principalmente la mantiene estable.

## **3.2 PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA PROTECCIÓN CATODICA**

### **3.2.1 HISTORIA**

La historia de la protección catódica data de principios del siglo XIX, cuando la electroquímica estaba dando sus primeros pasos, principalmente en Inglaterra. Entre los científicos más importantes de la época se encuentran Faraday, Marianini, Becquerel, Walter y particularmente Sir Humphrey Davy. Este científico realizó un trabajo extraordinario en el campo de la electroquímica. En 1823 fue parte del Almirantado Británico para estudiar una solución a los problemas de corrosión en el lata de cobre que revestía el casco de madera de los barcos de guerra de su Majestad.

---

<sup>31</sup> Estructura metálica.- En esta tesis se refiere a las tuberías.

Dotado de incomparable espíritu investigador, Sir Humphrey Davy realizó estudios y experiencias que sorprenderán hasta los investigadores modernos. En cierto punto de la lectura del día 22 de Enero de 1824, en la sociedad Real de Londres, dice: El cobre es un metal apenas ligeramente positivo en la escala electroquímica y de acuerdo con mis ideas, el solo puede ser atacado en el agua de mar cuando este en un estado positivo; y, consecuentemente, se le puede tornar ligeramente negativo, para que la acción corrosiva del agua de mar sobre el sea nula. A fin de transformar aquel estado eléctrico, Davy tuvo experiencias con ánodos de hierro, estaño y de zinc para proteger el cobre, teniendo resultados satisfactorios en diversas condiciones. Durante cierto tiempo, el hierro fundido fue preferido, sin embargo el zinc tuvo un uso mas frecuente, tanto así que cuando los cascos de los barcos hechos en madera y revestidos de cobre, fueron substituidos por cascos de acero.

Después de esta época de intenso trabajo, fue seguido un largo periodo prácticamente sin noticias sobre el desenvolvimiento técnico de este proceso de protección anticorrosiva. Morgan y Lehmann reportan que en 1840/41 el Instituto de Ingenieros Civiles de Inglaterra encomiendan a Robert Mallet un estudio sobre corrosión de estacas metálicas en estuarios, teniendo el recomendado uso e ánodos de zinc y galvanización para resolver el problema.

Con el desenvolvimiento de la industria del petróleo, aumento mucho la demanda de combustibles líquidos y gaseosos, de modo que, en la década de los 20, para el transporte económico de grandes cantidades de estos combustibles, las empresas principalmente en los Estados Unidos y en Medio Oriente, pasaron a usar oleoductos y gasoductos construidos con tubos de acero, los cuales eran enterrados sin ninguna proyección. Al final de la década, los problemas de corrosión externa eran más grandes y la tasa de crecimiento del número de puntos afectados por la corrosión era casi alarmante.

Considerables resultados fueron obtenidos con la aplicación de revestimientos en los trechos situados en los suelos más agresivos. Fue cuando la protección catódica se volvió un escenario técnico, inicialmente con ánodos galvánicos y luego con el tiempo y desarrollo a los sistemas por corriente impresa.

### **3.2.2 CAMPOS DE APLICACIÓN**

El campo de aplicación de la protección catódica es muy amplio, pero depende de una característica fundamental para su funcionamiento, y es que la

estructura debe encontrarse en contacto con un electrolito en el cual se instala un ánodo o conjunto de ánodos, por medio de los cuales se proveerá de corriente necesaria a la estructura metálica (tubería) para su protección.

Entre las instalaciones más comunes en que se aplica la protección catódica están: tuberías enterradas como gasoductos, oleoductos. También es frecuente el empleo de esta protección en cables de telecomunicaciones y cables de fuerza con revestimiento metálico. Además, se usa para reforzar estructuras de concreto enterradas y sumergidas, principalmente en el mar.

Las instalaciones marítimas constituyen otro amplio campo de aplicación para la protección catódica. Un ejemplo es el uso de este método de aplicación en embarcaciones metálicas de cualquier tipo, plataformas metálicas para exploración y producción de petróleo (Offshore). A continuación se muestra una lista resumida en donde se aplica la protección catódica:

**Enterradas:**

- Pozos (Petróleo, agua, gas)
- Tuberías de conducción de fluidos.
- Tuberías de drenaje y suministro de agua.
- Tanques y cisternas.
- Acero en concreto.
- Cables
- Red anti-incendios.

**Sumergidas:**

- Tuberías de bombeo de agua.
- Bombas sumergidas
- Cascos de embarcaciones
- Muelles flotantes
- Apilamiento de láminas.
- Amarraderos.

**Estructuras de Concreto:**

- Puentes
- Túneles
- Bodegas

### 3.2.3 MECANISMO BÁSICO

La protección catódica reduce la velocidad de corrosión polarizando la superficie metálica a valores más negativos que el potencial de corrosión o potencial de reposo. Como podemos ver en la siguiente tabla 3. y las figuras 3. el Acero/ hierro tiene un potencial de reposo de – 500 mV. Luego de conectarse con un ánodo (Aleación de Magnesio) de potencial en reposo – 1550 mV, el acero obtendrá un valor más negativo que su potencial de corrosión en reposo que es – 850 mV, obteniéndose así la protección o inmunidad deseada.

**Tabla 3.3 Potenciales en reposo de algunos materiales**

Material	Potencial en reposo (mV) Cu/CuSO4
Aleación de magnesio	-1550
Zinc	-1100
Aleación de aluminio	-1050
Acero / hierro	-500
Acero con herrumbre	-300
Cobre/ estaño	-200

Fuente: Shell Global Solutions

Si consideramos el caso del hierro disolviéndose en una solución diluida, aireada y neutra, las reacciones anódicas (disolución del metal) y catódica (reducción de alguna especie) son las siguientes:

#### Reacción anódica



#### Reacción catódica



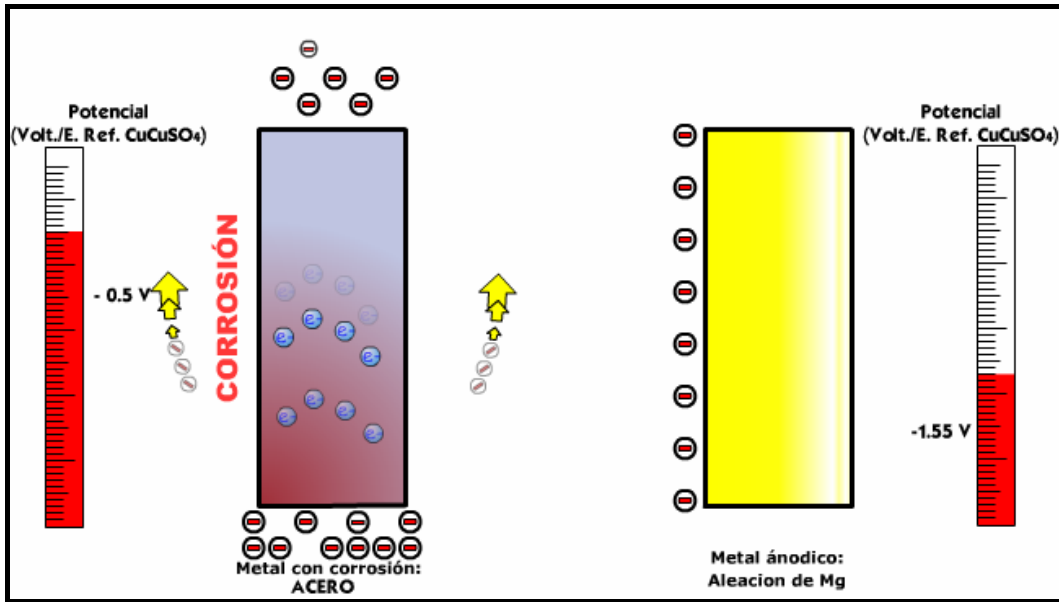


Figura 3.6 Mecanismo de Protección Catódica (1)

Fuente: <http://www.wviprocat.com/es>

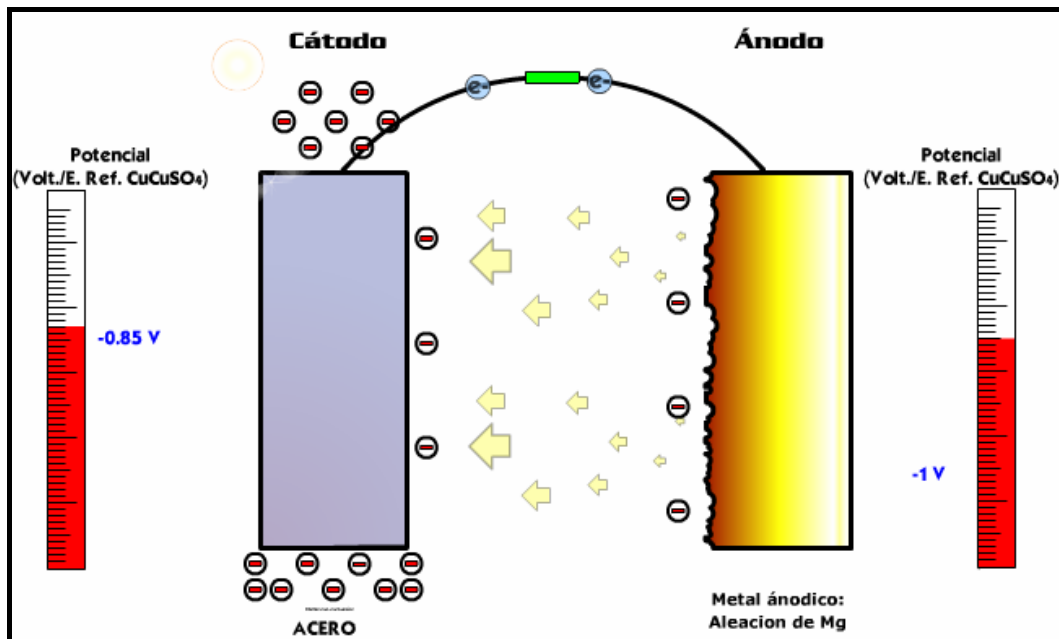
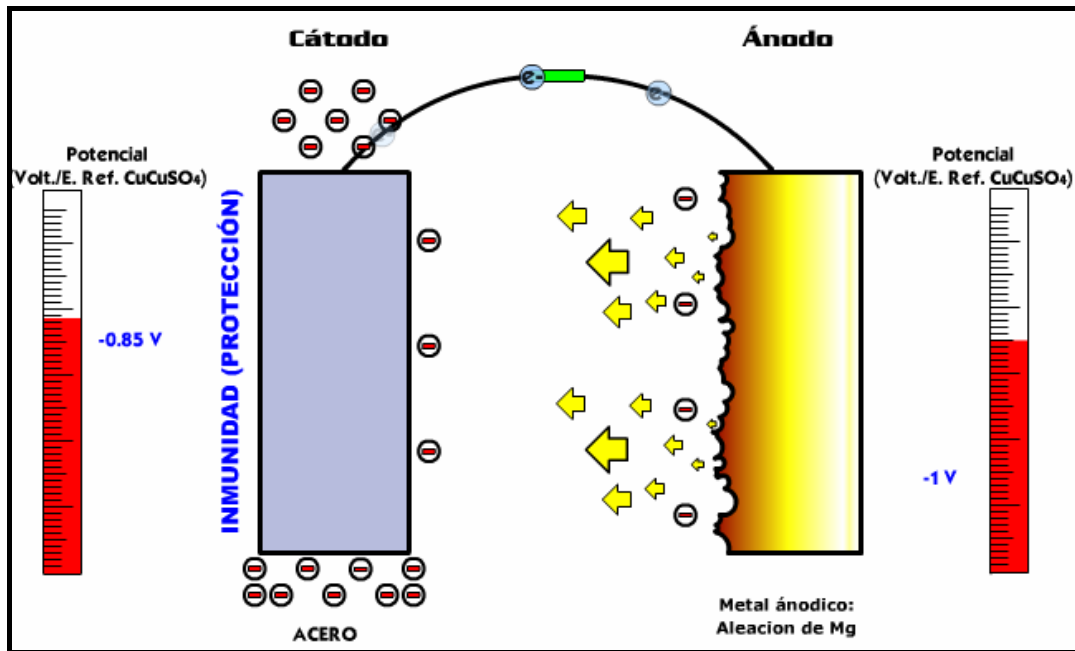


Figura 3.7 Mecanismo de Protección Catódica (2)

Fuente: <http://www.wviprocat.com/es>



**Figura 3.8 Mecanismo de Protección Catódica (3)**

Fuente: <http://www.wviprocat.com/es>

### 3.2.4 TIPOS DE PROTECCIÓN CATÓDICA

#### 3.2.4.1 Protección catódica galvánica o por ánodos de sacrificio

En la protección catódica galvánica, la corriente eléctrica es promovida por la fuerza electromotriz existente entre el metal a proteger y el otro metal escogido como ánodo (metal protector), como resultado de sus diferentes potenciales electroquímicos.

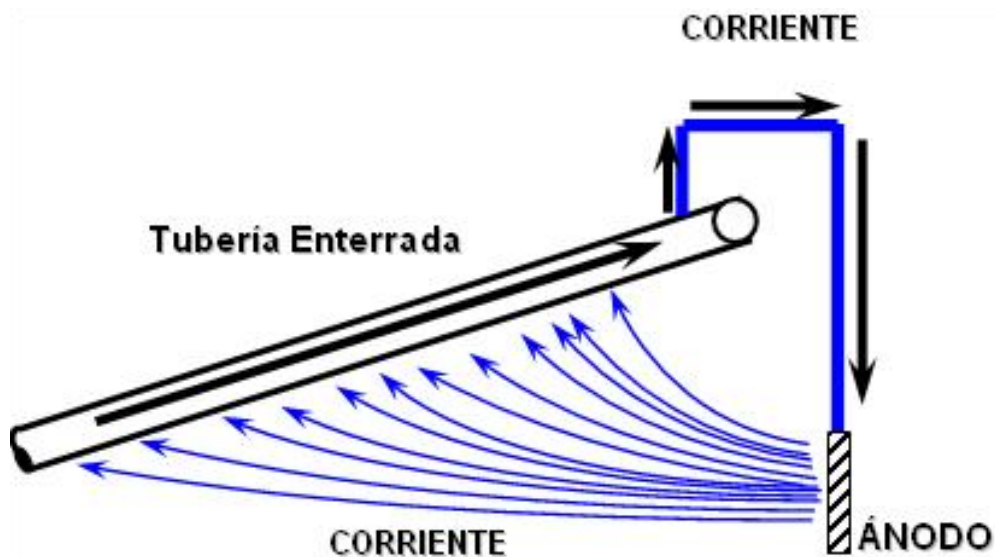
En la práctica, los materiales metálicos empleados como ánodos son aleaciones de Zn, Mg, y Al, por estar entre los que representan una mayor diferencia de potencial en relación a los materiales metálicos más comúnmente usados en las estructuras que serán protegidas. Las diferencias de potenciales galvánicos serán relativamente pequeñas, por lo general no superiores a 1,2 V, para que se tenga una inyección de corriente capaz de proteger la estructura enterrada, es necesario que la resistencia global del circuito sea baja. De este hecho resulta que la protección galvánica es solamente eficiente en electrolitos de baja resistividad eléctrica, como agua de mar o suelos hasta 6000 (ohm.cm), para ánodos de magnesio. Para ánodos de zinc, este límite es mucho más bajo, no debiendo exceder 1500 (ohm.cm). Es generalmente usado para estructuras pequeñas, siendo todo lo contrario para estructuras grandes.

Una desventaja de este sistema de protección, es la reposición de los ánodos enterrados. Por otro lado, tiene como ventaja ser menos sujeto de interrupciones en su funcionamiento.

Los sistemas de protección galvánicos presentan también como limitaciones de aplicación, no ser apropiados para estructuras sujetas a fuertes corrientes de interferencia y prácticamente no permiten una regulación de la corriente inyectada a la estructura.

Los sistemas de protección catódica galvánica constan de algunos elementos para su funcionamiento que son:

- Ánodo
- Relleno (backfill) del ánodo
- Cableado
- Conexión ánodo-estructura



**Figura 3.9 Esquema simplificado de un sistema de Protección Catódica Galvánica.**

Fuente: NACE Training and Certification.

## Ánodos de Magnesio



**Figura 3.10** Ánodos de magnesio para uso en suelos (fundidos y extruídos). Tipo cinta y barras

**Aleación Standard (H-1, AZ63):** para uso en suelos de baja resistividad y agua.

**Aleación de Alto Potencial:** posee un mayor voltaje que la aleación Standard para su uso en ambientes de alta resistividad.

## Ánodos de Zinc



**Figura 3.11** Ánodos de Zinc para uso en Suelos y Tipo Cinta (Fundidos y extruídos)

**MIL-A-18001 o ASTM B418 Tipo I** – para uso en aguas saladas o salobres.

**ASTM B418 Tipo II** - alta pureza para uso en suelos y en aguas dulces.



## **Aleaciones de aluminio**

Aleación 1: contiene zinc y mercurio, para uso en agua de mar

Aleación 2: contiene zinc y mercurio para uso en lodo salino.

Aleación 3: contiene zinc e indio para uso en agua de mar, aguas salobres y lodo salino.

### **Aplicaciones para Ánodos Galvánicos**

- Cuando se requieren incrementos de corriente relativamente pequeños y/o el electrolito es de baja resistividad.
- Protección catódica localizada para suministrar corriente a un área específica de la estructura.
- Se necesita corriente adicional en áreas problemáticas.
- En zonas de descarga de corrientes ajenas o parásitas.
- Superficies interiores de recipientes
- Estructuras offshore (En el mar)

### **Relleno Anódico**

#### **Objetivos**

- baja resistividad (<50 ohm-cm)
- retención de agua
- medio uniforme

#### **Tipos de Relleno Usuales**

##### **Ánodos de Magnesio**

- 75% Yeso Hidratado
- 20% Arcilla bentonítica
- 5% Sulfato de Sodio

##### **Ánodos de Zinc**

- 50% Yeso Hidratado
- 50% Arcilla bentonítica

### 3.2.4.2 Protección catódica por corriente impresa.

En este sistema (Figura 3.12) se mantiene el mismo principio fundamental que en el anterior tipo de protección catódica, pero tomando en cuenta las limitaciones del material, costo y diferencia de potencial con los ánodos de sacrificio. Se ha ideado este sistema mediante el cual el flujo de corriente requerido, se origina en una fuente de corriente generadora continua regulable o simplemente se hace uso de los rectificadores, que alimentados por corriente alterna ofrecen una corriente eléctrica continua apta para la protección de la estructura.

La dispersión de la corriente eléctrica en el electrolito se efectúa mediante la ayuda de ánodos inertes cuyas características y aplicación dependen del electrolito. El terminal positivo de la fuente debe siempre estar conectado a la cama de ánodos, a fin de forzar la descarga de corriente de protección para la estructura. Este tipo de sistema trae consigo el beneficio de que los materiales a usar en la cama de ánodos se consumen a velocidades menores, pudiendo descargar mayores cantidades de corriente y mantener una vida más amplia.

En virtud de que todo elemento metálico conectado o en contacto con el terminal positivo de la fuente e inmerso en el electrolito es un punto de drenaje de corriente forzada y por lo tanto de corrosión.

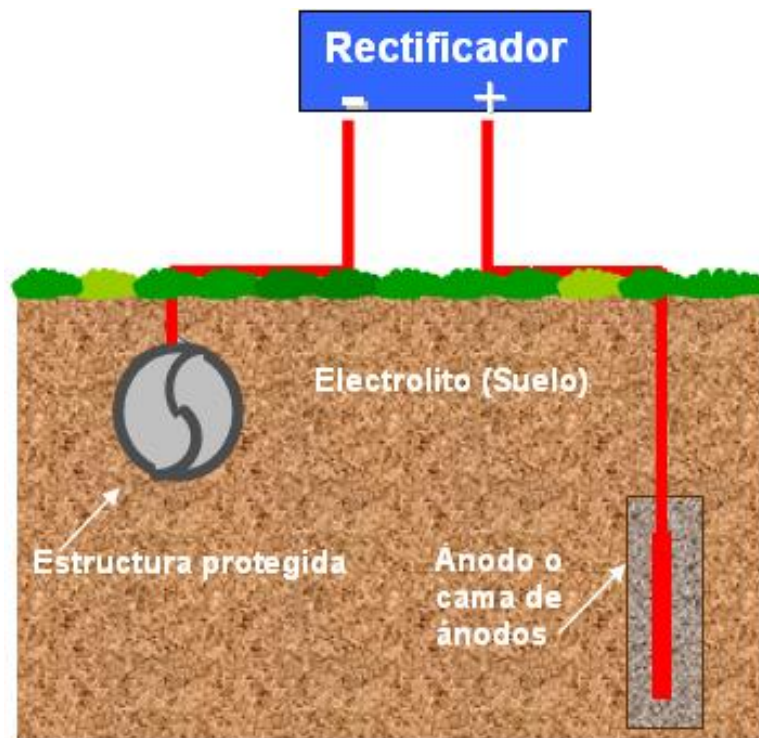


Figura 3.12 Protección catódica por corriente impresa

### **Algunos usos típicos de Sistemas por Corriente Impresa:**

- Grandes requerimientos de corriente, especialmente para estructuras desnudas o mal revestidas.
- Para cualquier resistividad del electrolito.
- Como modo económico de proteger estructuras una vez consumidos los ánodos galvánicos.
- Para resolver problemas de interferencia o corrientes vagabundas.
- Para proteger las cajas de agua de grandes intercambiadores de calor, calentadores-calentadores de petróleo y otros recipientes
- Para interior de tanques de almacenamiento de agua
- Para tanques de almacenamiento enterrados
- Para componentes bajo agua en estructuras off shore<sup>32</sup>

### **Ánodos de Corriente Impresa**

- Carbón (Grafito)
- Polímero conductor
- Hierro Silicio
- Plomo-Plata
- Mezcla Óxidos Metálicos (Mixed Metal Oxide)
- Platino
- Metal de Deshecho
- Metalizado por Spray de Zinc y Aluminio
- Magnetita
- Aluminio

---

<sup>32</sup> Off – shore.- Instalaciones ubicadas en medio del mar.

## Carbón (Grafito)



**Figura 3.13 Carbón (Grafito)**

El grafito es útil en:

- Suelos
- Agua de mar
- Lodos

Es prácticamente inmune al ataque de cloro y es generalmente impregnado con un sellador para impedir fallas mecánicas, ya que el grafito es un material frágil. Esta disponible en forma de ánodos cilíndricos.

### **Velocidades de consumo:**

0.45 Kg. / A-año en Agua de mar o Dulce

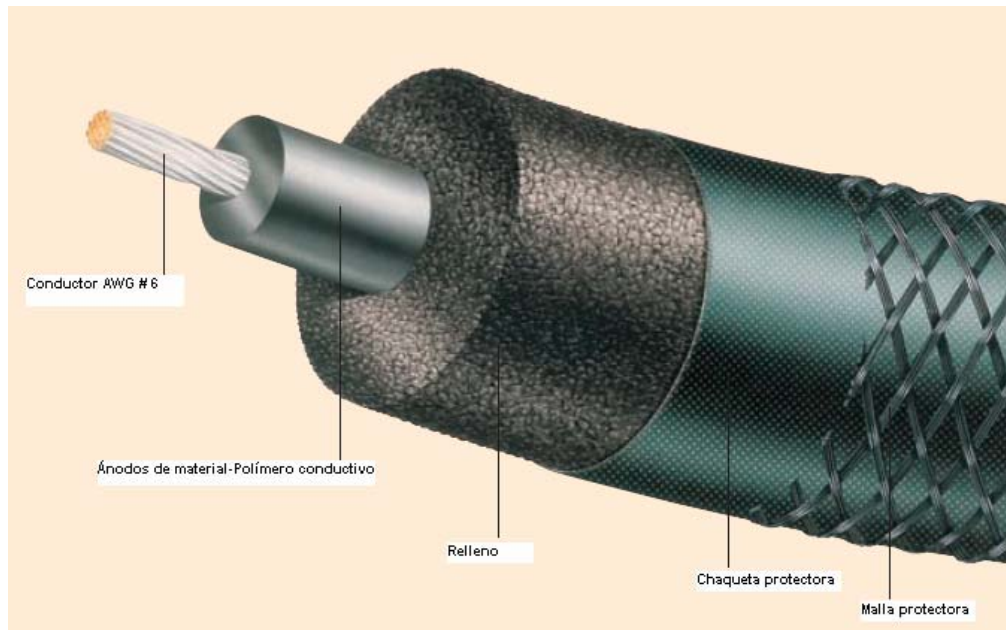
0.9 Kg. /A-año en Relleno

1.36 Kg. /A-año en lodo

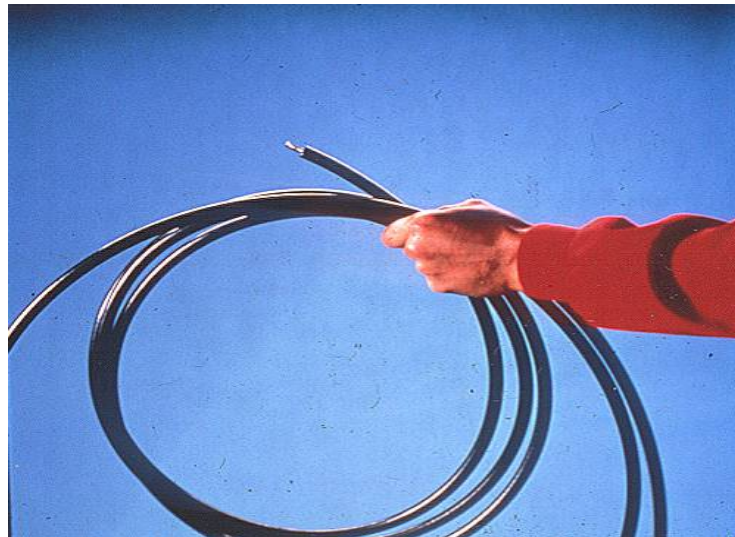
### **Polímero conductor**

AnodeFlex (polímero conductor) es un ánodo flexible que se utiliza en sistemas protección catódica para estructuras enterradas.

Colocado a lo largo del tubo o de otra estructura de metal enterrada, AnodeFlex proporciona una protección catódica uniforme, con una interferencia mínima de estructuras adyacentes.



**Figura 3.14 Corte transversal de un polímero conductor**



**Figura 3.15 Polímero conductor**

La instalación de AnodeFlex se lleva a cabo mediante el uso de equipo estándar de tendido de cables tal como excavadora hidráulica equipada con bobina para enrollar. Las dimensiones de una zanja tipo son de 1 pie de profundidad y 6" de ancho; no se necesita relleno especial. Tratándose de instalaciones tipo, se logra un promedio de 2 millas por día.

AnodeFlex se comercializa en bobinas. Se encuentra disponible un conjunto de empalmes especialmente diseñados para ser utilizados en empalmes de tubos, bifurcaciones y extremos.

### **¿Dónde se usan los sistemas AnodeFlex?**

Rehabilitación de tuberías, en caso de revestimiento envejecido y degradado que ya no provee la protección anticorrosiva adecuada. Revestir el tubo es una solución muy costosa y en ocasiones es necesario parar el funcionamiento de la tubería por un largo período de tiempo. Además, el operador de tuberías enfrenta diversas dificultades al momento de obtener los permisos ambientales y desechar materiales tóxicos.

### **Fundición de Hierro con Alto Contenido de Silicio y Cromo**



**Figura 3.16 Ánodos tubulares**



**Figura 3.17 Ánodos en barra**



**Figura 3.18 Ánodos para diversas aplicaciones**

HSCI contiene silicio, cromo, hierro y es útil en:

- Suelos
- Agua dulce
- Agua de mar

**La velocidad de consumo va de:**

0.25 a 1 Kg. /A-año (0.55 a 2.20 lb. /A-año)

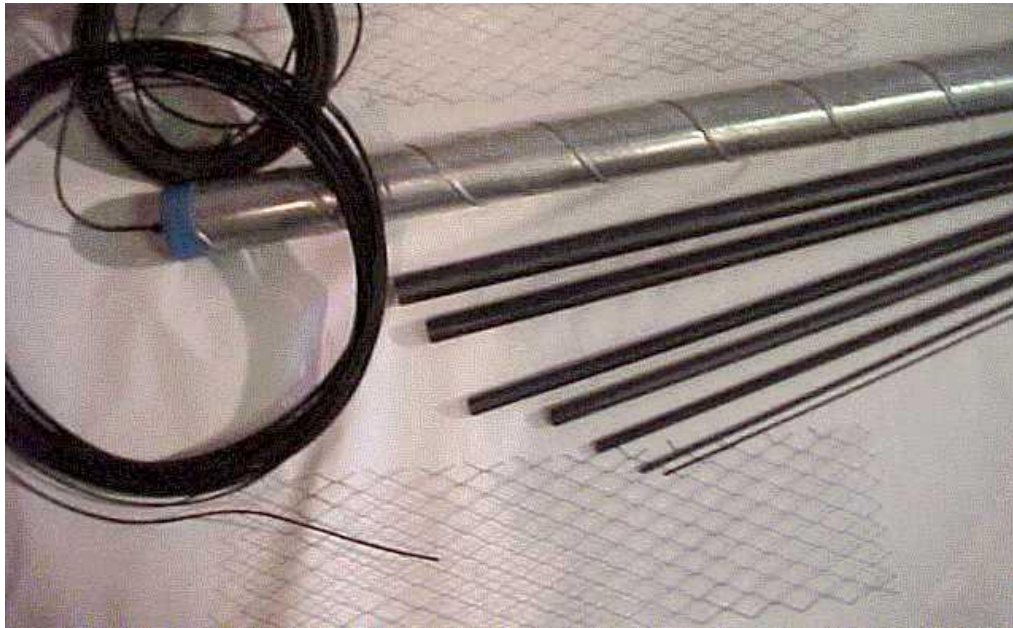
#### **Plomo-Plata**

Las aleaciones de plomo-plata se han usado en aplicaciones marinas para desarrollar una película de óxido de plomo ( $PbO_2$ ) que es conductora e impide el deterioro del plomo.

**La velocidad de consumo está en el orden de los**

0.09 Kg. /A-año (0.2 lb. /A-año)

## Mezcla Óxidos Metálicos



**Figura 3.19 Mezclas de óxidos metálicos**

MMO es útil en:

- Suelos
- Agua dulce
- Agua de mar
- Lodos

Consiste en óxidos de metales sobre sustrato de titanio y esta disponible en varillas, alambres, tubos y mallas.

**La velocidad de consumo es:**

- Menos de 1 mg /A-año

## Platino



**Figura 3.20 Ánodo de platino**



- Los ánodos de platinos son metalúrgicamente coberturas de platino (clad) sobre un substrato de niobio o titanio. Esta disponible en varillas, alambres y mallas

El platino es adecuado para uso en:

- agua dulce
- agua de mar
- No es apto para aplicaciones enterradas o en medios muy ácidos

**La velocidad de consumo está en el orden de:**

6 a  $8.6 \times 10^{-6}$  Kg. /A-año

### **Metal de Deshecho**

Se usa en situaciones en que el requerimiento de corriente es bajo.

**Desventajas:**

- Velocidad de disolución relativamente alta

**La velocidad de consumo del hierro es de**

- 9.1 Kg. /A-año (20 lb. /A-año)

### **Otros Tipos**

#### **Metalizado de Aleaciones de Zinc y Aluminio**

- Estructuras de hormigón reforzado

#### **Magnetita**

- Básicamente  $Fe_3O_4$ .
- Agua de mar, agua salobre, agua dulce
- Velocidad de consumo de 0.005 - 0.08 Kg. /A-año.

#### **Aluminio**

- Aplicaciones en agua dulce (tanques de almacenamiento de agua)
- La velocidad de disolución es de alrededor de 4.5 Kg. /A-año.

### **3.2.5 INFLUENCIA DE LOS REVESTIMIENTOS PROTECTORES**

De un modo general, un proceso de control de corrosión por protección catódica es empleado en asociación con el uso de revestimientos protectores. El empleo de revestimientos reduce de forma considerable la corrosión que

afecta a la superficie expuesta de la tubería, disminuyendo, por consiguiente, la intensidad de corriente necesaria para la protección de la estructura.



**Figura 3.21 Revestimientos protectores de tuberías enterradas (1)**



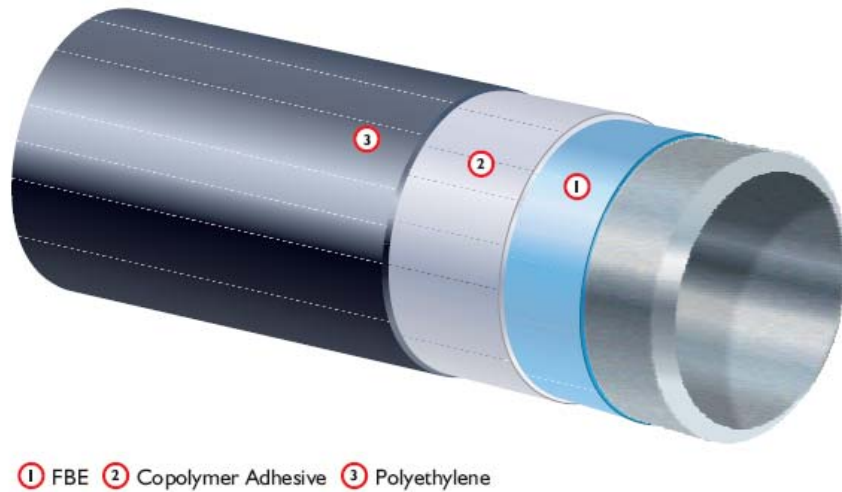
**Figura 3.22 Revestimientos protectores de tuberías enterradas (2)**

De esta forma, es de fundamental importancia el empleo de revestimiento en tuberías enterradas, pudiendo también ser utilizadas en otros tipos de estructuras. Los principales revestimientos utilizados en combinación con la protección catódica son diversos:

### **3 LPE (Three Layer Polyethylene Coating)**

Es un multicapa protector compuesto de 3 componentes funcionales. Este recubrimiento anti-corrosivo consiste de una capa FBE (Fusion Bonded Epoxy),

seguido de un copolimero adhesivo y una capa exterior de polietileno que provee resistencia y durable protección.



**Figura 3.23 Recubrimiento 3LPE**

Fuente: [www.bredero.com/solutions/products](http://www.bredero.com/solutions/products)

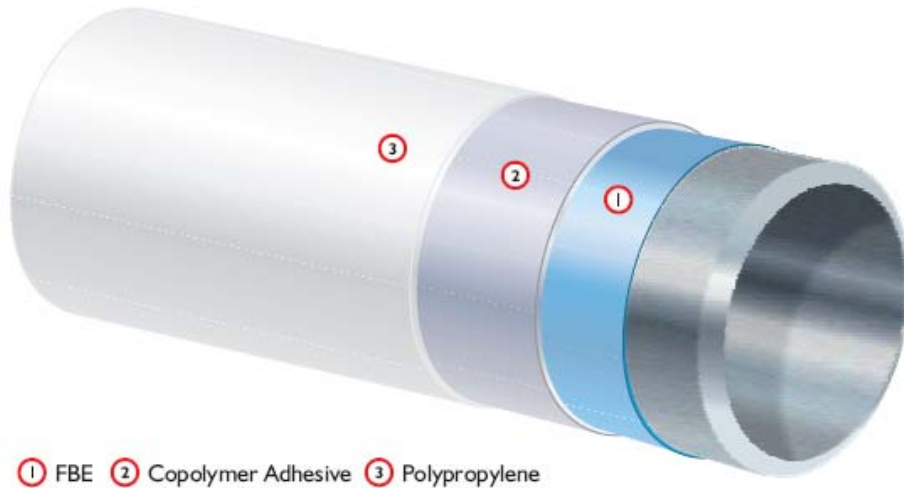
**Tabla 3.4 Propiedades del recubrimiento 3LPE**

Propiedades	3 LPE
Mínimo diámetro de la tubería	90 mm. (3.5")
Máximo diámetro de la tubería	1220 mm. + (48" ++)
Mínima longitud de la tubería	5.5 m. (18')
Máxima longitud de la tubería	24.4 m. (80')
Temp. Mínima recomendada	-40°C (-40° F)
Temp. Máxima recomendada	85°C (185° F)

Fuente: [www.bredero.com/solutions/products](http://www.bredero.com/solutions/products)

### **3 LPP (Three Layer Polypropylene Coating)**

Es un multicapa protector compuesto de 3 componentes funcionales. Este recubrimiento anti-corrosivo consiste de una capa FBE (Fusion Bonded Epoxy), seguido de un copolimero adhesivo y una capa exterior de polipropileno que provee la más alta resistencia, y la mas durable capa protectora existente.



**Figura 3.24 Recubrimiento 3 LPP**

Fuente: [www.bredero.com/solutions/products](http://www.bredero.com/solutions/products)

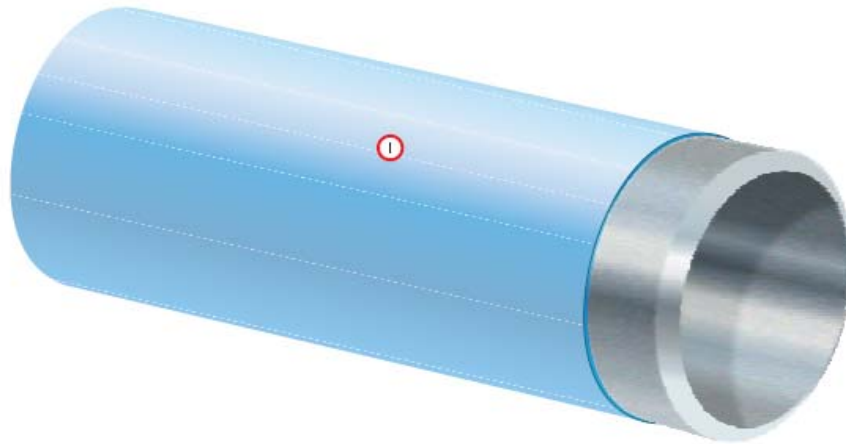
**Tabla 3.5 Propiedades del recubrimiento 3 LPP**

Propiedades	3 LPP
Mínimo diámetro de la tubería	90 mm. (3.5")
Máximo diámetro de la tubería	1220 mm. + (48" ++)
Mínima longitud de la tubería	5.5 m. (18')
Máxima longitud de la tubería	24.4 m. (80')
Temp. Mínima recomendada	-40°C (-40° F)
Temp. Máxima recomendada	110°C (230° F)

Fuente: [www.bredero.com/solutions/products](http://www.bredero.com/solutions/products)

### **FBE (Fusion Bonded Epoxy Powder Coating)**

Es un recubrimiento de alto reempeño contra la corrosión que provee excelente protección para pequeños y grandes diámetros de tubería, que operan con temperaturas moderadas.



 Fusion Bonded Epoxy

### Figura 3.25 Recubrimiento FBE

Fuente: [www.bredero.com/solutions/products](http://www.bredero.com/solutions/products)

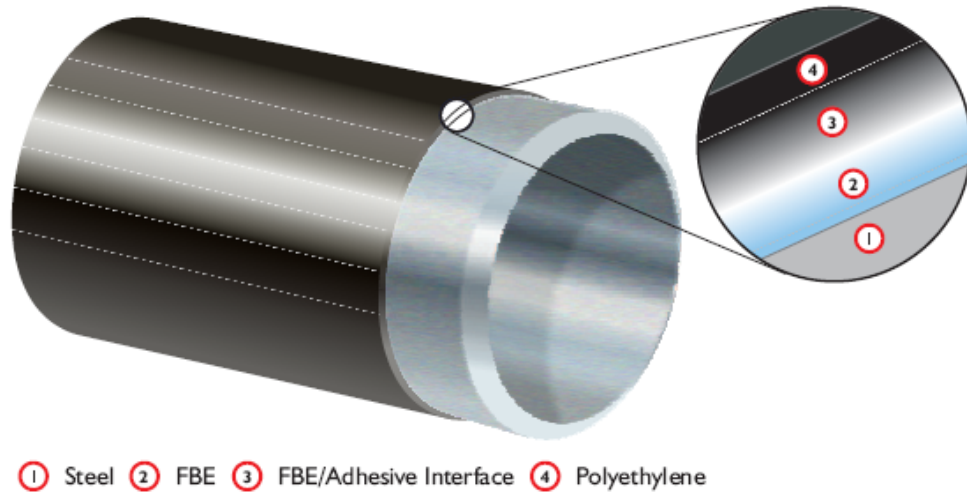
#### Tabla 3.6 Propiedades del recubrimiento FBE

Propiedades	3 FBE
Mínimo diámetro de la tubería	90 mm. (3.5")
Máximo diámetro de la tubería	1220 mm. + (48" ++)
Mínima longitud de la tubería	5.5 m. (18')
Máxima longitud de la tubería	24.4 m. (80')
Temp. Mínima recomendada	-40°C (-40° F)
Temp. Máxima recomendada	85°C (185° F)

Fuente: [www.bredero.com/solutions/products](http://www.bredero.com/solutions/products)

### HPCC (High Performance Composite Coating)

HPCC es un avanzado sistema compuesto que representa el último desarrollo en sistemas contra la corrosión. El producto consiste en: FBE, adhesivo de interfase y una capa resistente de polietileno. HPCC esta diseñado para proteger tuberías enterradas de crudo o gas en ambientes muy húmedos y donde la resistencia a la corrosión y un desempeño exigido, de la tubería son requeridos.



**Figura 3.26 Recubrimiento HPCC**

Fuente: [www.bredero.com/solutions/products](http://www.bredero.com/solutions/products)

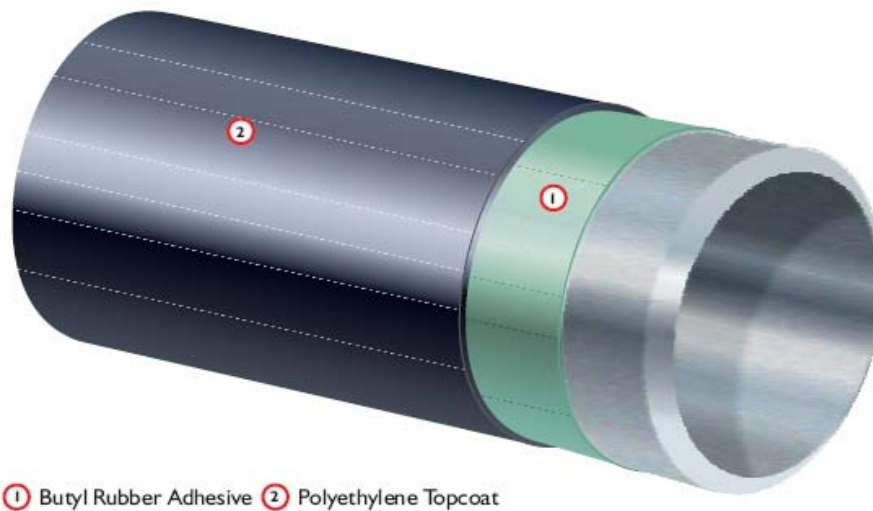
**Tabla 3.7 Propiedades del recubrimiento HPCC**

Propiedades	3 HPCC
Mínimo diámetro de la tubería	400 mm. (16")
Máximo diámetro de la tubería	1220 mm. + (48" ++)
Mínima longitud de la tubería	18.3 m. (60')
Máxima longitud de la tubería	24.4 m. (80')
Temp. Mínima recomendada	-40°C (-40° F)
Temp. Máxima recomendada	85°C (185° F)

Fuente: [www.bredero.com/solutions/products](http://www.bredero.com/solutions/products)

### **PRITEC**

Es un recubrimiento formado de dos capas diseñado para proteger tuberías que transportan crudo, gas y agua de desechos. Este recubrimiento es ideal para recubrir tuberías de pequeño y gran diámetro en el rango de 4"(100 mm.) a 145" (3680 mm.).



**Figura 3.27 Recubrimiento PRITEC**

Fuente: [www.bredero.com/solutions/products](http://www.bredero.com/solutions/products)

**Tabla 3.8 Propiedades del recubrimiento PRITEC**

Propiedades	3 PITREC
Mínimo diámetro de la tubería	100 mm. (4")
Máximo diámetro de la tubería	3680 mm. + (145" ++)
Mínima longitud de la tubería	5.5 m. (60')
Máxima longitud de la tubería	24.4 m. (80')
Temp. Mínima recomendada	-40°C (-40° F)
Temp. Máxima recomendada	80°C (176° F)

Fuente: [www.bredero.com/solutions/products](http://www.bredero.com/solutions/products)

### 3.2.6 CRITERIOS DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA

Cuando se aplica protección catódica en una estructura, es extremadamente importante saber que la misma se encuentra protegida contra la corrosión en toda su plenitud. Varios criterios pueden ser adoptados para comprobar que una estructura se encuentra fuera de riesgos de corrosión.

Según la **NACE<sup>33</sup> Peabody's**, existen tres criterios para la protección catódica:

- a) -850 mV (Referencia de un electrodo de Cu/CuSO<sub>4</sub>) con protección catódica aplicada.

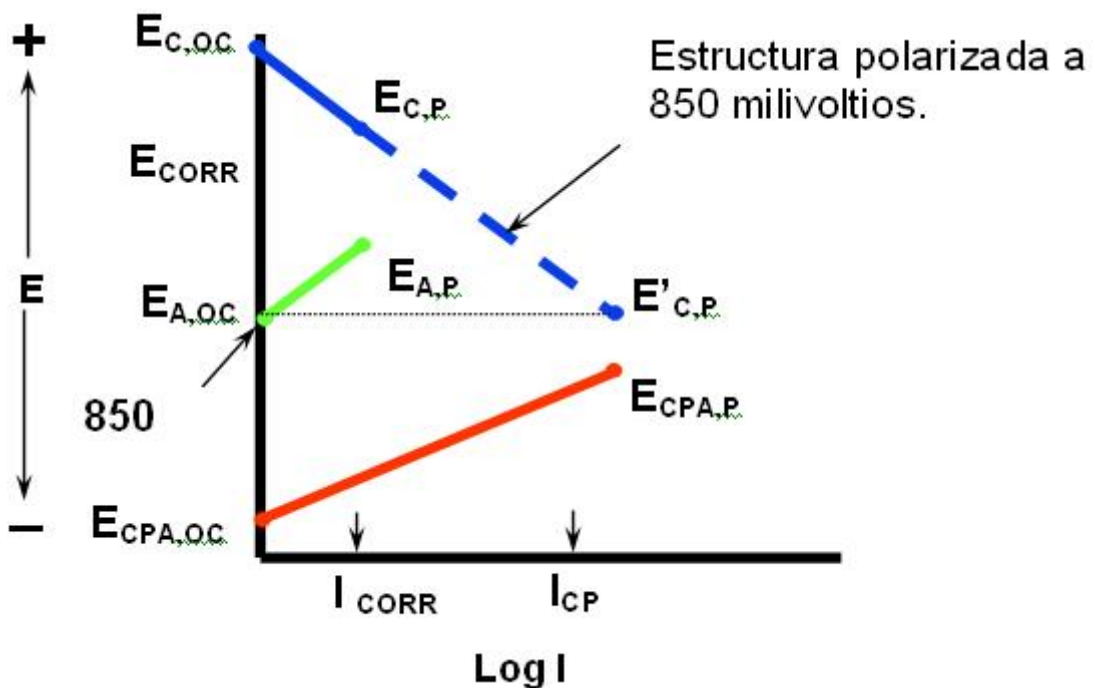
<sup>33</sup> NACE.- National Association of Corrosion Engineers

b) Un potencial polarizado de -850 mV (Referencia de un electrodo de Cu/CuSO<sub>4</sub>)

c) 100 mV de polarización

**-850 mV (Referencia de un electrodo de Cu/CuSO<sub>4</sub>) con protección catódica aplicada**

Este criterio es el más difundido en la práctica industrial e indica que la adecuada protección esta dada por un potencial negativo (catódico) de al menos **850 mV** con la protección catódica aplicada. Este potencial es medido con respecto a un electrodo de Cu/CuSO<sub>4</sub> y el contacto con el electrolito.



$E_{C,OC}$ : Potencial de la estructura catódica, circuito abierto

$E_{A,OC}$ : Potencial de la estructura anódica, circuito abierto

$E_{C,P}$ : Potencial de la estructura catódica, celda de corrosión activa, antes de que la PC es aplicada.

$E_{A,P}$ : Potencial de la estructura anódica, celda de corrosión activa, antes de que la PC es aplicada

$E_{corr}$ : Potencial de corrosión con el ánodo y cátodo conectados.

$I_{corr}$ : Corriente de corrosión antes de que la PC es aplicada.

$E_{CPA,OC}$ : Potencial del ánodo, no equivalente a la corriente de PC, en circuito abierto. (El potencial de un ánodo de Mg= -1.75 V, alto potencial)

$E'_{C,P}$ : Potencial del cátodo con corriente de PC aplicada (100 mV de polarización)



$E_{CPA, P}$ : Potencial del ánodo, corriente de PC fluyendo

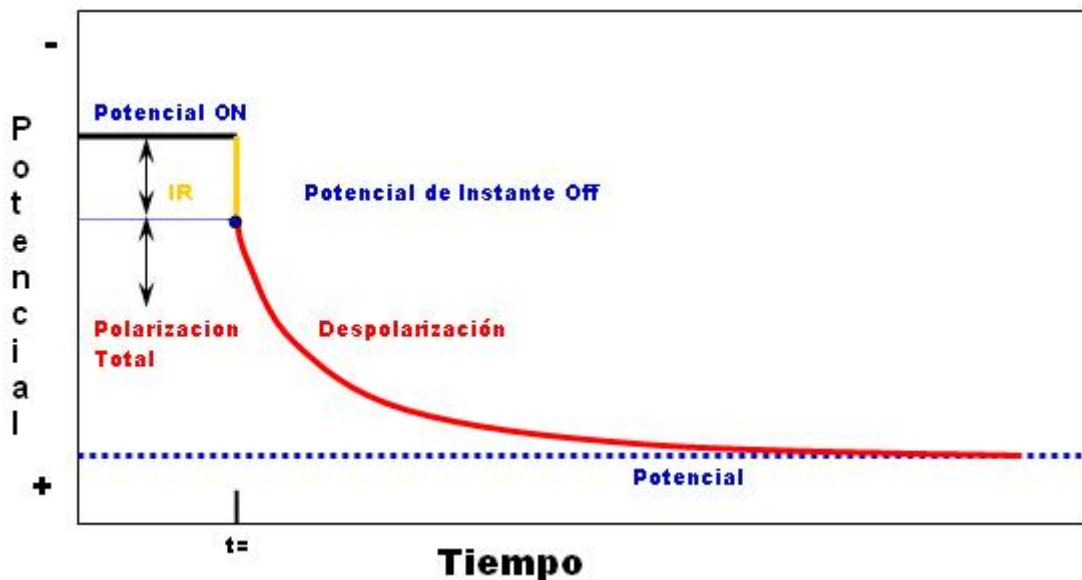
ICP: Corriente de protección catódica entre ánodo y la estructura

Icorr: Corriente de corrosión con 100 mV. PC aplicada

### Potencial polarizado de -850 mV

Este criterio propone que la adecuada protección esta dada por “un potencial negativo polarizado de al menos 850 mV con referencia a un electrodo de cobre/sulfato de cobre”. El potencial polarizado esta definido como el “potencial a través de la interfase estructura/ electrolito que es la suma del potencial de corrosión y la polarización catódica”.

**E medido = E corr + Polarización + Caída IR**



**Figura 3.28 Potenciales Tubería – electrolito (suelo)**

El potencial polarizado es medido directamente después de la interrupción de todas las fuentes de corriente y es referido usualmente como potencial OFF o potencial de instante OFF. La diferencia en el potencial entre el potencial nativo y el OFF es la cantidad de polarización que ha ocurrido como resultado de la aplicación de la protección catódica. Una medición de potencial CIS (Close internal service)<sup>34</sup> o mediciones de potencial ON/OFF mostrada en la figura 3. es una comparación con los potenciales nativos, ON y OFF del acero.

<sup>34</sup> Ver literal 3.3.3 en Métodos de evaluación de la eficiencia de los sistemas de protección catódica y revestimientos.

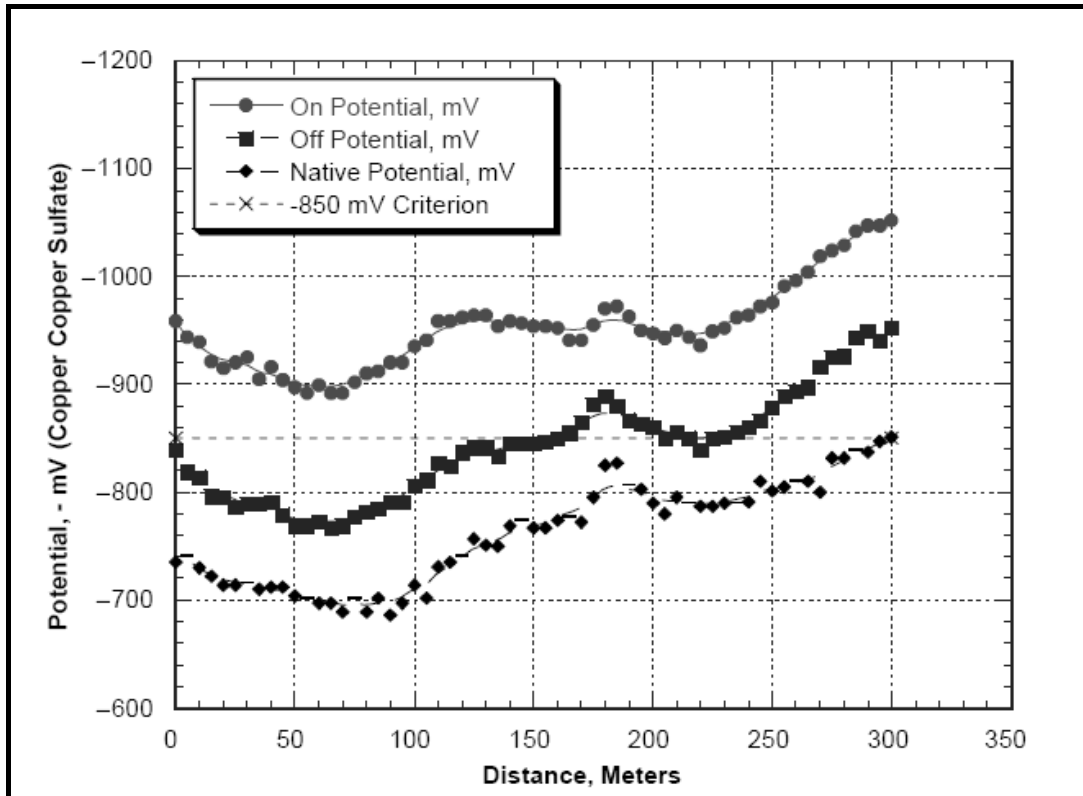


Figura 3.29 Comparación de potenciales con el método de evaluación CIS (ON/OFF)

### 100 mV de polarización

Este criterio establece que la adecuada protección esta dada con un mínimo de 100 mV de polarización catódica entre la superficie de la estructura y la referencia estable de un electrodo en contacto con el electrolito.

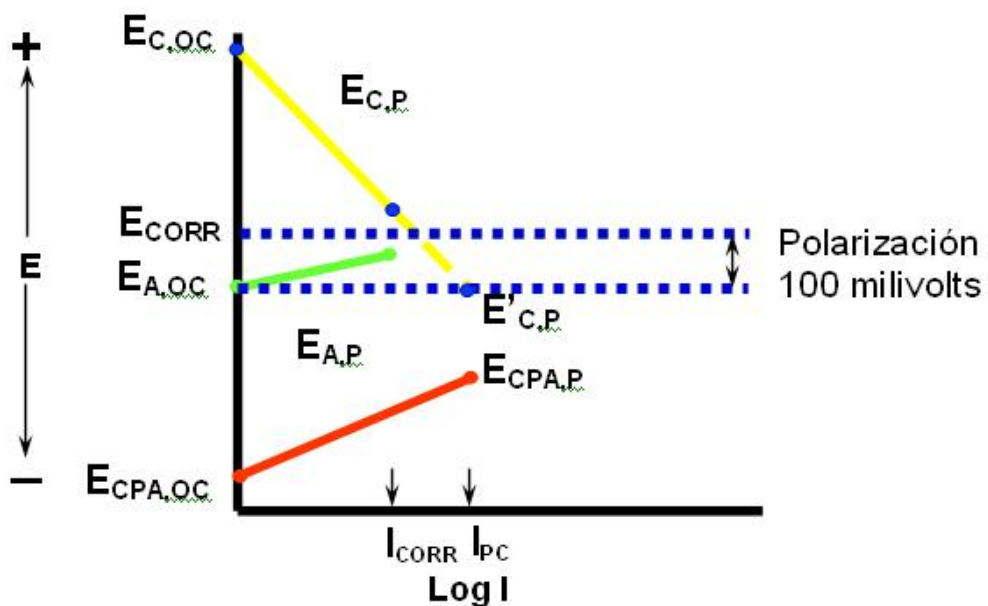


Figura 3.30 100 mV de Polarización

$E_{C, OC}$ : Potencial de la estructura catódica, circuito abierto

$E_{A, OC}$ : Potencial de la estructura anódica, circuito abierto

$E_{C,P}$ : Potencial de la estructura catódica, celda de corrosión activa, antes de que la PC es aplicada.

$E_{A,P}$ : Potencial de la estructura anódica, celda de corrosión activa, antes de que la PC es aplicada

$E_{corr}$ : Potencial de corrosión con el ánodo y cátodo conectados.

$I_{corr}$ : Corriente de corrosión antes de que la PC es aplicada.

$E_{CPA, OC}$ : Potencial del ánodo, no equivalente a la corriente de PC, en circuito abierto. (El potencial de un ánodo de Mg= -1.75 V, alto potencial)

$E'_{C,P}$ : Potencial del cátodo con corriente de PC aplicada (100 mV de polarización)

$E_{CPA, P}$ : Potencial del ánodo, corriente de PC fluyendo

ICP: Corriente de protección catódica entre ánodo y la estructura

$I_{corr}$ : Corriente de corrosión con 100 mV. PC aplicada

Los criterios de protección catódica para el acero Figura 3.31 y sus efectos perjudiciales Figura 3.32 son los siguientes:

Potenciales-APAGADO, mV	Cu/CuSO <sub>4</sub>	Ag/AgCl	Zinc
Protección - potencial acero en medio aeróbico	-850	-800	+250
Protección - potencial acero en medio anaeróbico	-950	-900	+150
Límite de sobreprotección acero al carbón	-1150	-1100	- 50

**Figura 3.31 Criterios de protección para el acero<sup>35</sup>**

<sup>35</sup> Potenciales medidos con respecto a 3 electrodos de referencia: Cobre/sulfato de cobre, Plata/cloruro de plata y Zinc.



Figura 3.32 Efectos perjudiciales de la protección catódica

### 3.2.7 MEDICIÓN DE POTENCIAL

La sistemática adoptada para la medición de potenciales de una estructura en relación a su medio se puede ver en la figura 3. .

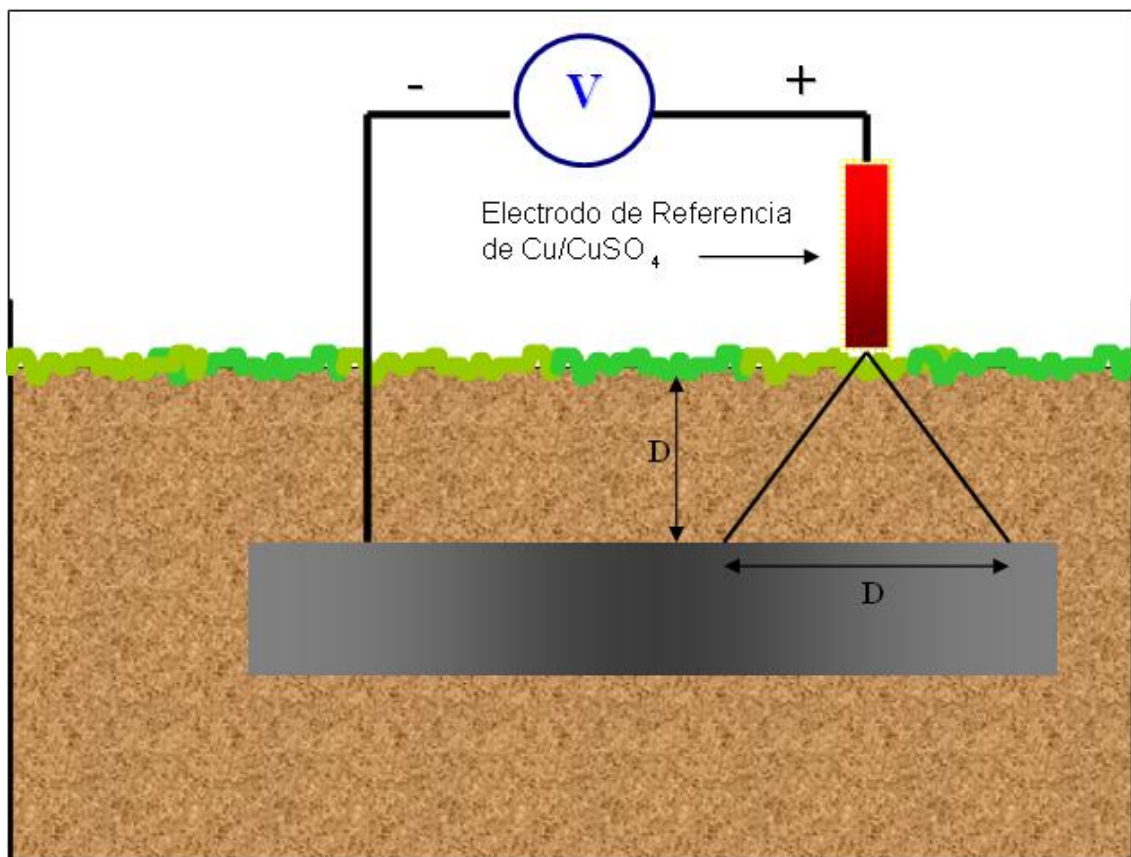


Figura 3.33 Sistemática adoptada para medición de potenciales

El instrumento requerido es un voltímetro de corriente continua, de alta resistencia interna, por lo menos 50000 ohm/volt. En cuanto al electrodo de referencia, para estructuras enterradas se usa de cobre/sulfato de cobre saturado Cu/CuSO<sub>4</sub> y para estructuras inmersas en agua salada se emplea uno de plata/cloruro de plata Ag/AgCl.

Para ejecutar la medición de potencial estructura/suelo de una tubería enterrada, esto es del potencial tubo/suelo, se conecta el terminal negativo del voltímetro al poste de control, o sea a conexión que esta conectada con la tubería. El polo positivo del voltímetro debe ir conectado con el electrodo de referencia de Cu/CuSO<sub>4</sub>. El electrodo de referencia deberá ir colocado lo más próximo al tubo. Es necesario asegurar la conexión de los cables y un buen contacto del electrodo con el suelo. En caso de tener el suelo muy seco se puede agregar un poco de agua a su alrededor para que la medición sea mas exacta.

### **3.2.8 SUPERPROTECCIÓN**

La superprotección de un material metálico es ocasionada por una densidad de corriente elevada, en si siempre se caracteriza por potenciales estructura/electrolito de valores elevados. Una experiencia tiene demostrado que para el caso específico del acero revestido, potenciales estructura/suelo elevados (cuando no están acompañados por densidad de corriente elevada) no causaron ningún problema a los revestimientos. Por otro lado, bajos potenciales acompañados de densidad de corriente elevada han causado ampollamientos de los revestimientos.

A fin de verificar la posibilidad de daños en el revestimiento de na estructura enterrada, causados por la superprotección se procede del siguiente modo:

- Se mide el potencial estructura/suelo en relación al electrodo de Cu/CuSO<sub>4</sub>, con el sistema de protección catódica conectado.
- Sin interrumpir la lectura del potencial, se desconecta el sistema de protección catódica y dos segundos después, se anota la nueva lectura.

Si esta nueva lectura es un valor mas negativo que -1200 mV, ha evolucionado el hidrogeno y por tanto, existe la posibilidad de daños en el revestimiento.

### **3.2.8.1 Migración de Hidrogeno (H2)**

La fragilización por hidrógeno representa un problema significativo a nivel industrial no sólo en la fabricación de productos largos sino en todos los subproductos elaborados con acero. Desde los años 80 se intentan soluciones a este problema empleando procesos de degasificación en vacío hasta obtener bajos niveles de hidrógeno del orden de 1,5 a 2 ppm. Cuando se realiza el pronóstico de la durabilidad de las estructuras realizadas de metales o aleaciones, se debe tener en cuenta la influencia que el hidrógeno tiene en las propiedades de la aleación en las etapas de manufactura, tratamiento y servicio.

La absorción de átomos de hidrógeno provoca fragilización y pérdida de la ductilidad del metal que llevaría a que los materiales fracturen a cargas muy por debajo de materiales libres de hidrógeno.

La migración de hidrogeno es especialmente devastadora debido a la naturaleza del fallo originado. Dicho fallo sucede a tensiones muy pequeñas (en comparación a las que serían necesarias en ausencia de hidrógeno), es bastante frágil y tiene un periodo de "incubación" tan variable que lo hace prácticamente impredecible.

## **3.3 MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA Y REVESTIMIENTOS**

### **3.3.1 MÉTODO DE EVALUACIÓN DCVG (DIRECT CURRENT VOLTAJE GRADIENT)**

Es un método nuevo que permite realizar diagnósticos del estado del recubrimiento de tuberías enterradas, sin efectuar excavaciones. Permite localizar y dimensionar los defectos. Se puede decir que es una herramienta de inspección indirecta ya que por medio de este método se puede determinar si el recubrimiento de la tubería ha sufrido algún daño durante el enterramiento de la misma o por otros factores relacionados como daños por deslizamiento de tierra.

En la supervisión de la tubería, el operador camina siguiendo el trazado de la misma buscando un gradiente de potencial pulsante en intervalos regulares. Normalmente se toma una medida cada 2 metros de recorrido. Cuando se aproxima al defecto en el revestimiento el operador observará que la aguja del mili-voltímetro empieza a responder a las pulsaciones, apuntando hacia las direcciones del flujo de corriente dirigidas hacia el defecto.

Cuando se sobrepasa el defecto, la dirección de la aguja se invierte completamente en sentido contrario y disminuye en intensidad al alejarse de la zona del defecto. Siguiendo las mediciones sobre el defecto puede encontrarse una posición de los electrodos en que la aguja no muestra ninguna oscilación en ninguna de las direcciones (NULO). En este momento el defecto está situado aproximadamente a la mitad de la distancia entre los dos electrodos. Este proceso se repite en direcciones perpendiculares hacia la derecha e izquierda desde el punto aproximado de localización del defecto detectado hasta localizar un nuevo nulo. El lugar donde se cruzan las posiciones de ambos nulos es el epicentro del gradiente de voltaje. Este punto se encuentra normalmente justo encima del defecto del revestimiento.

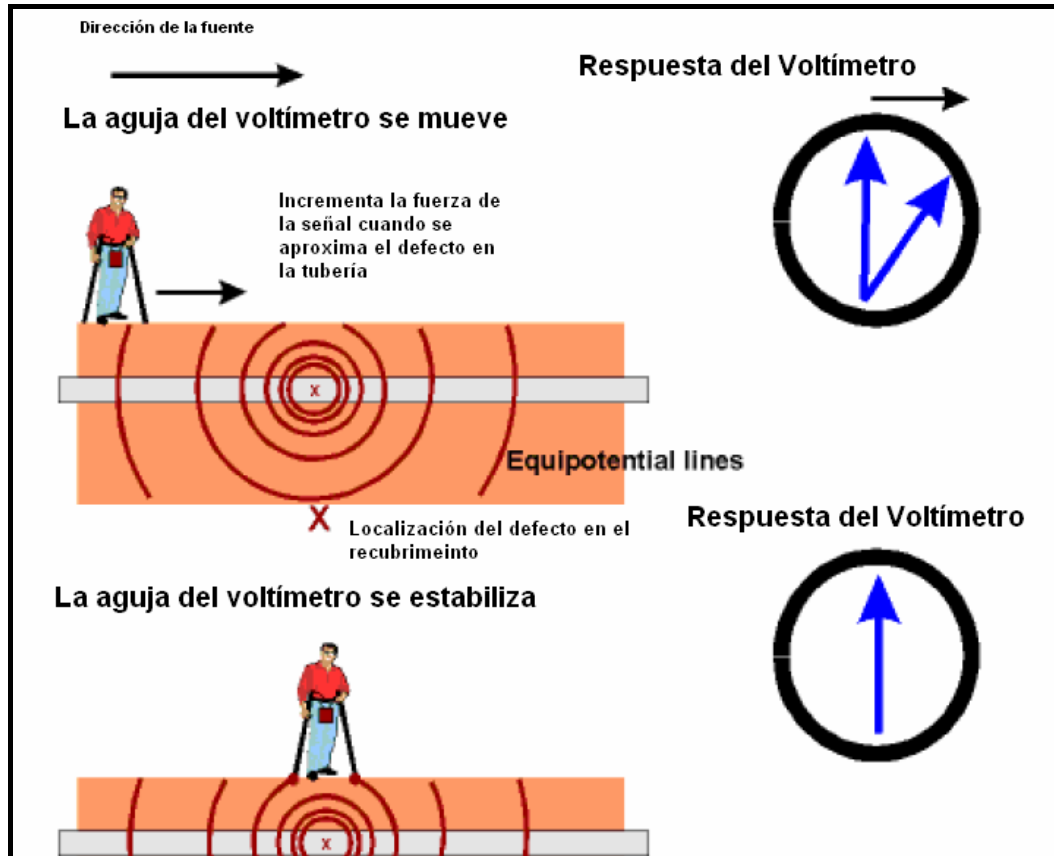


Figura 3.34 Método de evaluación DCVG

Debe recordarse que la definición y comprensión de problemas en tuberías enterradas utilizando técnicas superficiales en las que no se contacta permanentemente la tubería es de compleja interpretación. Los datos obtenidos con la técnica del DCVG no son absolutos sino relativos y están influenciados por una serie de parámetros tales como la resistividad del terreno, cuyos efectos deben tenerse en cuenta para mejorar la exactitud de cualquier dato obtenido.

Aplicaciones típicas son:

- Evaluar el revestimiento de tuberías para definir requerimientos de rehabilitación.
- Definir debilitamientos en el sistema de Protección Catódica.
- Validar que una conducción se ha construido con mínimos defectos de revestimiento, con la finalidad de certificación de licencias de operatividad.
- Investigar efectos de interferencias con otras fuentes de corriente continua como sean trenes, tranvías u otros sistemas de Protección Catódica.
- Establecer la efectividad de juntas dieléctricas y otros métodos de aislamiento de tuberías.
- Investigar redes complejas de tuberías, lo que no es posible con otras técnicas.
- Investigar por debajo de hormigón o asfalto en zonas urbanas.
- Investigar por debajo de líneas aéreas de Alta Tensión.
- Técnica no afectada por corrientes telúricas, por lo que es posible investigar conducciones afectadas.

### **3.3.2 MÉTODO DE EVALUACIÓN PCM (PIPELINE CURRENT MAPPER)**

El pipeline current mapper es la técnica desarrollada mas recientemente para evaluar al estado del recubrimiento en las líneas de acero enterradas posean o no algún tipo de protección catódica.

El sistema PCM permite a la industria que posee tuberías enterradas superar las limitaciones de las técnicas existentes usadas para evaluar la eficiencia de la protección catódica. Esta nueva tecnología determina cortocircuitos causados por el contacto con otras estructuras metálicas y daños puntuales en el recubrimiento.



Las inspecciones en sistemas de protección catódica tradicional miden el potencial de la estructura con respecto a tierra para mostrar que la estructura esta protegida contra la corrosión. Algunas estructuras, debido a la degradación o daño en el recubrimiento tienen bajos voltajes de protección y son un riesgo de daño por incremento de la actividad corrosiva.

La Ley de Ohm muestra que incrementando la corriente aumentará el voltaje de protección; pero se ha mostrado que voltajes muy altos de protección aceleran la degradación de los recubrimientos. Otro efecto colateral es la fragilización del recubrimiento, que conlleva al prematuro daño y posiblemente catastrófico.

El PCM proporciona un nuevo método para localizar fallas y recubrimientos empobrecidos que agotan (drenan) la corriente de protección rápidamente por su alto nivel de porosidad, sin que por esto se presente falla visible de potencial; arrojando como resultado el manejo de potenciales óptimos, mejorados y minimizados los efectos colaterales perjudiciales. El PCM no reemplaza un estudio de CIS. El uso de un estudio CIS sería absolutamente recomendable después de un trabajo de rehabilitación de línea realizado alrededor de los resultados de una nueva evaluación PCM completa.

- ¿Quién y porque se desarrollo?

El PCM fue desarrollado por el American Institute of Gas, Souther California Gas Company, Pacific Gas Co., y la compañía líder en localización de tuberías enterradas Radiodetection Corp.

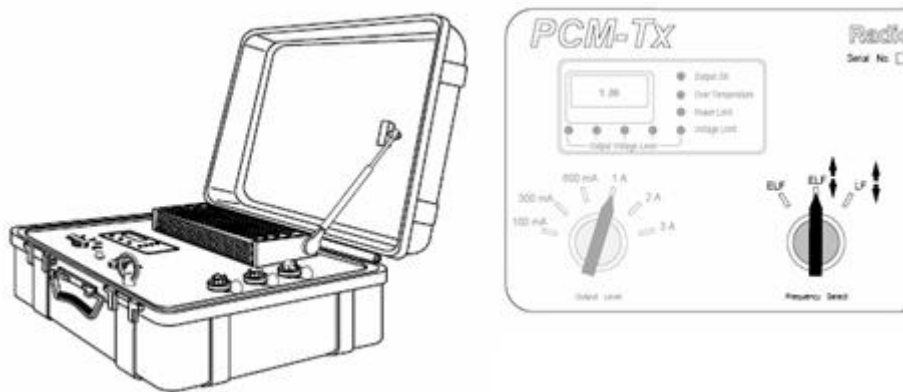
Estas compañías son operadoras de miles de kilómetros de poliductos que vienen desde Alaska hasta los principales centros industriales en Canadá y Estados Unidos; y como respuesta a la imposibilidad de inspección paso a paso surgió la necesidad de inspeccionar más rápidamente sin omitir ni un metro de línea, característica que posee hoy en día el mapeo de corriente en línea.

- Ventajas tecnológicas
  - a) Encuentra contactos eléctricos o cortos con otras estructuras o servicios.
  - b) Facilita hacer reinspecciones muy rápidas para certificar reparaciones en el recubrimiento.
  - c) Determina la forma en que se distribuye la corriente de protección catódica en porcentaje, evaluando de forma inmediata cual tramo

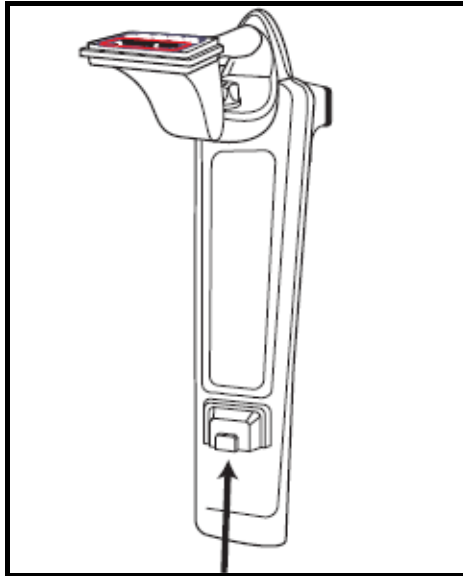
consume mas corriente de protección y por lo tanto el más defectuoso y al que se le debería poner mas atención.

- d) Resultados en gráficos de hojas electrónicas como curvas de drenaje de corriente de PC, severidad de fallas; para evaluar el estado del recubrimiento en forma continua y así evitar reparaciones puntuales que pueden llegar a ser muy costosas.
- e) Se generan archivos históricos como punto de referencia para futuras inspecciones o verificaciones a reparaciones; que determinan la velocidad de daño del recubrimiento por año, la eficiencia de reparación de las fallas encontradas de manera muy simple y rápida.
- f) No se necesita apagar sistemas de protección catódica vecinas a la tubería estudiada.
- g) Facilidad para mostrar y cuantificar resultados de la inspección en informes altamente gerenciales apoyados en las facilidades gráficas para resultados de Excel, en forma de postres, barras o cualquier otra facilidad visual.
- h) Facilidad para programar mantenimientos preventivos y predictivos de acuerdo a las curvas de drenaje de corriente por el recubrimiento en evaluación.

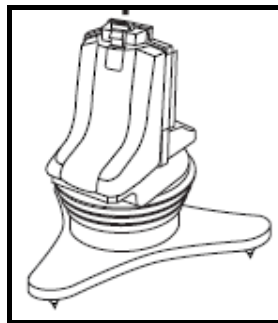
Básicamente el este método de evaluación consta de tres partes:



**Figura 3.35 Transmisor PCM Tx**



**Figura 3.36 Receptor (PCM Rx)**



**Figura 3.37 Acople del receptor PCM (Mag foot)**

#### **¿Como funciona?**

Se inyecta la señal PCM (4 Hz- 98 Hz) a la tubería enterrada mediante la fuente “PCM Tx”, y se toman lecturas de corriente “IPCM” a intervalos regulares a lo largo de la línea mediante “PCM Rx”. Luego de esto se hace una descarga y análisis de de datos para posteriormente interpretarlos en un resumen que permitan realizar reparaciones, presupuestos, programas de mantenimiento predictivo, preventivo, optimizar los recursos técnicos y económicos evitando reparaciones innecesarias.

### **3.3.3 MÉTODO DE EVALUCIÓN CIS (CLOSE INTERNAL SERVICE) O MEDICIONES DE POTENCIALES ON/OFF**

CIPS (Close Interval Potential Survey). Las estaciones de prueba de la protección catódica están normalmente separadas unas de otras entre 100

metros y 1000 metros, o a veces más y se asume que las lecturas entre ellas son similares lo cual en la mayoría de los casos no es totalmente cierto.

Estudios en intervalos cortos son usados para determinar los potenciales Tubería vs. Suelo en pequeños intervalos a lo largo de toda la línea, entonces el potencial es virtualmente conocido en cada punto, dando una información completa de la protección contra la corrosión de la tubería. Este procedimiento puede detectar imperfecciones (Holiday) en el revestimiento bajo ciertas circunstancias pero no es tan efectivo como el DCVG. El CIPS puede ser llevado a cabo con el sistema de protección catódica trabajando en un ciclo regular y preciso de una fracción de segundo.

Unidades interruptoras de corriente especiales son normalmente ubicadas en los circuitos DC de todas las instalaciones relevantes del sistema y sincronizadas entre ellas generalmente utilizando sincronización satelital. Ellas son sincronizadas en un ciclo que esta generalmente en el orden de segundos entre "ON"/"OFF" el cual no debe permitir una excesiva despolarización de la estructura. Cuando este tipo de estudio es llevado a cabo, los potenciales son registrados en ambos estados, esto es en condición "ON" e inmediatamente cuando la fuente se encuentra en "OFF". El potencial instantáneo "OFF" es el mejor criterio de desarrollo de la medición de potenciales de protección porque éste elimina la contribución a la caída de potencial presente en las mediciones de potencial "ON", especialmente en suelos de alta resistividad o donde la magnitud de la densidad de corriente del sistema es muy alta. El potencial "OFF" es generalmente referido como el potencial polarizado.

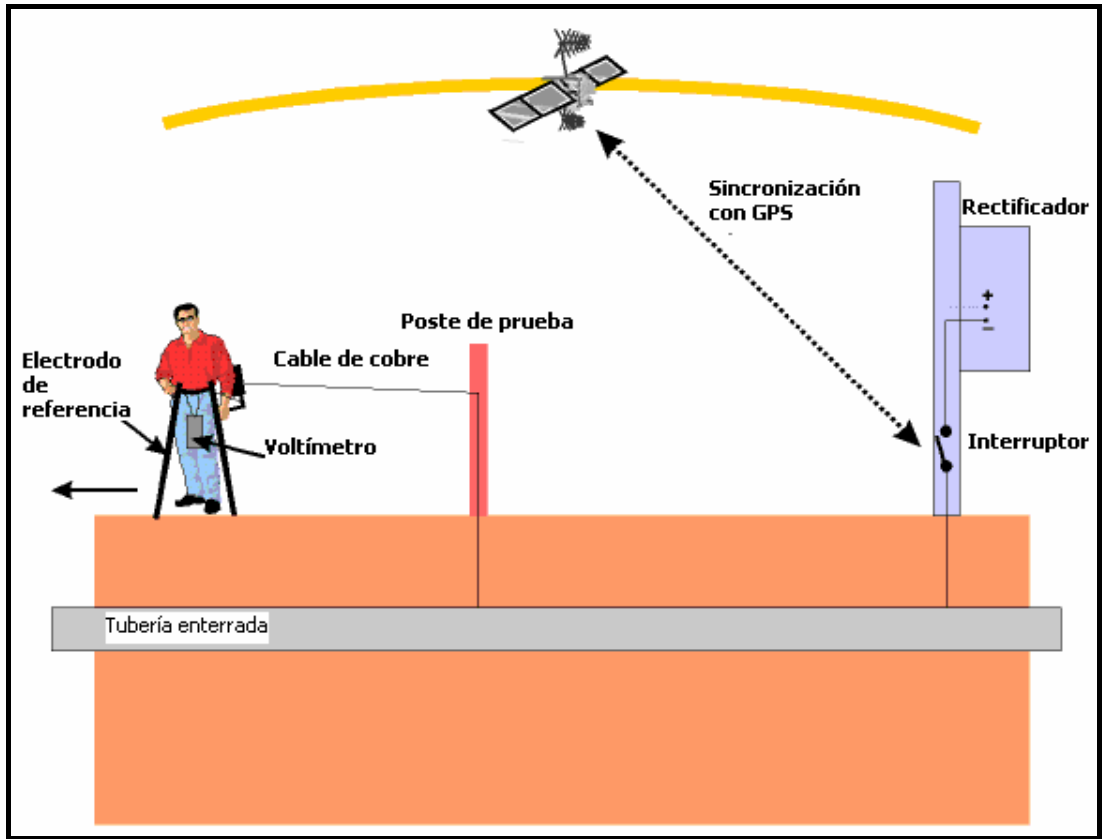


Figura 3.38 Método de evaluación CIS (1)

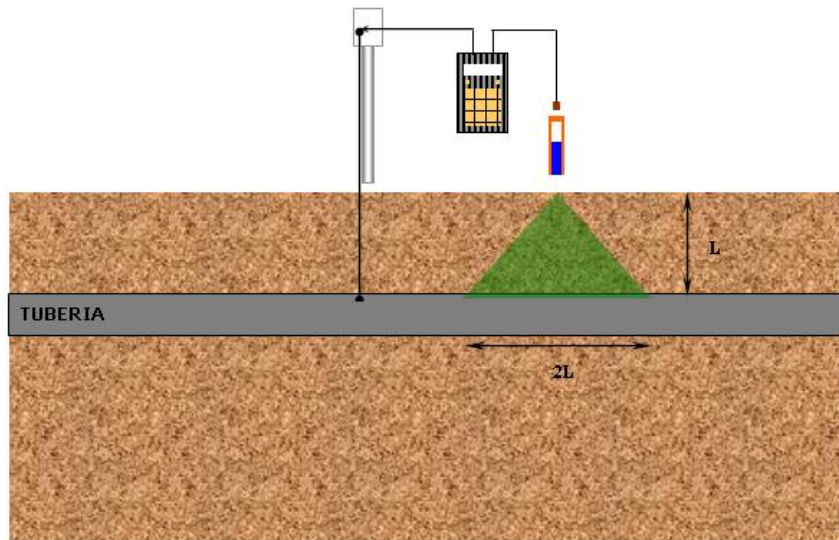
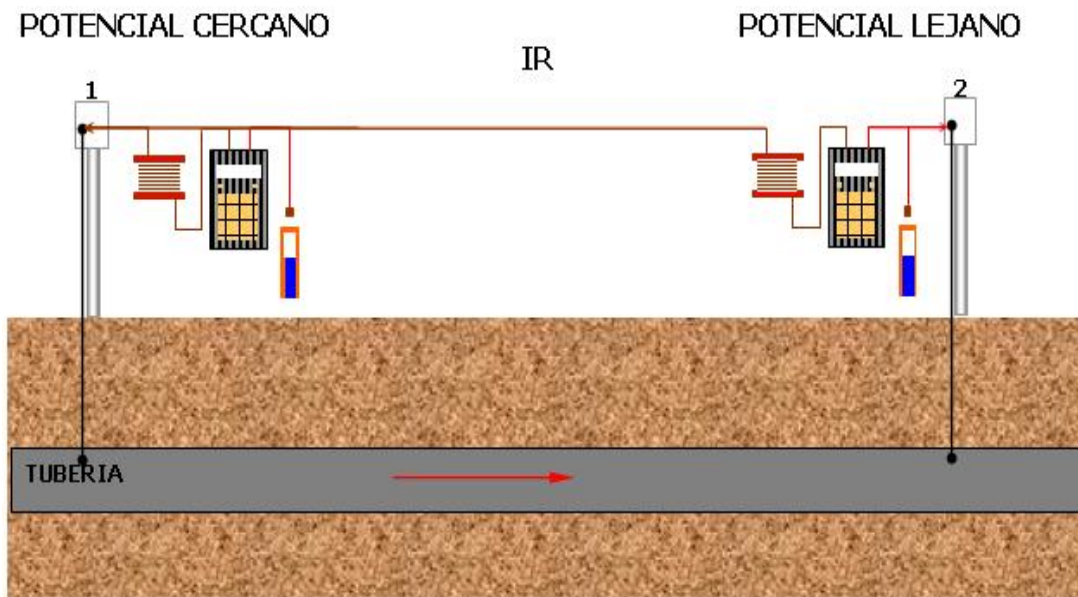


Figura 3.39 Método de evaluación CIS (2)



**Figura 3.40 Método de evaluación CIS (3)**

### 3.3.4 DENSIDAD DE CORRIENTE

Es la cantidad de corriente por unidad de área de la superficie. Las unidades más comunes son  $\text{mA}/\text{m}^2$ , o  $\text{mA}/\text{pie}^2$  en el sistema inglés.

El valor de la densidad de corriente de protección a ser adoptado en un proyecto depende de muchos factores, principalmente de la resistividad eléctrica del medio (electrolito) y del tipo de material que se desea proteger.

Por ejemplo, para un dado suelo, la densidad de corriente de protección del acero tiene un cierto valor y para la protección del plomo, tendrá un valor completamente diferente. Por otro lado, para un mismo material de tendrá diferentes valores para densidad de corriente, en función de las características del electrolito.

Rangos típicos de densidad de corriente se muestran en la Tabla 3.9:

**Tabla 3.9 Requerimientos de densidad de corriente**

Medio	Densidad de corriente	
	mA/ft <sup>2</sup>	mA/m <sup>2</sup>
Suelo neutro	0.4 a 1.5	4.3 a 16.1
Suelo altamente ácido	3 a 15	32.3 a 161
Suelo caliente	3 a 25	32.3 a 269
Movimiento de aguas frescas	3 a 6	32.2 a 64.4
Agua fresca, turbulenta, con oxígeno disuelto	3 a 15	32.3 a 161.4
Agua caliente	3 a 15	32.3 a 161.4
Agua de mar	3 a 15	32.3 a 161.4
Químicos, solución ácida o alcalina en tanques de proceso	3 a 15	32.3 a 161.4
Concreto mojado	3 a 15	32.3 a 161.4

Fuente: Shrier, L.L., Corrosion, Vol 2, Newness-Butterworths, Boston, 1976, p: 11:65. CP 3-Cathodic Protection Technologist Course Manual. NACE International, 2005.

### Ley de Faraday

La cantidad de material (metal) gastado en el ánodo o depositado en el cátodo es función del peso atómico del material o sustancia, por la cantidad de corriente por la unidad de tiempo, e inversamente proporcional a las cargas transferidas por la constante de Faraday.

$$W_t = \frac{M}{nF} i_{CORR} t \quad (3.9)$$

Donde:

$W_t$  = Peso de material gastado en el ánodo o ganado en el cátodo

M = Peso atómico de la sustancia o material, (gr.)

$i_{CORR}$  = Corriente de corrosión, (A)

t = tiempo transcurrido, (s)

n = número de cargas (e-) transferidas, Ox. ó Red.

F = Constante de Faraday, 96.500 Coulombs (Donde M/n = Peso atómico equivalente)

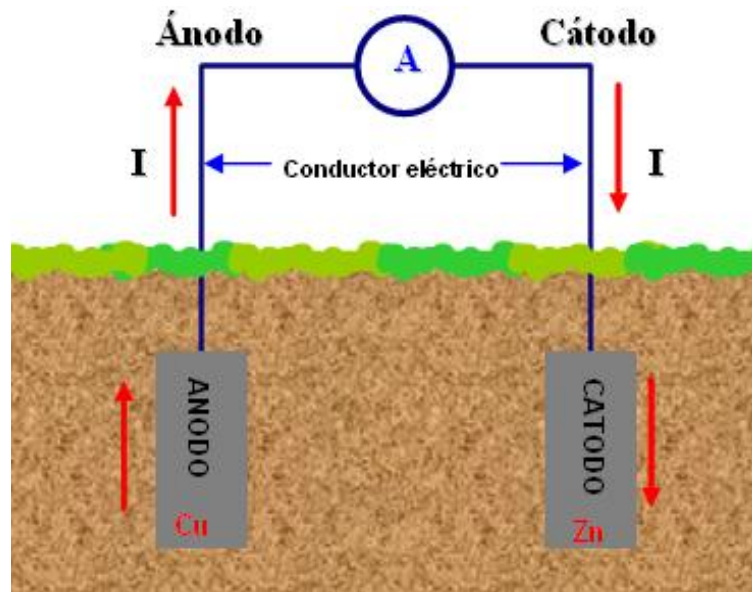


Figura 3.41 Sentido de la trayectoria de la corriente

### 3.3.5 POLARIDAD

De acuerdo a lo analizado anteriormente se determina que la trayectoria de corriente es fundamental en la protección catódica. Por lo tanto, la instalación de la polaridad en el rectificador es esencial.

El polo negativo debe ser conectado a la estructura y el polo positivo debe ser conectado al ánodo o cama anódica. Caso contrario en lugar de proteger estaríamos acelerando el proceso de la corrosión.

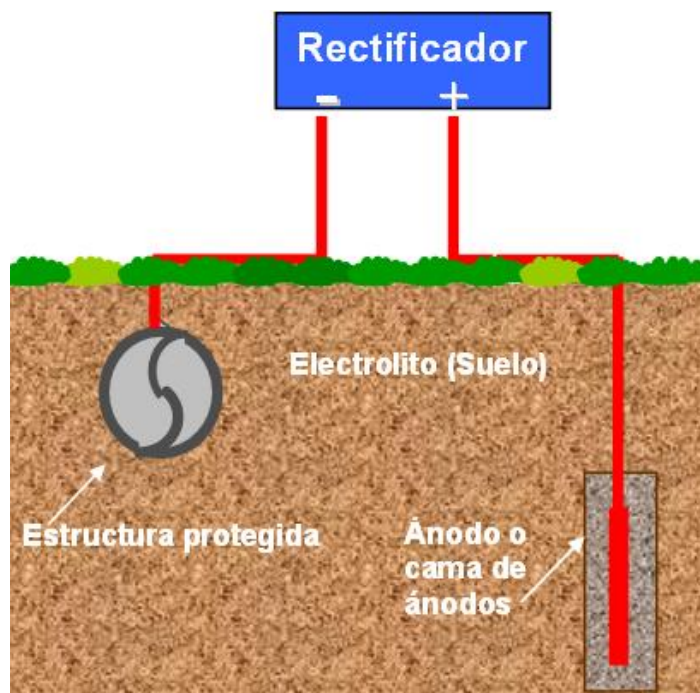


Figura 3.42 Polaridad correcta de instalación de un rectificador



### 3.3.6 CANTIDAD DE CORRIENTE

Es la corriente requerida para proteger una estructura mediante el sistema de protección catódica. Existen varios métodos para definir este parámetro:

#### Mediante la densidad de corriente

$I_T, PC = I_{cp} * A_{estructura-desnuda}$ .

$I_T, PC = I_{pc-desnuda} * A_{estructura-desnuda} + I_{pc-revestida} * A_{estructura-revestida}$

$A_{estructura-desnuda} = 0$

$I_T, PC = I_{pc-revestida} * A_{estructura-revestida}$

#### Experiencia en estructuras similares en similares condiciones

La experiencia del diseñador de sistemas de protección catódica se amplía con los años, permitiendo de esta manera tener criterios en cada diseño.

#### Estructura revestida

Lo más común es asumir el 1% de superficie de metal desnudo para lo cual la densidad de corriente es aproximadamente 20 mA/m<sup>2</sup>, con lo cual calculamos la densidad equivalente

$I_{pc} = \%desnudo * I_{pc, desnudo} / 100 = 0.01 * 20 \text{ mA/m}^2 = 0.2 \text{ A/m}^2$

$I_T, PC = I_{cp} * A_{estructura-desnuda} * (1 - E_c)$

$I_T =$  Corriente total de protección catódica requerida por una estructura

$I_{cp} =$  Densidad de corriente de protección catódica

### 3.3.7 INTERFERENCIA DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN

Un estudio de interferencias con estructuras ajenas a la estructura protegida es desarrollado para poder determinar fugas de corriente de protección. El estudio debe ser aplicado en relación a estructuras que posean protección catódica, como a las que no la poseen.

Cuando dos tuberías se encuentran enterradas y muy próximas la una de la otra, y apenas una de ellas posee protección catódica, la otra podrá captar parte de la corriente de protección que esta siendo suministrada a la línea protegida. Dando origen a corrosión electrolítica.

### 3.3.8 EFICIENCIA DE LAS JUNTAS AISLANTES

La eficiencia de las juntas aislantes se realiza mediante un estudio dieléctrico. Este estudio mide la eficacia de las juntas de aislamiento dieléctrico en bridas

requerido para determinar la fuga no deseada de la corriente de protección catódica aplicada.



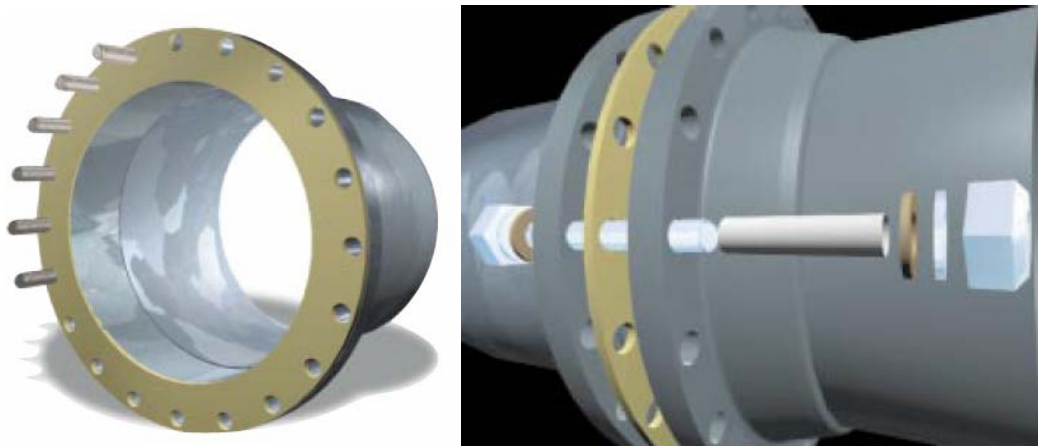
**Figura 3.43 Medición de potenciales en juntas aislantes**



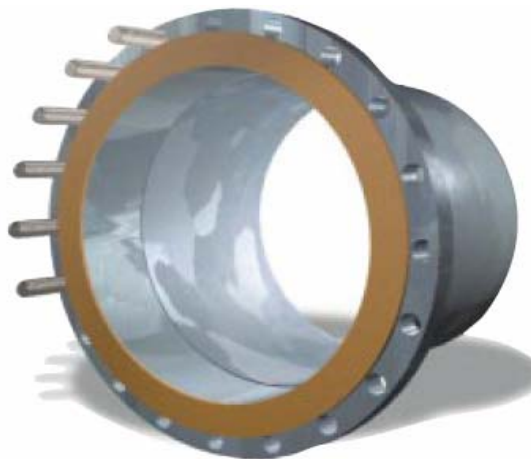
**Figura 3.44 Medidor de eficiencia de juntas aislantes Tinker & Rasor Model RF-IT**

Para esta evaluación se debe usar un equipo de prueba de aislamiento de radio frecuencia (Radio Frequency Above Ground Insulation Tester), además,

también se puede emplear la técnica de la medición de los potenciales Tubería vs. Suelo a cada lado del elemento en estudio para determinar si es que existe o no una fuga de corriente. No debe usarse un ohmmetro común para medir la resistencia de un dieléctrico instalado. Si es que el dieléctrico es bueno, la corriente va a fluir a través del equipo y un daño inminente puede ocurrir. Si es que esta corriente no dañare el equipo, la medición no indica el valor de resistencia.



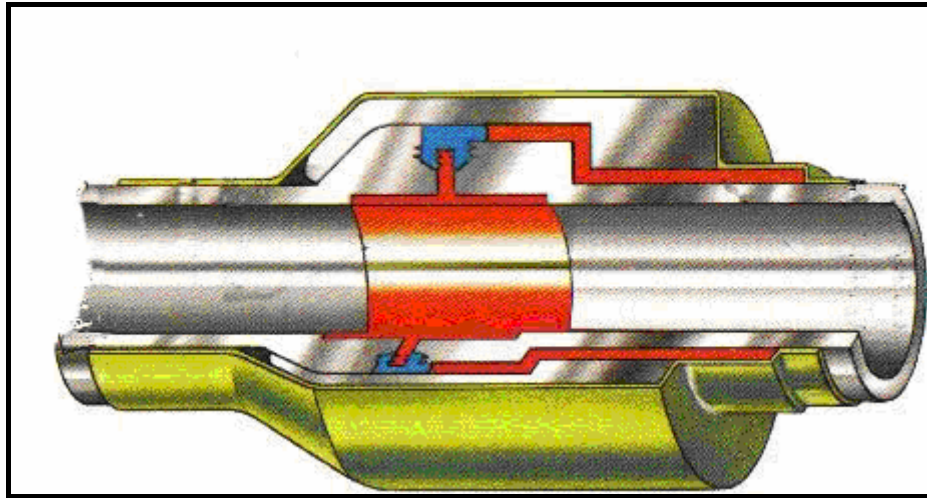
**Figura 3.45 Junta aislante para bridas.**



**Figura 3.46 Empaques aislantes**

Existe otro tipo de junta aislante llamada monolítica. Este tipo de aislamiento entre tuberías protegidas por un sistema de protección catódica y no protegidas posee una alta eficiencia de separación eléctrica en comparación con las juntas de bridas y espárragos que se siguen usando, ya que producen tantos problemas en el momento de la instalación y altos costos de mantenimiento.

Se instalan de manera muy sencilla y soportan los esfuerzos de torsión, tracción y flexión de tal manera que igualan la vida útil de la tubería.



**Figura 3.47 Junta monolítica**

### **3.4 ANÁLISIS DEL SUELO**

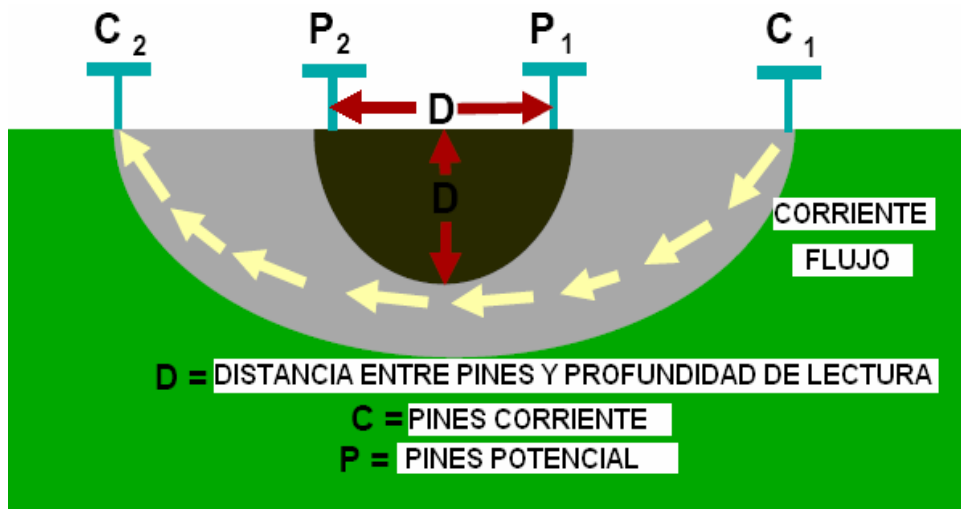
#### **3.4.1 MÉTODO DE MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD DEL SUELO**

La corrosividad del suelo depende de varios factores los cuales afectan el comportamiento del suelo cuando está en contacto con metales. Algunos de estos factores son los que se detallan a continuación:

- Contenido de oxígeno del suelo
- Contenido de sal del suelo
- Contenido de humedad
- Temperatura del suelo
- Actividad microbiológica en el suelo

Un método comúnmente usado para evaluar la corrosividad del suelo para tuberías, es el método de resistividad del suelo.

Existen algunos métodos para la medición de resistividad del suelo entre ellos están: Método Wenner o de 4 puntas, Método varilla única (Single Probe) y el Método caja de suelos. A continuación se explicará el método de 4 puntas ya que fue el empleado para la obtención de los datos en campo.



**Figura 3.48 Método Wenner – 4 puntas**

- Se introducen 4 varillas (puntas) en la tierra.
- Se aplica una corriente a las varillas externas, y se mide la diferencia de potencial entre las varillas.
- La resistividad está en función de la corriente, el voltaje y la separación entre electrodos (que equivale a la profundidad del ensayo).
- La resistividad promedio del suelo está en función de la diferencia de potencial entre el par central de varillas, mientras circula la corriente entre las dos varillas externas.

Para la medición de resistividad del suelo se necesita de un medidor de resistividad en donde se conectan todos los cables que vienen de las varillas enterradas en el suelo.



**Figura 3.49 Medidor de resistividad**



**Figura 3.50 Conexiones del medidor de resistividad**  
Donde P1, P2, C1, C2 son los puntos de conexión.



**Figura 3.51 Medición de resistividad del suelo**

La resistencia indicada en el instrumento por cada punto de medición debe ser guardada en un formulario u hoja de cálculo. Los valores de resistividad deben ser calculados por una de las siguientes fórmulas:

$$\rho = 2 * \pi * a * R \quad (3.10)$$

**Donde**

$\rho$  = Resistividad en ohm-cm.

$\pi$  = Pi (3.14)

**a** = Espaciamiento en cm.

**R** = Resistencia en ohms

Si el espaciamiento se mide en pies, se debe usar la siguiente fórmula:

$$\rho = 191.5 * a * R \quad (3.11)$$

**Donde**

$\rho$  = Resistividad en ohm-cm.

**a** = Espaciamiento en pies.

**R** = Resistencia en ohms

### 3.4.1.1 Análisis de los datos

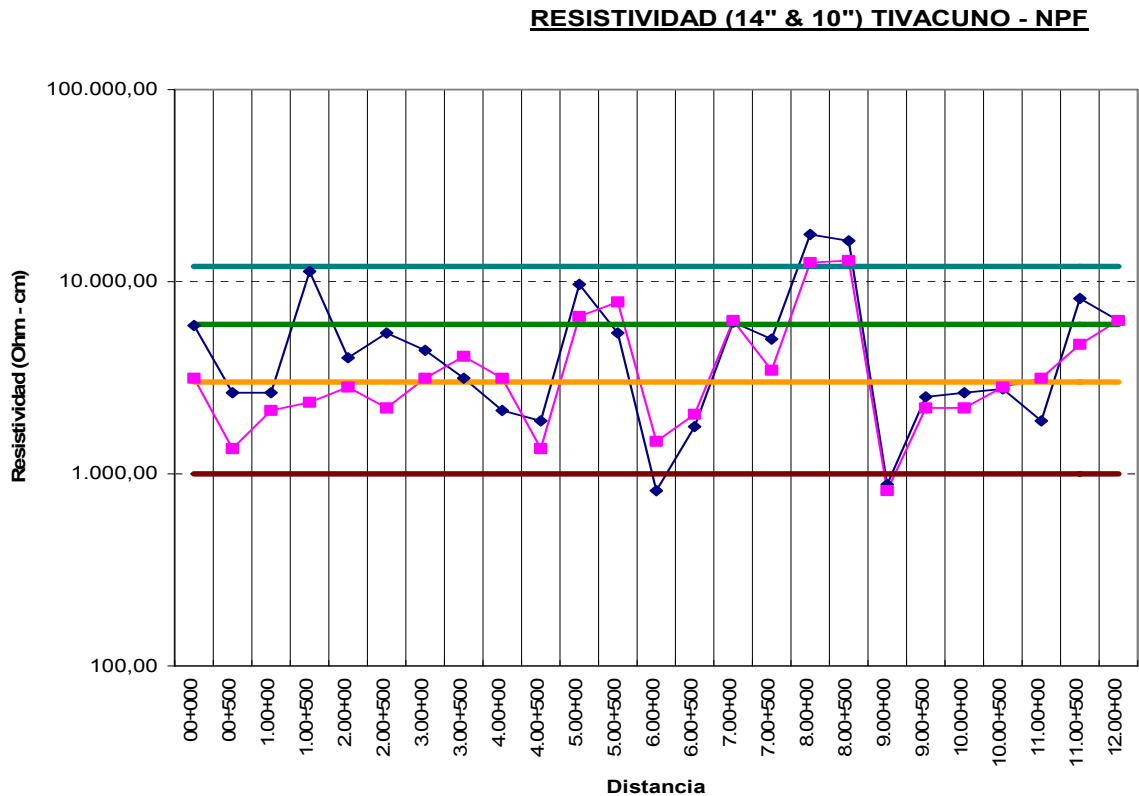
Para la medición de resistividad del suelo de los tramos donde se encuentran enterradas las tuberías existentes en el Bloque 16 se utilizó lo siguiente:

- **Equipo:** Nilsson Resistance Meter / Electrodo de referencia cobre/sulfato de cobre (Cu-CuSO4)
- **Método:** Método Wenner o de 4 puntas
- La medición se realizó cada 500 m.
- La distancia entre las varillas *a* (espaciamiento entre las varillas) fue de 2, 2.5, 3 y 5 m, dependiendo de la profundidad a la cual esta enterrada la tubería.

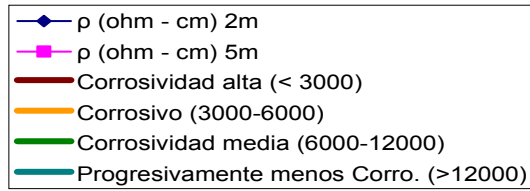
## LÍNEAS INSPECCIONADAS

### TIVACUNO - NPF

#### 14" CRUDO Y 10" AGUA







**Figura 3.52 Análisis resistividad Tivacuno - NPF**

**Resumen:**

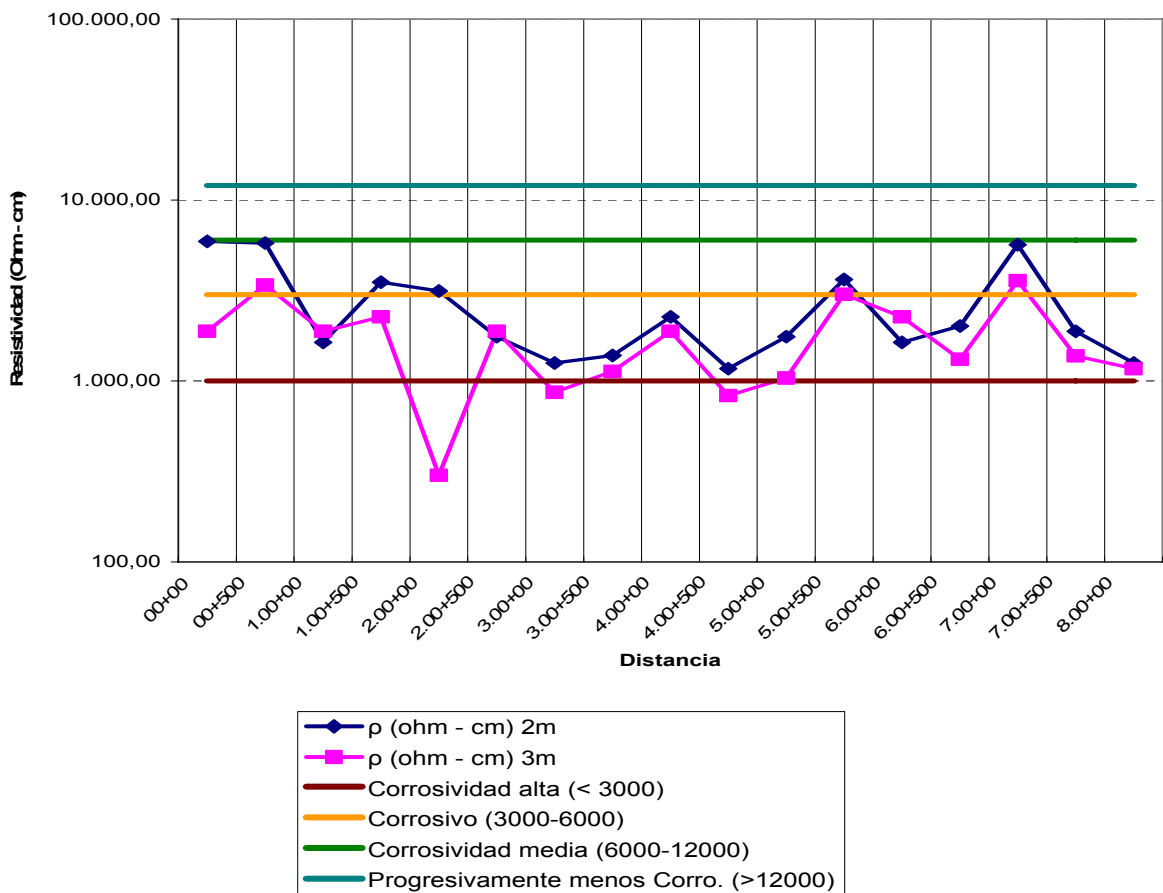
Promedio de la resistividad ρ a 2m (ohm-cm.): **5.255,26<sup>36</sup>**

Promedio de la resistividad ρ a 5m (ohm-cm.): **4.042,6**

**NPF- CAPIRON**

**16" CRUDO Y 14" AGUA**

**RESISTIVIDAD (16" & 14") NPF - CAPIRON**



**Figura 3.53 Análisis resistividad NPF- Capirón**

<sup>36</sup> Para saber que agresividad tienen estos valores ver en Tabla 3.1 al principio de este capítulo.

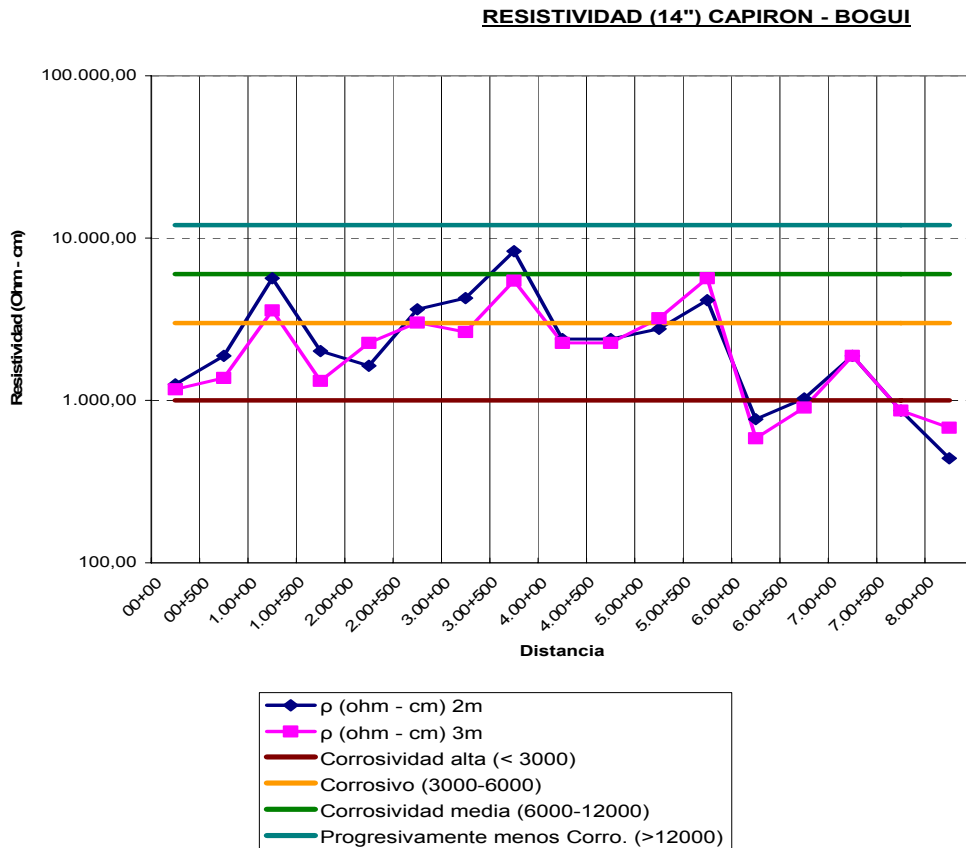
**Resumen:**

Promedio de la resistividad  $\rho$  a 2 m (ohm-cm.): **2.685,51**

Promedio de la resistividad  $\rho$  a 3 m (ohm-cm.): **1.769,6**

**CAPIRON - BOGUI**

**14" AGUA**



**Figura 3.54 Análisis resistividades Capirón- Bogi**

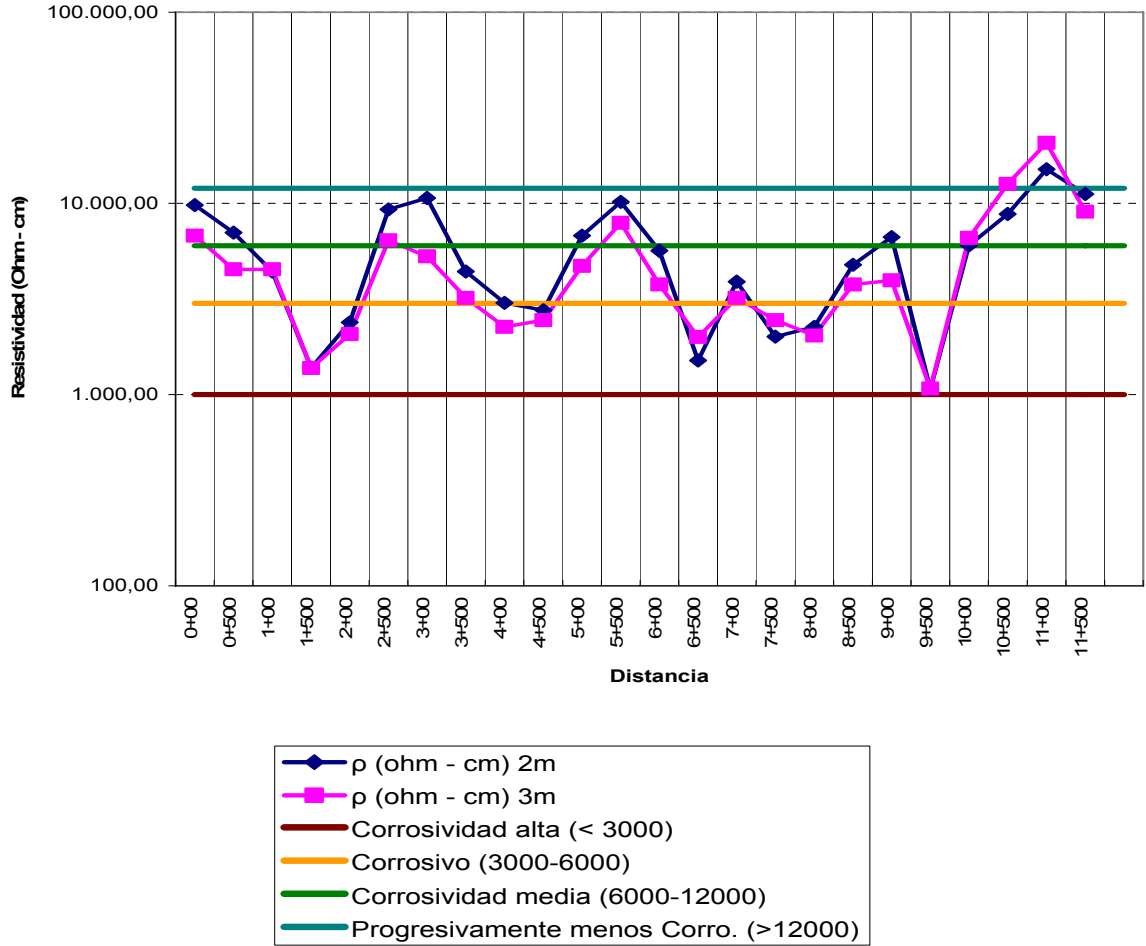
**Resumen:**

Promedio de la resistividad  $\rho$  a 2 m (ohm-cm.): **2.666,29**

Promedio de la resistividad  $\rho$  a 3 m (ohm-cm.): **2.301,86**

**GINTA B – SPF**  
**20" CRUDO**

**RESISTIVIDAD (20") SPF - GINTA B**



**Figura 3.55 Análisis de resistividades Ginta B- SPF**

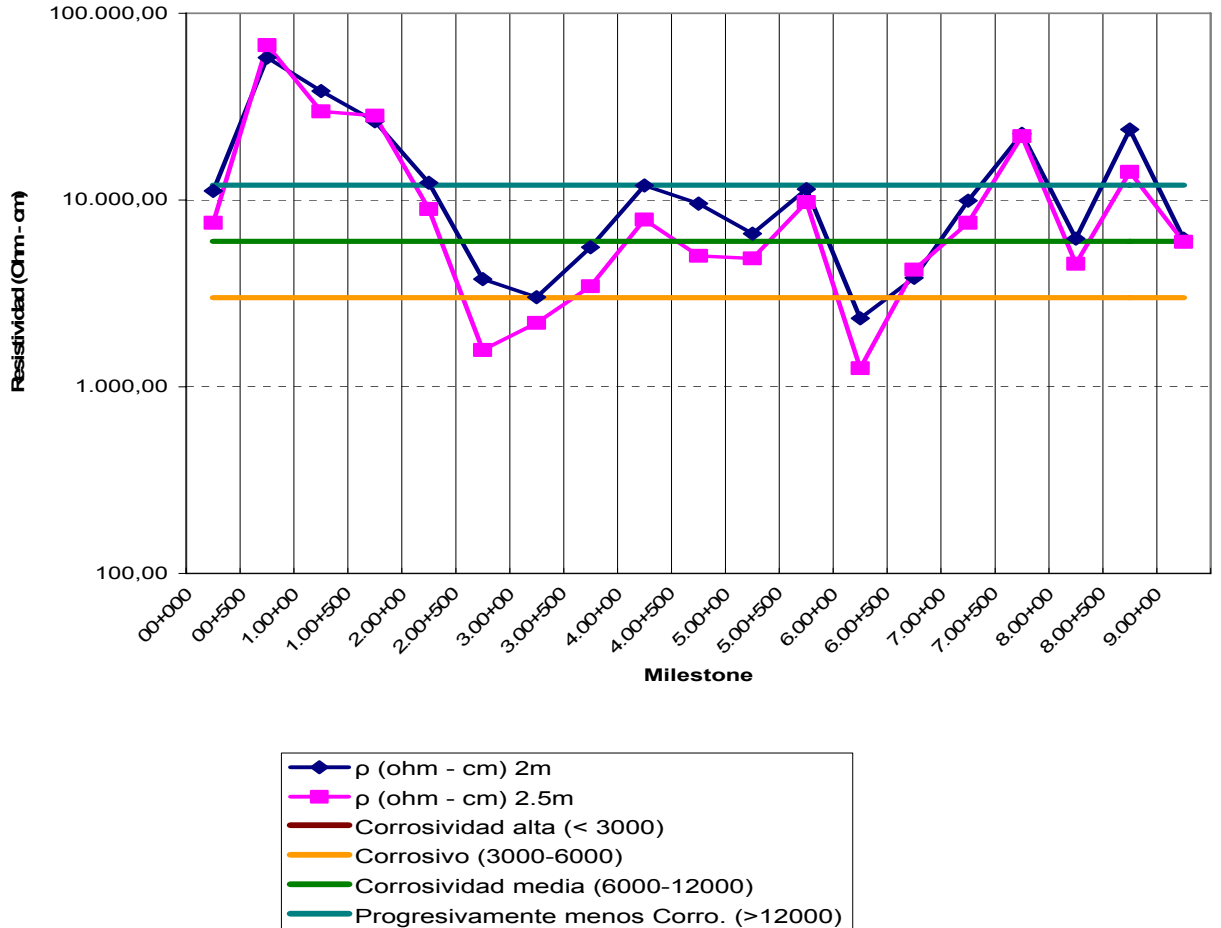
**Resumen:**

Promedio de la resistividad  $\rho$  a 2 m (ohm-cm.): **5.877,40**

Promedio de la resistividad  $\rho$  a 3 m (ohm-cm.): **5.116,0**

**SPF – “Y” IRO**  
**16" CRUDO & 18" AGUA**

**RESISTIVIDAD (16" & 18") SPF - Y IRO**



**Figura 3.56 Análisis de resistividades SPF- “Y” IRO**

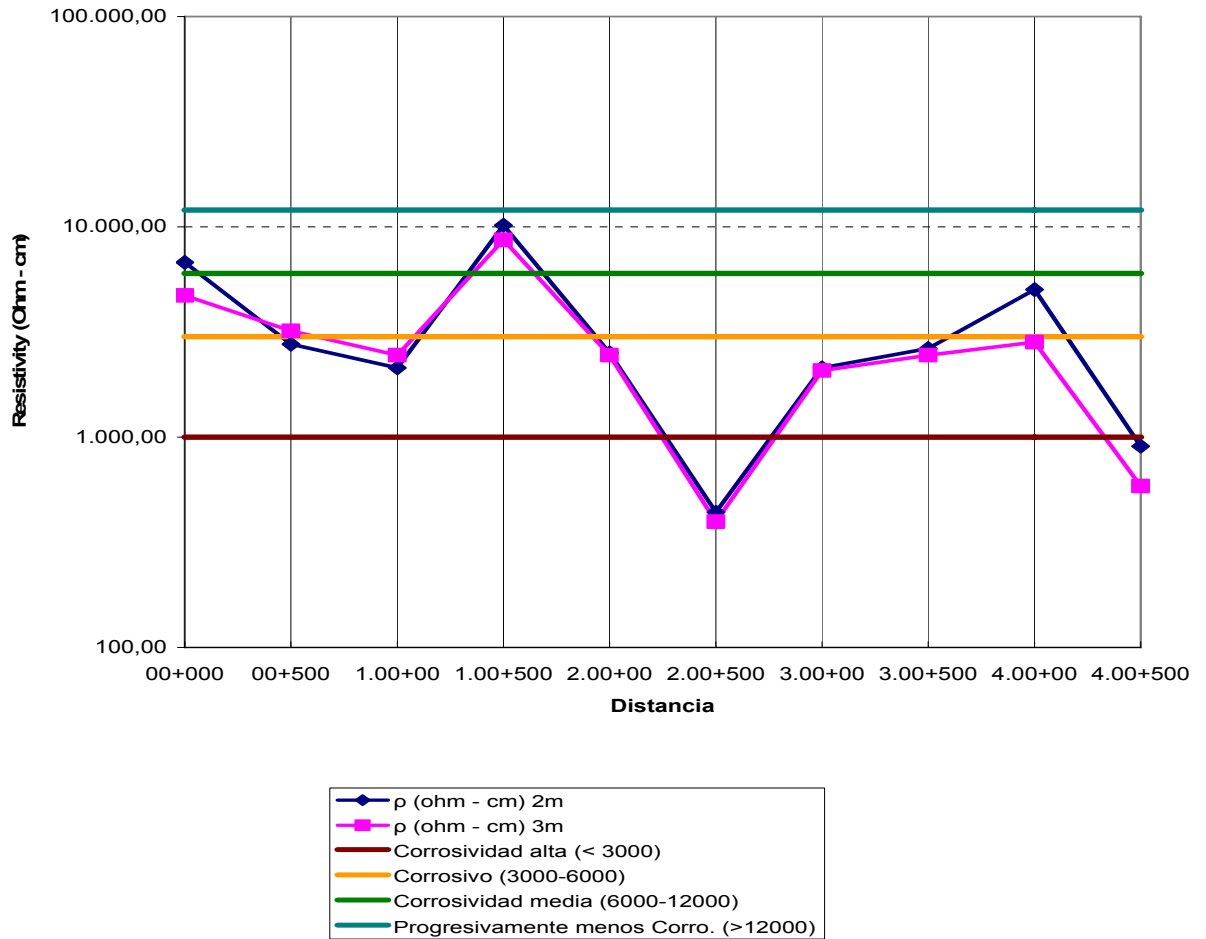
**Resumen:**

Promedio de la resistividad ρ a 2 m (ohm-cm.): **14.368,65**

Promedio de la resistividad ρ a 2.5 m (ohm-cm.): **12.450,63**

**Y IRO -IRO A**  
**16" CRUDO**

**RESISTIVIDAD (16") Y IRO - IRO A**



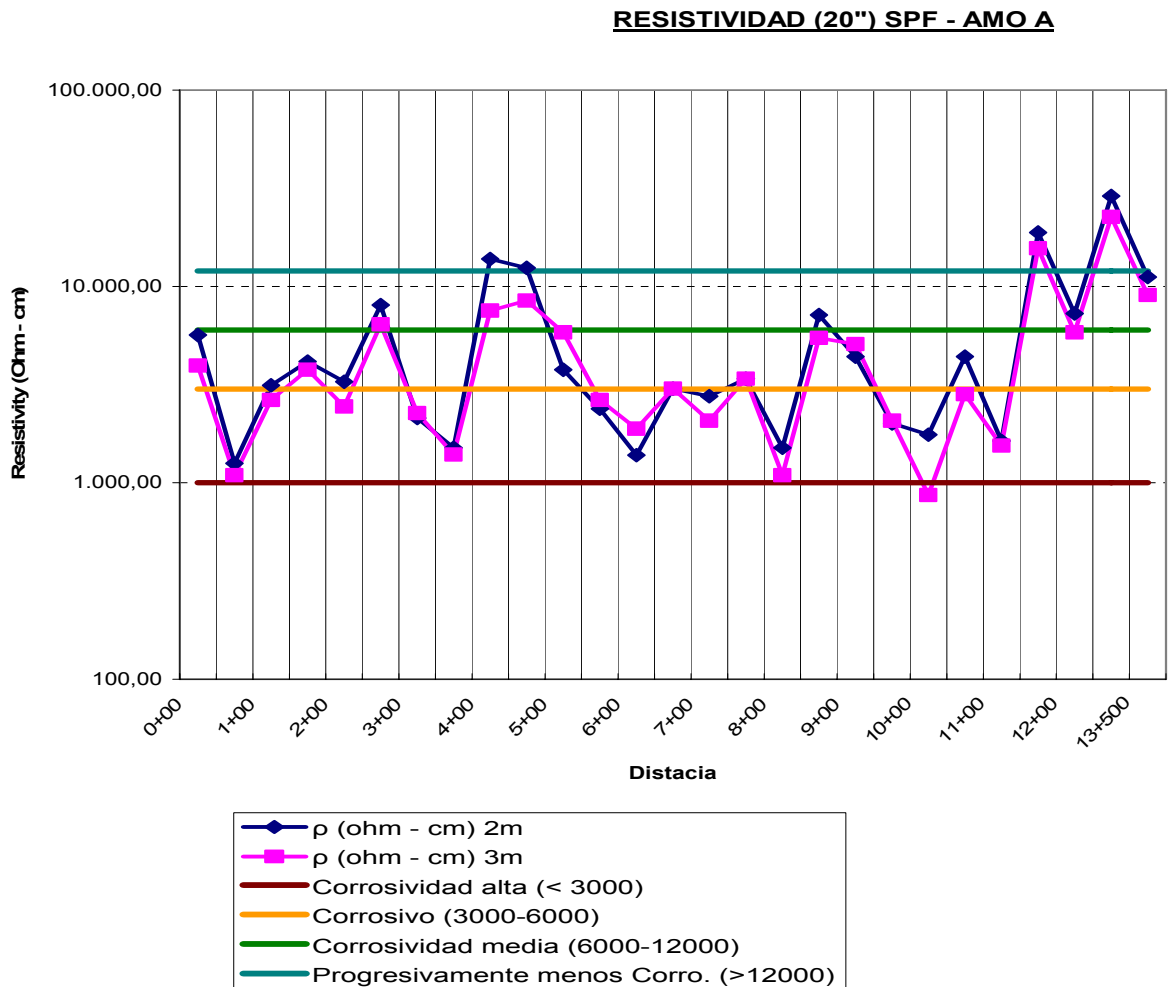
**Figura 3.57 Análisis de resistividades “Y” IRO – IRO A**

**Resumen:**

Promedio de la resistividad ρ a 2 m (ohm-cm.): **3.552,51**

Promedio de la resistividad ρ a 3 m (ohm-cm.): **2.982,00**

**SPF - AMO A**  
**20" CRUDO**



**Figura 3.58 Análisis de resistividades SPF-AMO A**

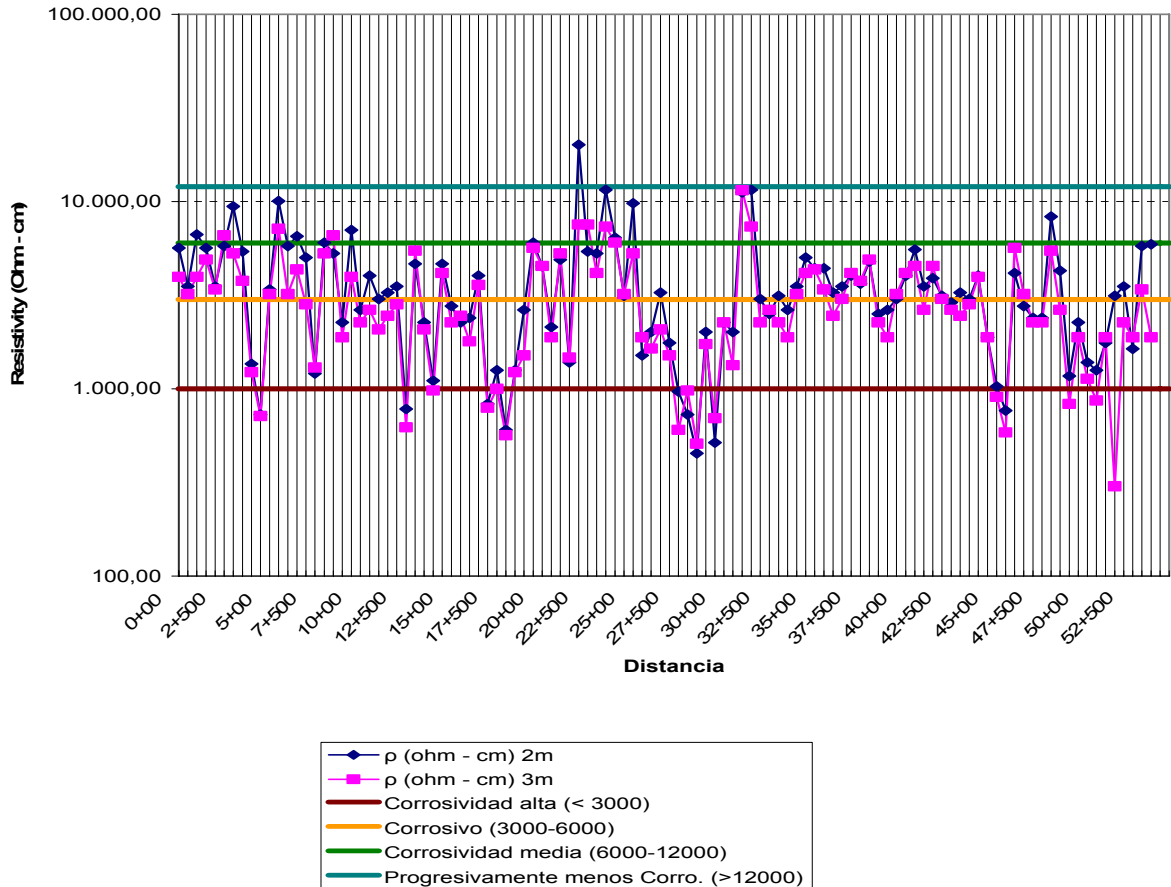
**Resumen:**

Promedio de la resistividad  $\rho$  a 2 m (ohm-cm.): **5.971,35**

Promedio de la resistividad  $\rho$  a 3 m (ohm-cm.): **4.850,62**

**AMO A – NPF**  
**16" CRUDO**

**RESISTIVIDAD (16") AMO A - NPF**



**Figura 3.59 Análisis de resistividades AMO A-NPF**

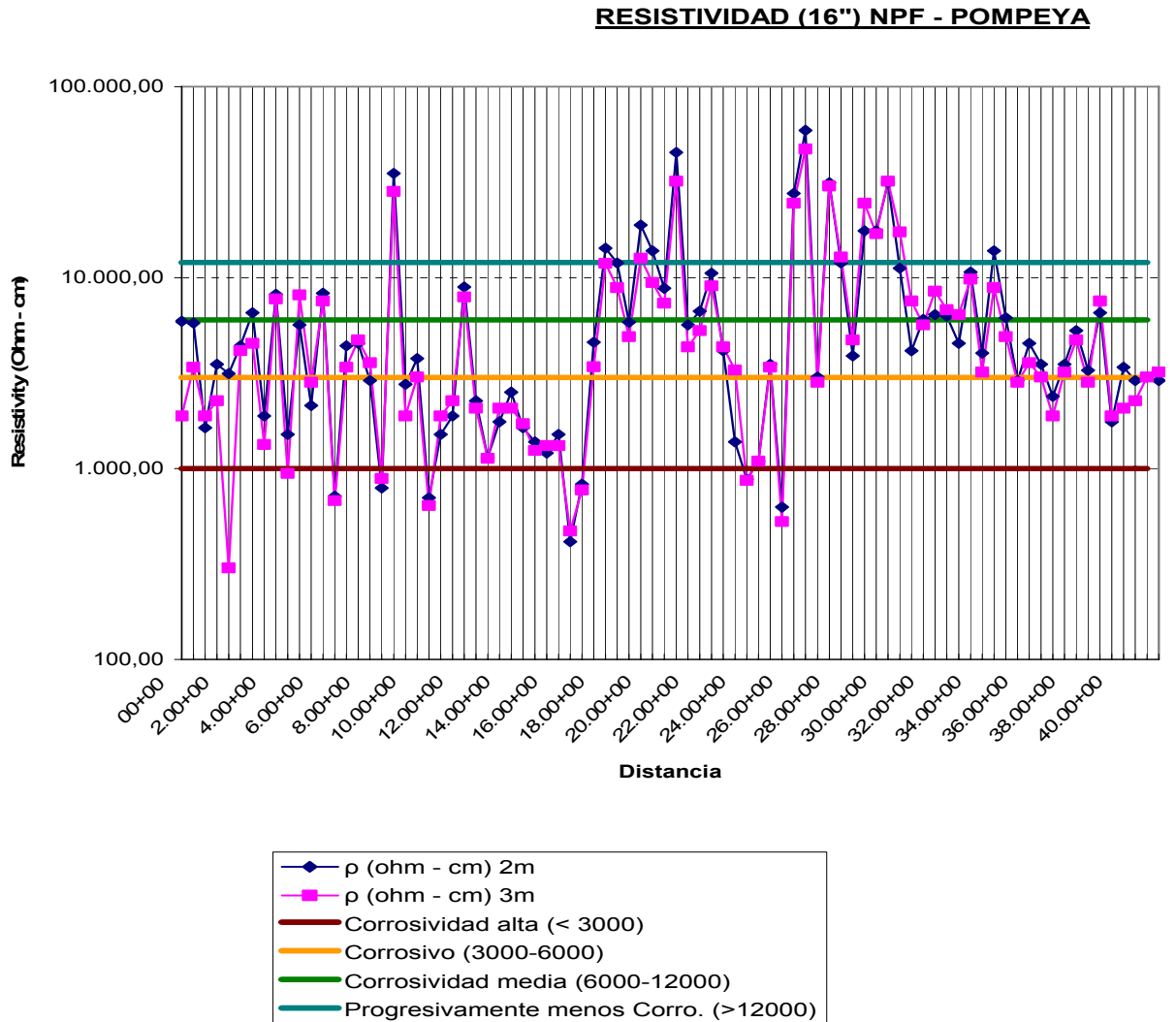
**Resumen:**

Promedio de la resistividad  $\rho$  a 2 m (ohm-cm.): **3.835,54**

Promedio de la resistividad  $\rho$  a 3 m (ohm-cm.): **3.084,52**

## NPF - POMPEYA

### 16" CRUDO



**Figura 3.60 Análisis de resistividades NPF-POMPEYA**

#### Resumen:

Promedio de la resistividad  $\rho$  a 2 m (ohm-cm.): **7.402,79**

Promedio de la resistividad  $\rho$  a 3 m (ohm-cm.): **6.661,07**

#### 3.4.2 MÉTODO DE MEDICIÓN DE PH DEL SUELO

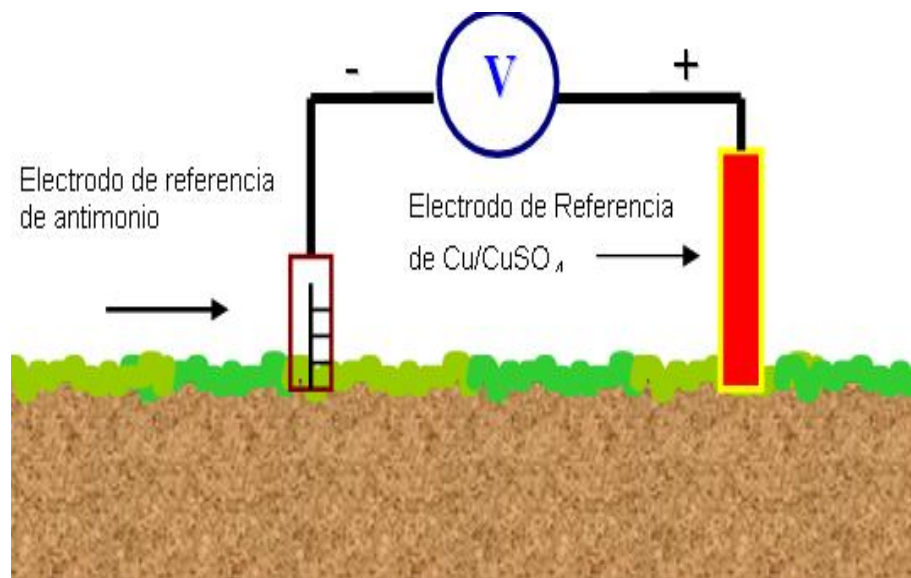
Como se vio anteriormente el pH es un parámetro indicador del grado de acidez del medio por lo tanto es un factor que tiene que ser considerado en el diseño de todo sistema de protección catódica. En el método de medición de



pH del suelo se usa un electrodo de referencia de antimonio y el antes conocido electrodo de cobre/sulfato de cobre.

Durante la medición se asegura y se realiza lo siguiente:

- El buen contacto de lo dos electrodos a la superficie del suelo.
- Que el voltímetro este ubicado en la escala de medición adecuada (mV - DC)
- Conectar el polo negativo del voltímetro al electrodo de referencia de antimonio y el polo positivo del mismo al electrodo de cobre/sulfato de cobre.
- Observar la lectura en el voltímetro y transcribir su valor en pH según la escala del electrodo de antimonio.



**Figura 3. Método de medición de pH**

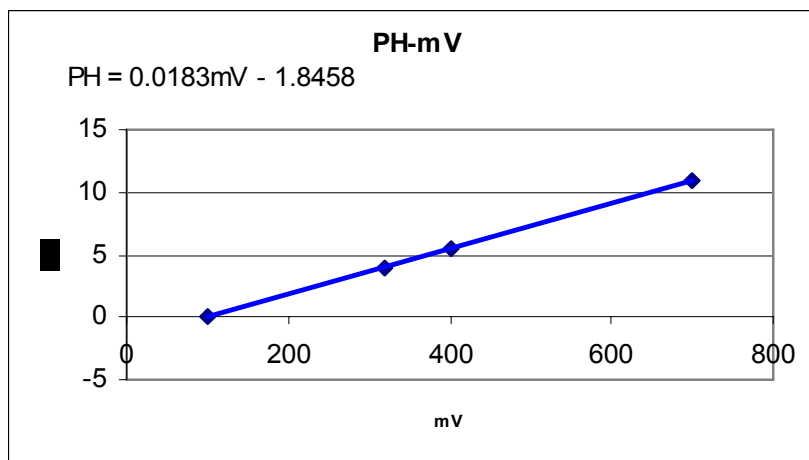


**Figura 3. Electrodo de referencia de Antimonio (Escala mV-pH)**

### 3.4.2.1 Análisis de los datos

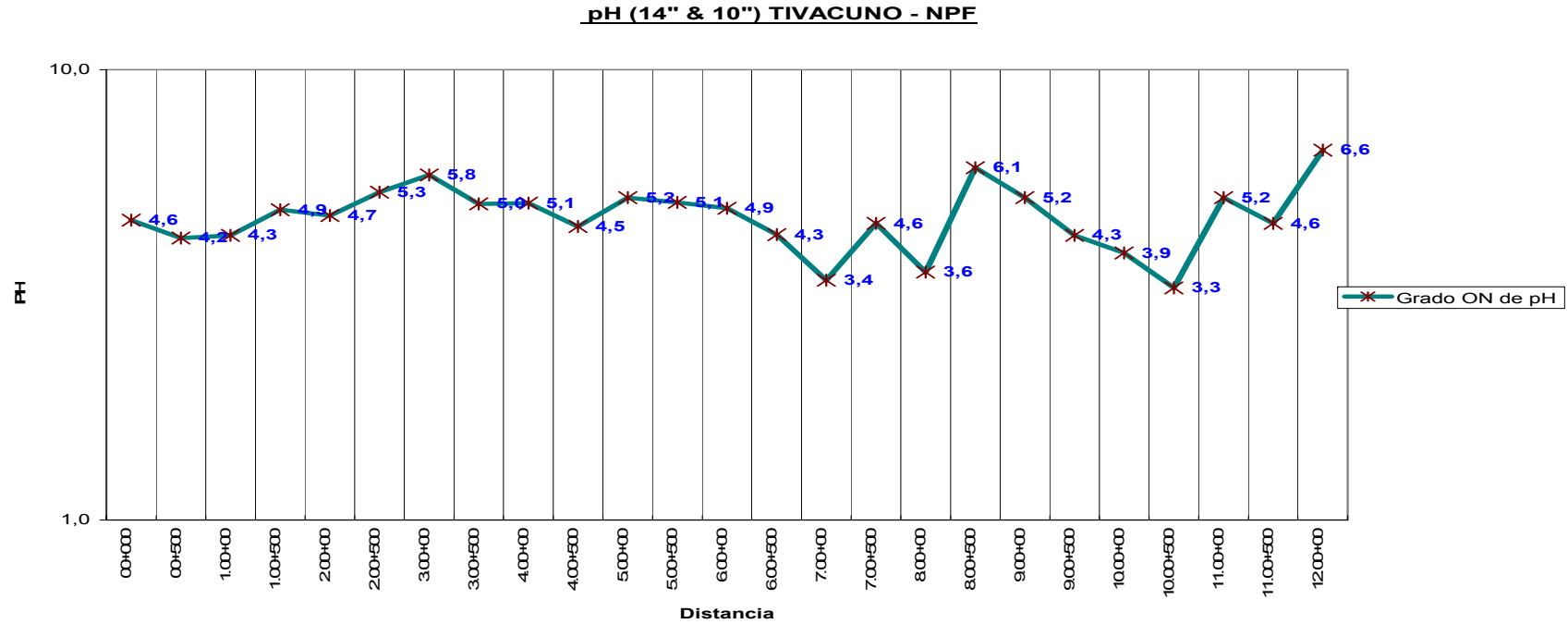
Para la medición de pH del suelo de los tramos donde se encuentran enterradas las tuberías existentes en el Bloque 16 se utilizó lo siguiente:

- **Equipo:** Electrodo de referencia de antimonio (Mc. millar Antimony pH meter electrode)/ Electrodo de referencia cobre/sulfato de cobre (Cu-CuSO<sub>4</sub>)
- La medición se realizó cada 500 m.
- Una ecuación lineal de ayuda para encontrar los valores exactos (pH - mV) dada por el fabricante del electrodo de referencia de antimonio.



**Figura 3.61 Ecuación pH-Mv**

**LÍNEAS INSPECCIONADAS**  
**TIVACUNO – NPF**  
**14" CRUDO y 10" AGUA**



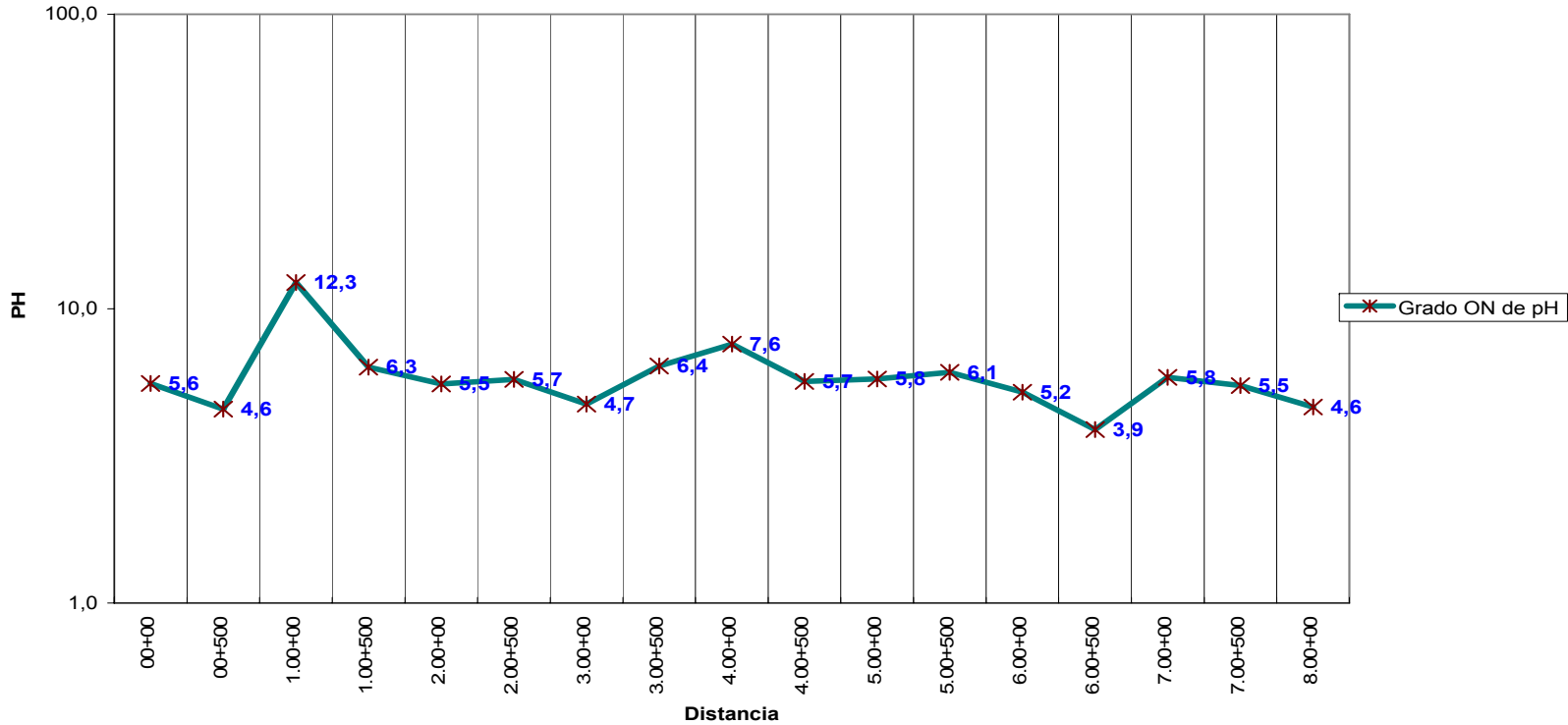
**Figura 3.62. Análisis de resultados de pH Tivacuno- NPF**

Resumen: El promedio de ph en este suelo es de: 4,7<sup>37</sup>

<sup>37</sup> Ver Tabla 3.2 pH de Suelos – pH<4 es un pH fuertemente ácido

**NPF – CAPIRON**  
**16" CRUDO & 14" AGUA**

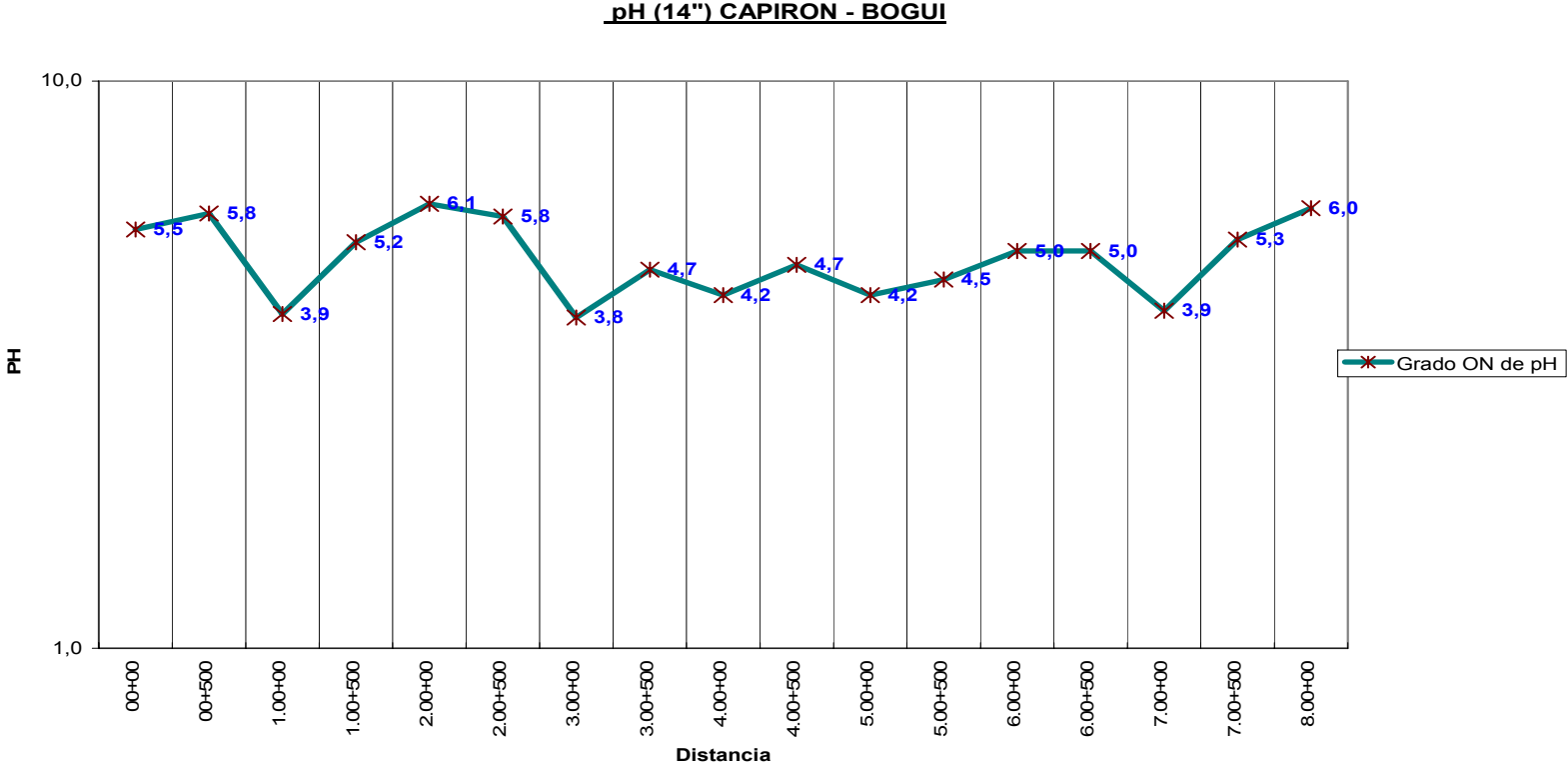
pH (16" & 14") NPF - CAPIRON



**Figura 3.63 Análisis de resultados de pH NPF- Capiron**

Resumen: El promedio de ph en este suelo es de: 6,0

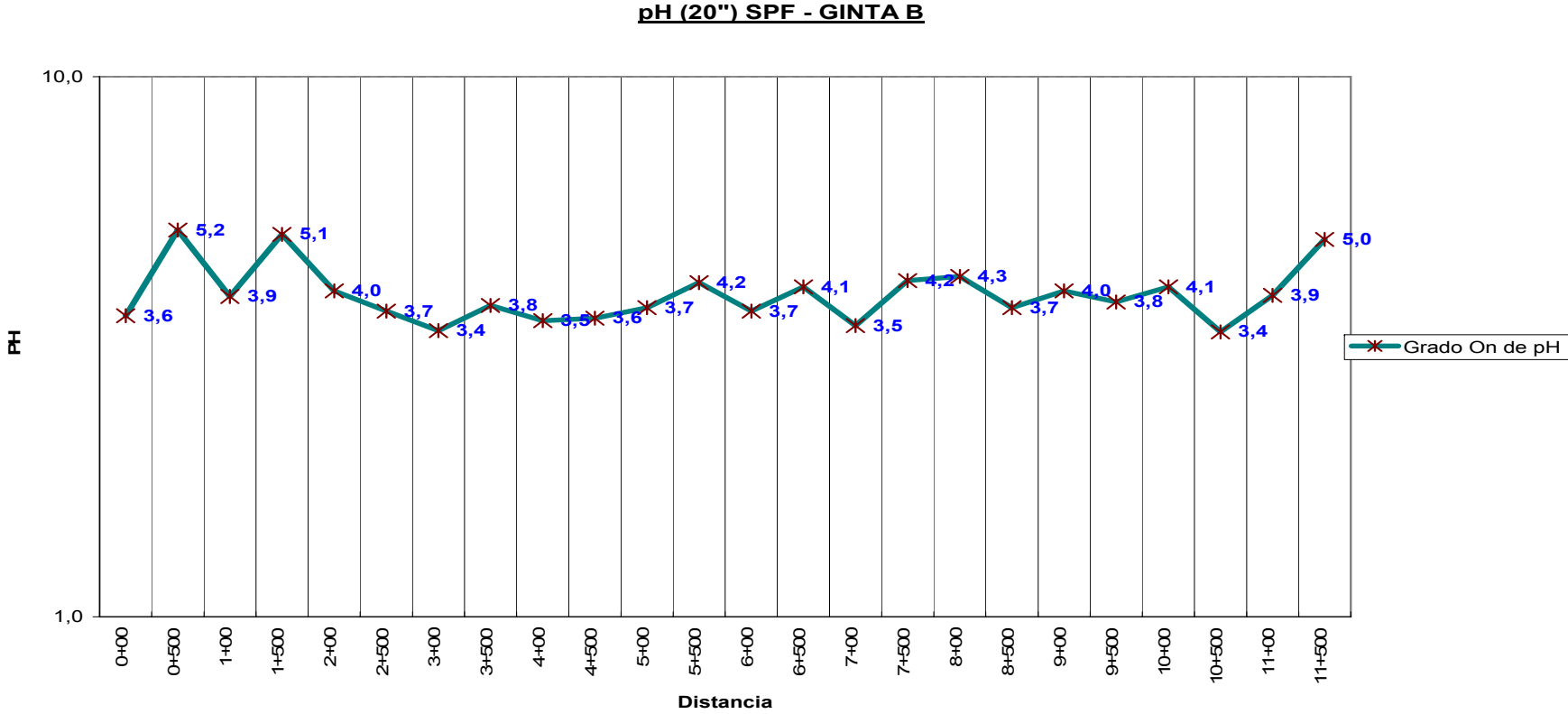
**CAPIRON – BOGUI**  
**14" AGUA**



**Figura 3.64 Análisis de resultados de pH Capirón-Bogi**

Resumen: El promedio de ph en este suelo es de: 4,9

**GINTA B – SPF  
20" CRUDO**

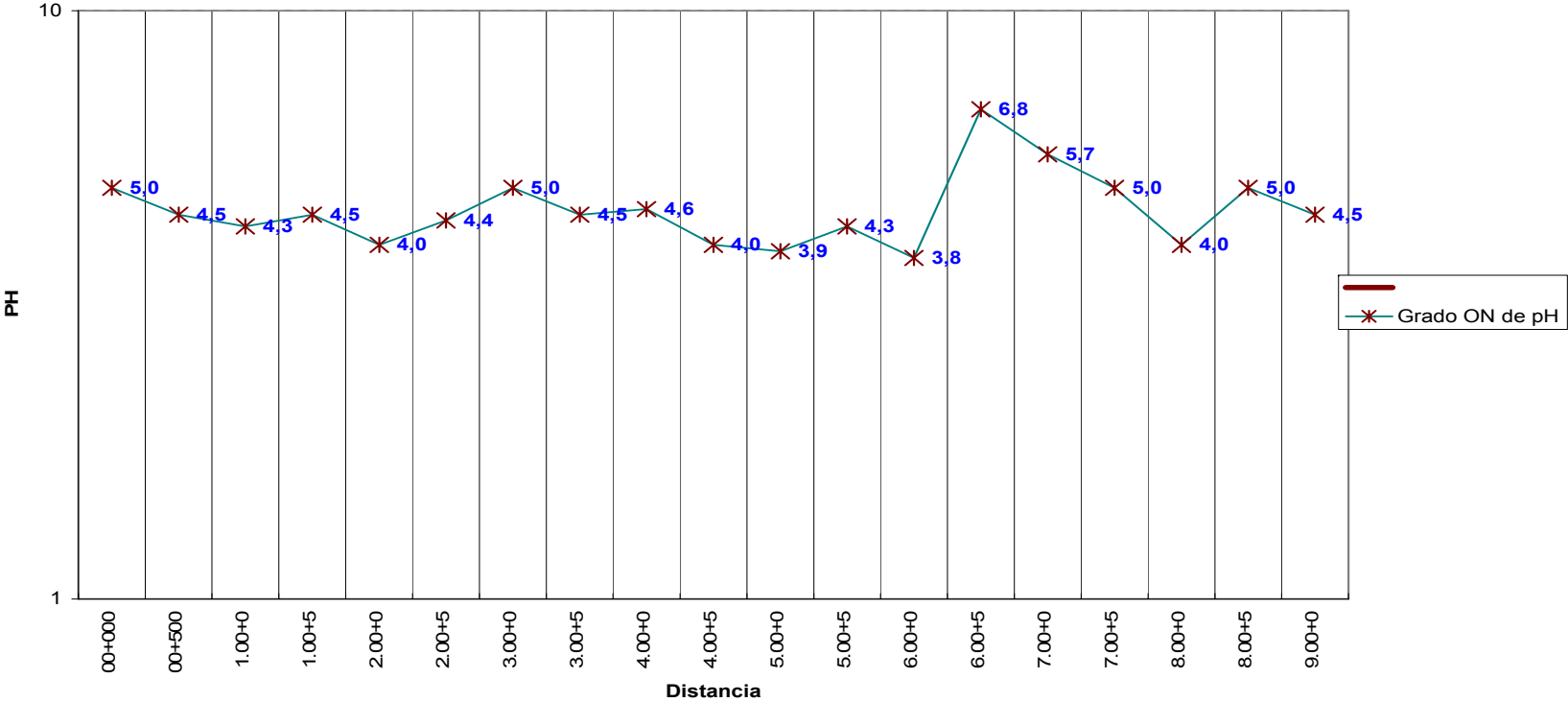


**Figura 3.65 Análisis de resultados de pH SPF-Ginta B**

Resumen: El promedio de ph en este suelo es de: 4

**SPF – “Y” IRO**  
**16" CRUDO & 18" AGUA**

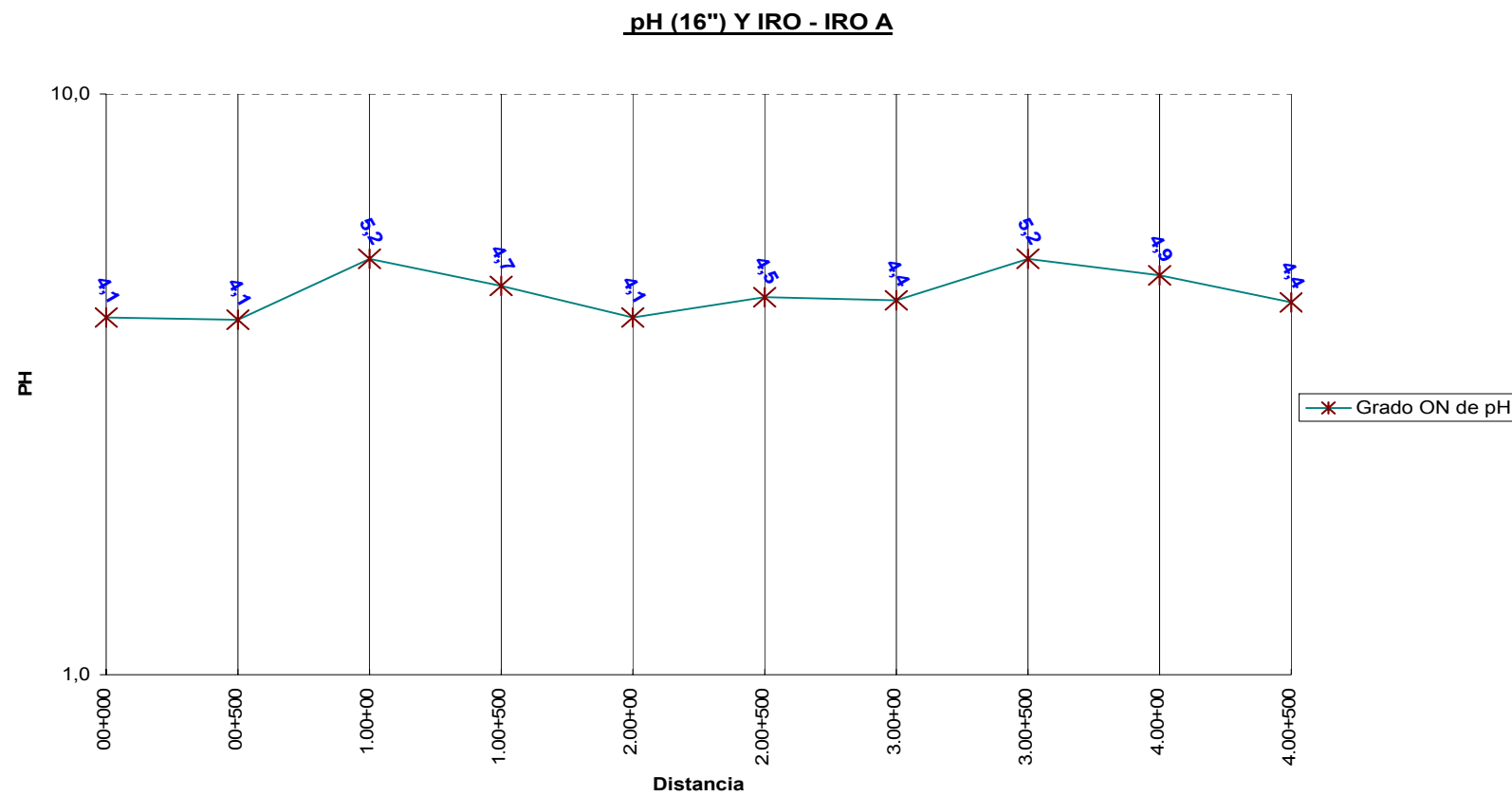
**pH (16" & 18") SPF - Y IRO**



**Figura 3.66 Análisis de resultados de pH SPF-Y Iro**

Resumen: El promedio de ph en este suelo es de: 4,6

Y IRO -IRO A  
16" CRUDO

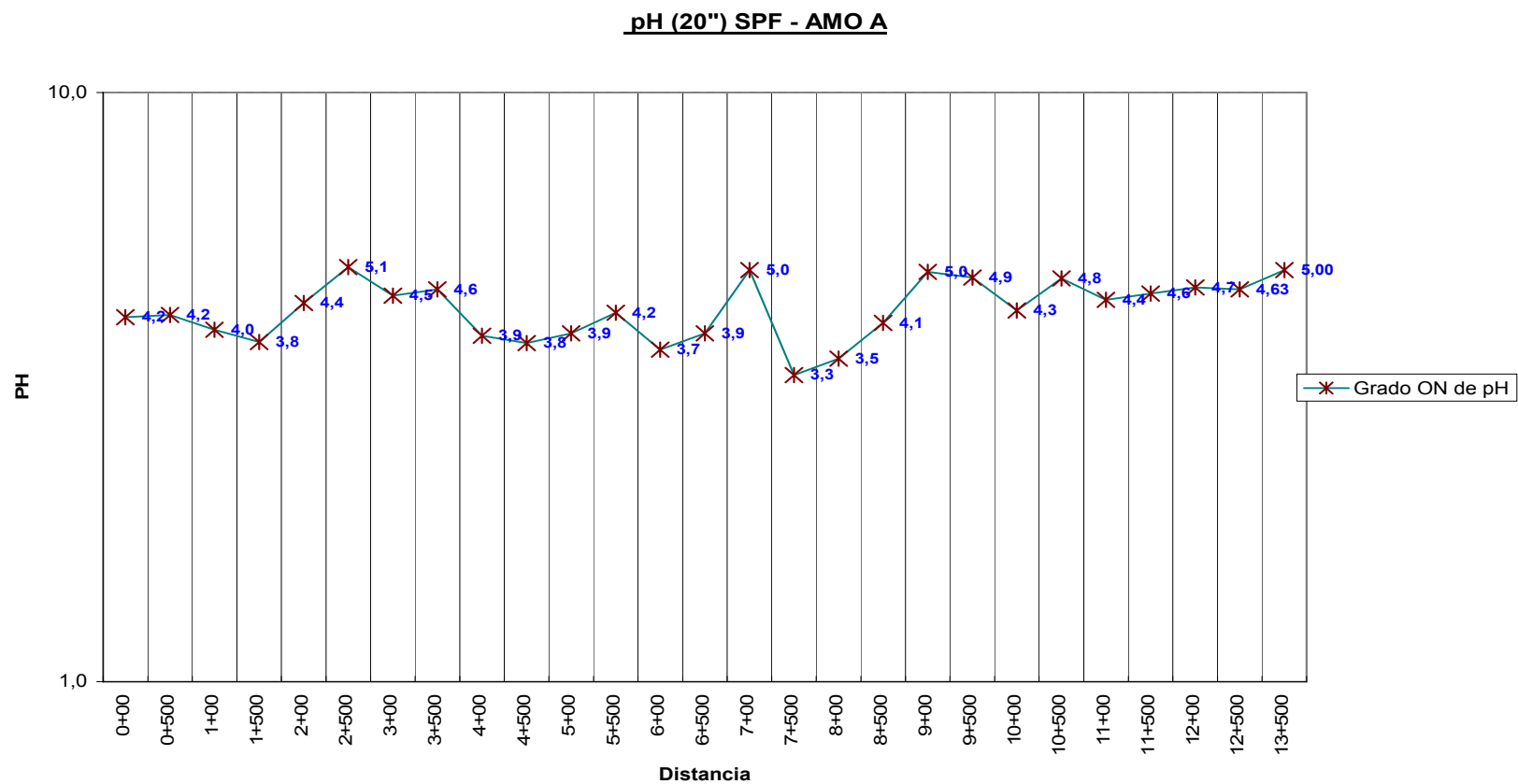


**Figura 3.67 Análisis de resultados de pH Y Iro- Iro A**

Resumen: El promedio de ph en este suelo es de: 4,6



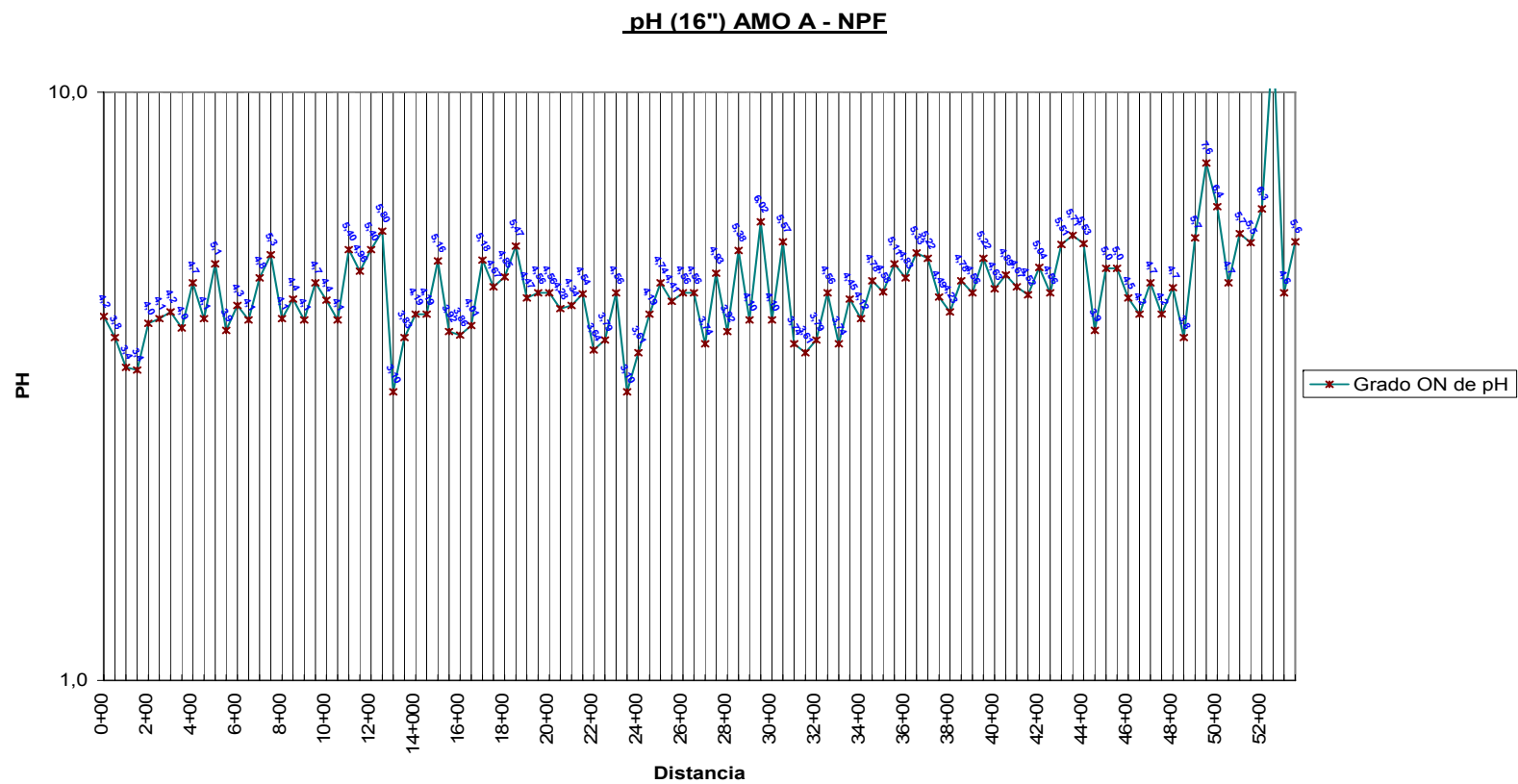
**SPF - AMO A**  
**20" CRUDO**



**Figura 3.68 Análisis de resultados de pH SPF- Amo A**

Resumen: El promedio de ph en este suelo es de: 4,3

**AMO A - NPF**  
**16" CRUDO**



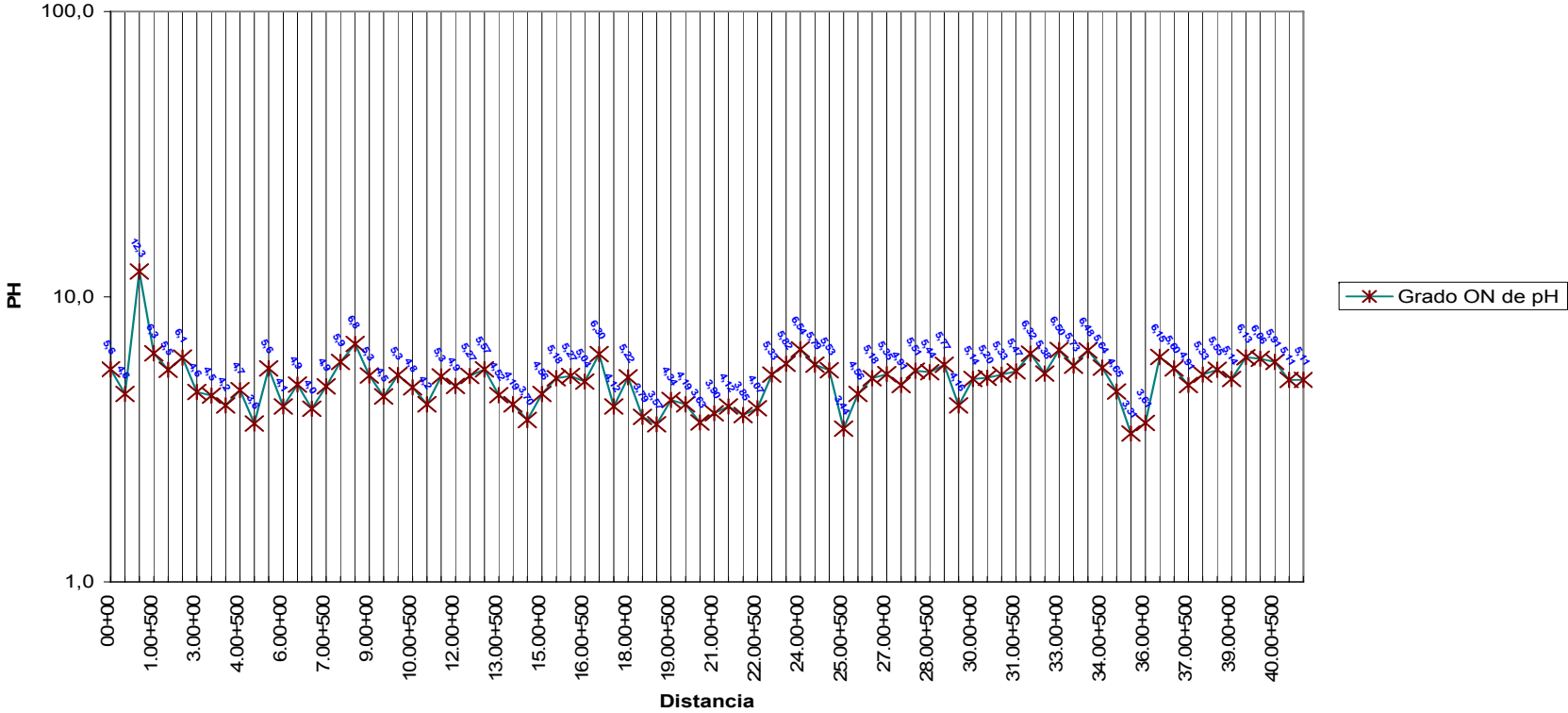
**Figura 3.69 Análisis de resultados de pH Amo A-NPF**

Resumen: El promedio de ph en este suelo es de: 4,7

**NPF - POMPEYA**

**16" CRUDO**

**pH (16") NPF - POMPEYA**



**Figura 3.70 Análisis de resultados de pH NPF-Pompeya**

Resumen: El promedio de ph en este suelo es de: 5,1

POMPEYA - SSFD

16" CRUDO

pH (16") POMPEYA-SSFD

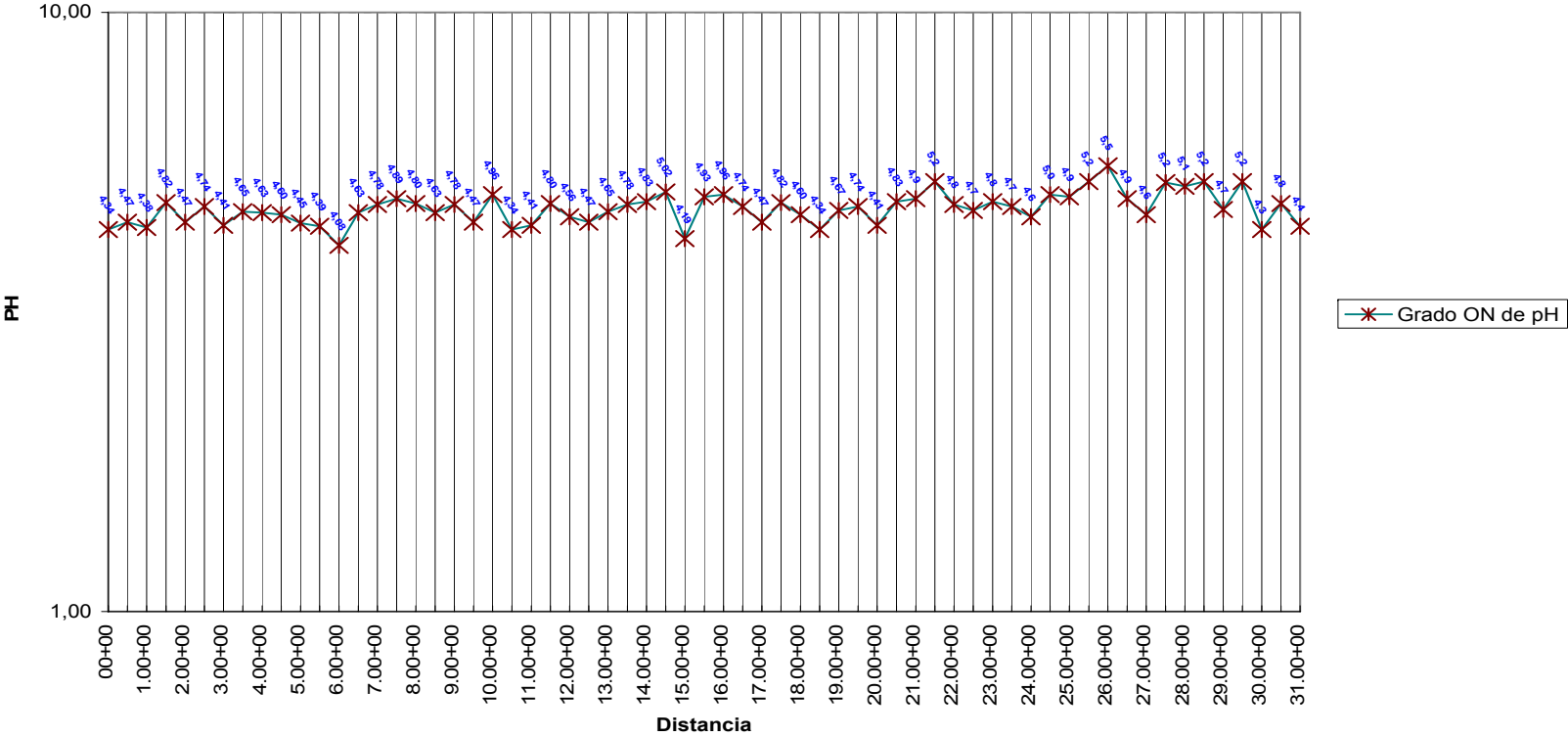


Figura 3.71 Análisis de resultados de pH Pompeya-SSFD

Resumen: El promedio de ph en este suelo es de: 4,7

### 3.4.3 ESTUDIO DE LOS DIAGRAMAS DE POURBAIX

#### Marcel Pourbaix (1904-1998)

Marcel Pourbaix nació en Myshega (Rusia). Estudió en Bruselas y se graduó en la Facultad de ciencias aplicadas en Université Libre de Bruxelles en 1927. Antes de 1928, él había ideado los diagramas potencial-pH por los cuales él se hizo famoso. Durante los años cincuenta y a principios de los años 60, Marcel Pourbaix y sus colaboradores producen diagramas de potencial-pH para todos los elementos fueron publicados en el “Atlas de equilibrios electroquímicos” en francés en 1963 y en inglés en 1966.

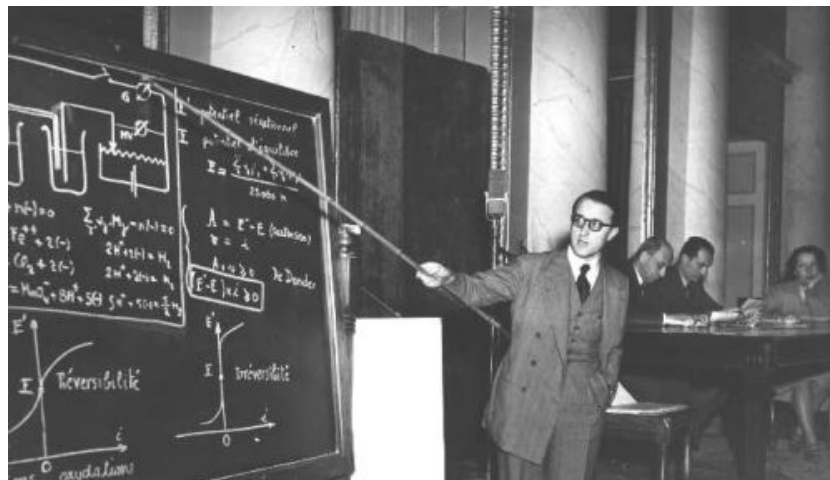
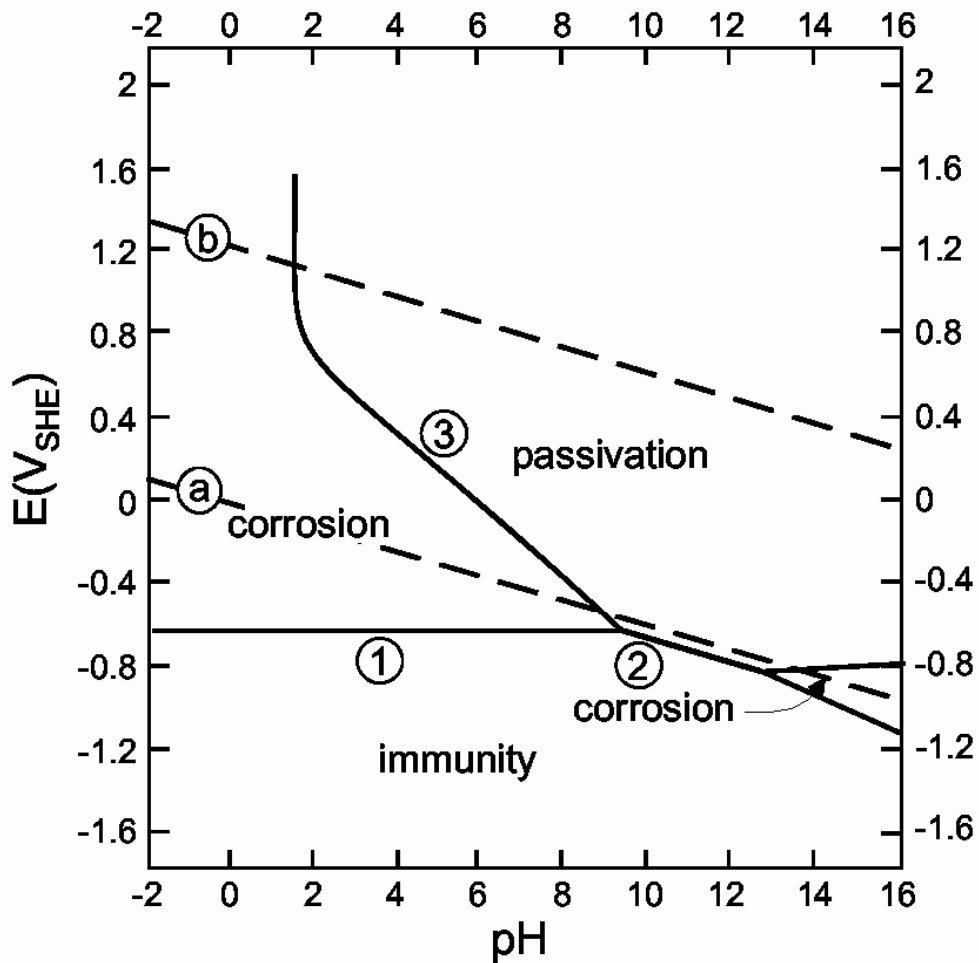


Figura 3.72 Marcel Pourbaix en Milano 1948

Marcel Pourbaix era el colaborador internacional por excelencia en la corrosión que combatía. Él visitó y dio conferencias por casi todas partes en el mundo. Él contribuyó activamente a la creación de un consejo internacional de la corrosión (ICC). En 1990, la asociación nacional de los ingenieros de la corrosión (NACE) creó “una beca del estudiante de la concesión de Marcel Pourbaix” y el ICC creado en 1996 una “concesión de Marcel Pourbaix.

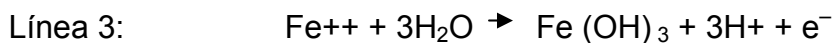
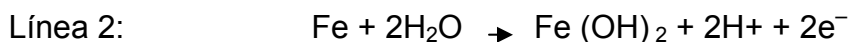
El potencial  $E$  desarrollado a través de la interfase es función de el metal involucrado y el pH, es decir la concentración relativa de  $\text{H}^+$  y  $\text{OH}^-$  iones en la superficie. La tendencia termodinámica del metal para corroerse por una o más de tres reacciones pueden ser calculadas usando básicas relaciones de energía. Para el acero, un diagrama potencial-pH (llamado diagrama de Pourbaix) resulta como se ve en la figura siguiente:



**Figura 3.73 Diagrama de Pourbaix del Hierro en agua a 25 °C**

Fuente: CP 3 Cathodic Protection Technologist Course Manual, NACE International, 2005

Línea 1, 2, y 3 en la Figura 3.73 hay que relacionar a las siguientes reacciones:



Estas líneas definen tres distintas regiones de estabilidad relativa del ion ( $\text{Fe}^{++}$ ) – corrosión, pasivación, e inmunidad. En términos de energía, un electrodo de hierro con u potencial/pH en la zona de corrosión indica que la corrosión puede ocurrir pero no necesariamente significa que sucederá. En la zona de inmunidad el ion  $\text{Fe}^{++}$  es relativamente insoluble y por lo tanto la corrosión es improbable. En la zona de pasivación, hidróxidos y óxidos de hierro son formados en la superficie del metal inhibiendo por lo tanto la

corrosión. Esencialmente, la película pasiva de hidróxido u óxido forma una barrera entre el sustrato de hierro y el agua.

Las líneas a y b, representan los límites de estabilidad termodinámica para una molécula de agua, la cual es dependiente del potencial y pH. Entre las líneas a y b, el agua es considerada termodinámicamente estable pero disocia en estas líneas.

La línea b llamada línea de oxígeno, corresponde a la ruptura de una molécula de agua para producir iones de hidrógeno y gas de oxígeno resultando en la transferencia de cuatro electrones a través de la interfase como se ve en la ecuación 3.12:



En la línea a, llamada la línea de hidrógeno, por cada dos moléculas de agua, una molécula de gas de hidrógeno y dos iones hidroxilo son producidos como se ve en la ecuación 3.13:



## CAPITULO 4

### RESUMEN DEL ESTUDIO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA EXISTENTE EN EL BLOQUE 16

#### 4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS DEL ESTUDIO DE PROTECCIÓN CATÓDICA EXISTENTE EN EL BLOQUE 16.

Los resultados de este análisis se basan en:

- 1) Estudios realizados por parte del Departamento de soldadura, corrosión e inspección técnica de Repsol YPF S.A. del Ecuador.

##### Estudio con el uso de SMART PIGS

Luego del estudio realizado con este sistema de inspección de tuberías se desprende el siguiente resumen de datos que se ve a continuación en la tabla 4.1:

**Tabla 4.1 Resumen general de defectos externos con el uso de Smart Pigs**

Tramo de tubería	Número de defectos internos	Número de defectos externos	% De defectos externos
Iro A a la Y 12" AGUA	13567	1570	10.37 %
NPF a Capiron 14" AGUA	0	2816	100 %
NPF a Tivacuno 10" AGUA	410	2291	84.82 %
Pompeya a Shushufindi 16" CRUDO	27	63	70 %
Tivacuno a NPF 14" CRUDO	443	237	34.85 %
Bogi a Capiron 12"	3714	1	0 %
La Y a Iro A 12" CRUDO	13	45	77.85 %
NPF a Pompeya 16" CRUDO	186	435	70.04 %

Fuente: GE Energy P II Pipeline Solutions Diciembre 25, 2005

Como se puede observar en la Tabla 4.1 existe una gran cantidad de defectos exteriores en los tramos de tubería estudiados. Esto indica que los sistemas actuales de protección catódica y/o sus revestimientos no están funcionando con una eficiencia adecuada.



Vale recalcar que los defectos encontrados cumplen con los requerimientos de operación que exige la norma ASME B31G<sup>38</sup>.

### Estudio del revestimiento de líneas mediante DCVG

**Tabla 4.2 Defectos del revestimiento de tuberías mediante DCVG**

Tramo de tubería	Reparación Inmediata	Reparación a corto plazo	Reparación a mediano plazo
SPF – Yasuni - AMO A en la Línea de 16" (Oil)	2	18	26
AMO A – KM 80 en la Línea de 16" (Oil)	0	5	8
KM 80 – Tivacuno en la Línea de 16" (Oil)	0	3	16
Tivacuno – NPF en la Línea de 16" (Oil)	0	9	60
NPF – TIPUTINI en la Línea de 16" (Oil)	2	12	25
TIPUTINI – NAPO en la Línea de 16" (Oil)	1	7	23
NPF – Tivacuno en las Líneas de 14" (Oil) y 10" (Water)	11	18	36
NPF - Capiron en las Líneas de 16" (Oil) y 14" (Water)	4	15	35
AMO A – Yasuni – Amo B – SPF en las Líneas de 20" (Oil) y 18" (Water)	4	11	26
IRO – GINTA en las Líneas de 12" (Oil) y 12" (Water)	1	6	5
GINTA – SPF en las Líneas de 20" (Oil) y 18" (Water)	6	12	32

Fuente: Tech-corr Inspection and Engineering

<sup>38</sup> ASME B31G.- Norma ASME que permite determinar el esfuerzo remanente de tuberías corroídas.



**Figura 4.1 Defectos en el revestimiento de tuberías enterradas**

Los daños del revestimiento según las acciones requeridas presentadas en la tabla 4.2, priorizando todos aquellos que son grandes consumidores de corriente, ameritan reparación inmediata. Se deben realizar estos arreglos con la finalidad de lograr los niveles óptimos de protección, ya sean daños puntuales o continuos, los cuales afectan la eficiencia de los sistemas de protección catódica del Bloque 16.

## **2) Datos de campo obtenidos durante visitas realizadas:**

Medición de potenciales naturales, “ON” y estado de las juntas aislantes, en los lanzadores y recibidores de los Wellpads y Facilidades del Bloque 16.

### **a) SISTEMA DE PC IRO**

De los datos tomados en campo se desprende que únicamente la línea de 16” nueva de crudo Iro A a SPF cumple con el criterio de protección de la norma. Algunas de las JA instaladas presentan un aislamiento menor al 30%.

### **b) SISTEMA DE PC GINTA**

De los datos obtenidos en campo se concluye que las líneas del sistema Ginta no cumplen con los criterios de protección catódica. Si no cumplen los potenciales ON con mayor razón no cumplirán los potenciales OFF. Ninguna de las juntas aislantes de este sistema está trabajando correctamente.

c) SISTEMA PC DAIMI

De los datos obtenidos en campo se puede concluir que, se debe recalibrar este SPC ya que solo tres de las líneas presentan potenciales ON que podrían cumplir con el criterio de la norma. Solo una de las juntas aislantes de este sistema está trabajando correctamente.

d) SISTEMA PC AMO

De los datos obtenidos en campo se observa que solo en tres mediciones se alcanza potenciales ON que podrían alcanzar el potencial de la norma. Ninguna de las juntas aislantes de este grupo está trabajando correctamente.

e) SISTEMA PC DE LOS OLEODUCTOS PRINCIPALES

Los datos obtenidos en campo muestran que las líneas de este sistema tienen potenciales ON que cubren los requerimientos de la norma.

Todas las juntas aislantes de este sistema están trabajando correctamente debido a las características de los fluidos transportados por estas líneas.

f) SISTEMA DE PC CAPIRÓN

De los datos obtenidos en campo se concluye que algunas de las líneas de este sistema no cumple con los requerimientos de la norma con los rectificadores encendidos, con mayor razón no cumplirían en caso de apagar los rectificadores.

Solo una de las juntas aislantes de este sistema está trabajando correctamente.

g) SISTEMA DE PC TIVACUNO

Como se observa en los datos obtenidos en campo las líneas de este sistema cubren con el criterio de la norma.

Sin embargo es importante notar la gran cantidad de defectos encontrados que han ocasionado su reparación.

h) SISTEMA DE PC NPF – POMPEYA

De los datos obtenidos en campo se observa que las líneas cumplen con los requerimientos de la norma. Todas las juntas aislantes están trabajando correctamente.

## Estado actual de los rectificadores existentes en el Bloque 16

### RECTIFICADOR X-2054-TR VOLTAJE DC

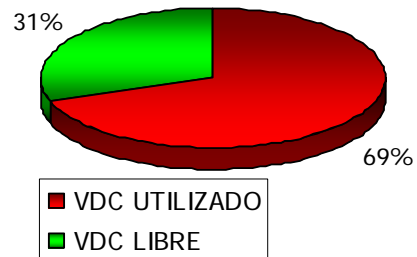


Figura 4.2 Estado del rectificador X-2054-TR voltaje DC

### RECTIFICADOR X-1053-TR VOLTAJE

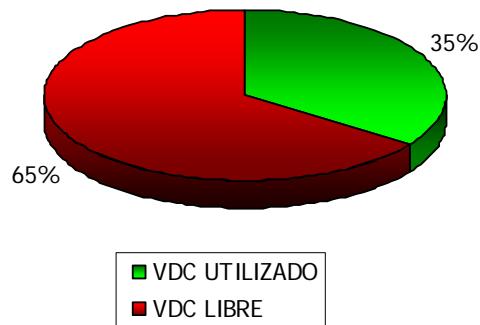


Figura 4.3 Estado del rectificador X-2054-TR amperaje DC

### RECTIFICADOR X-1053-TR AMPERAJE

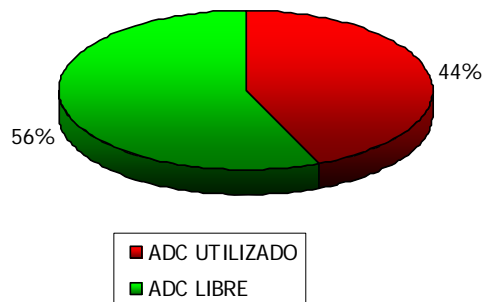


Figura 4.4 Estado del rectificador X-1053-TR amperaje DC

### RECTIFICADOR X-1952-TR VOLTAJE

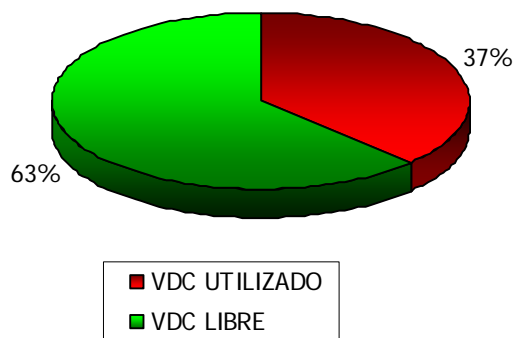


Figura 4.5 Estado del rectificador X-1952-TR voltaje DC

### RECTIFICADOR X-1952-TR AMPERAJE

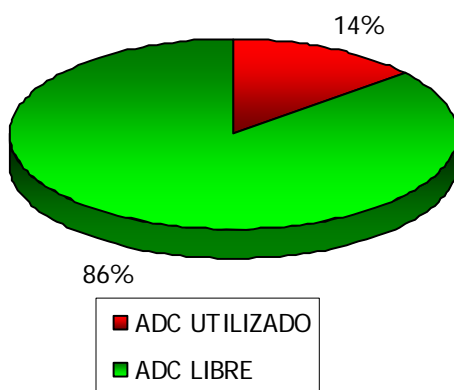


Figura 4.6 Estado del rectificador X-1952-TR amperaje DC

### RECTIFICADOR X-2950-TR VOLTAJE

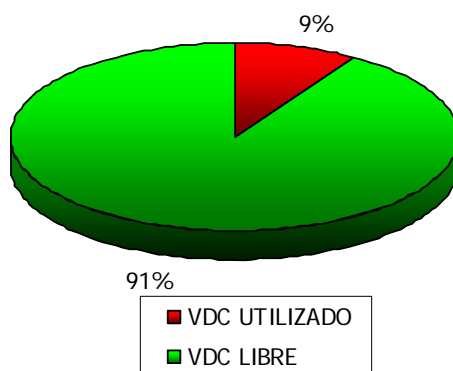
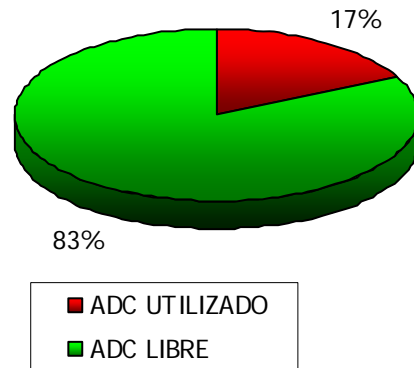


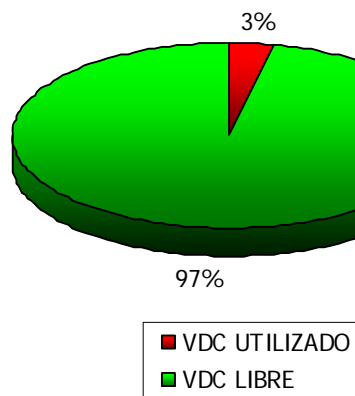
Figura 4.7 Estado del rectificador X-2950-TR voltaje DC

**RECTIFICADOR X-2950-TR  
AMPERAJE**



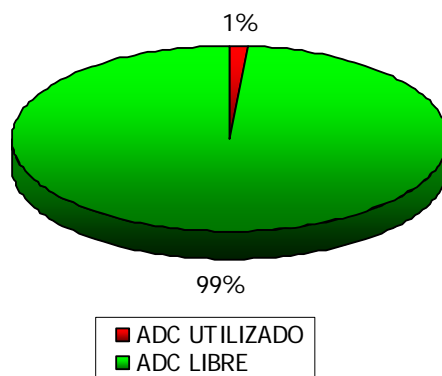
**Figura 4.8 Estado del rectificador X-2950-TR amperaje DC**

**RECTIFICADOR X-2953-TR  
VOLTAJE**



**Figura 4.9 Estado del rectificador X-2953-TR voltaje DC**

**RECTIFICADOR X-2953-TR  
AMPERAJE**



**Figura 4.10 Estado del rectificador X-2953-TR amperaje DC**

**Medición de resistividad y pH del suelo en diferentes tramos del Bloque 16.**

Las tuberías en su mayoría están enterradas y cruzan estratos de suelo de diferentes propiedades químicas, físicas y corrosivas, como: su acidez, alcalinidad, conductividad eléctrica.

A continuación se muestra un resumen de los tramos analizados. En las Tablas 3.1 y 3.2 de esta tesis se muestran los rangos de resistividad y pH para poder conocer la agresividad del medio en que las tuberías se encuentran enterradas:

**Tabla 4.3 Resistividad y pH del suelo en diferentes tramos del Bloque 16**

TRAMO	pH	Resistividad Suelo a 2m profundidad	Resistividad Suelo a 5m profundidad	Observaciones del suelo
NPF-TIVACUNO	4,7	5255,26	4042,60	Poco corrosivo, suelo acido
NPF-CAPIRON	6,0	2685,51	1769,64	Moderadamente corrosivo, suelo poco acido
CAPIRON-BOGI	4,9	2666,29	2301,86	Moderadamente corrosivo, suelo acido

GINTA B-SPF	4,0	5877,40	5116,08	Poco corrosivo, suelo muy acido
SPF- "Y" IRO	4,6	14368,65	12450,63	Muy poco corrosivo, suelo acido
"Y" IRO-IRO A	4,6	3552,51	2982,00	Moderadamente corrosivo, suelo acido
SPF-AMO A	4,3	5971,35	4850,62	Poco corrosivo, suelo muy acido
AMO A-NPF	4,7	3835,54	3084,52	Moderadamente corrosivo, suelo acido
NPF-POMPEYA	5,1	7402,79	6661,07	Poco corrosivo, moderadamente acido

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

## 4.2 RECOMENDACIONES

Luego de un estudio exhaustivo del estado actual de los sistemas de protección catódica existentes en el Bloque 16 se recomiendan las siguientes alternativas:

- 1) Mantener en lo posible los sistemas de protección catódica tal como están actualmente.
- 2) Instalación de ánodos flexibles paralelos a las tuberías.
- 3) Distribución de la carga de protección catódica instalando más rectificadores y camas anódicas convencionales en lugares estratégicos.

La evaluación de alternativas para la optimización del sistema de protección catódica del Bloque 16, se realizará en base a los siguientes parámetros generales de comparación:



### **Costo de materiales e instalación**

Este parámetro califica las alternativas con respecto al valor referente del costo total de materiales e instalación de los sistemas de protección catódica. A mayor costo, menor valor tendrá la alternativa.

### **Operabilidad**

Evalúa el grado de facilidad para responder a cada tipo de requerimiento del funcionamiento de los sistemas de protección catódica. A mayor facilidad de operación, mayor valor tendrá la alternativa.

### **Mantenimiento**

Aquí se evalúa el grado de dificultad de mantenimiento de cada alternativa. A mayor dificultad, la alternativa será de menor valor.

### **Protección ambiental**

Evalúa el grado de confiabilidad que tiene cada alternativa con el medio ambiente. A mayor cuidado con el medio ambiente, la alternativa será de mayor valor.

### **Confiabilidad**

Evalúa el grado de funcionalidad y seguridad que ofrece cada alternativa sobre las instalaciones a ser protegidas. A mayor grado de confiabilidad, mayor valor tendrá la alternativa.

**Tabla 4.4 Valoración de alternativas para la optimización del SPC Bloque 16**

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	PUNTAJE MÁXIMO	ALTERNATIVAS		
		1	2	3
Costo de materiales e instalación	1.5	1.5	0.3	0.8
Operabilidad	2.5	1.5	2.2	2.5
Mantenimiento	1.5	0.8	1.3	1.3
Protección ambiental	2	0.8	1	1.5
Confiabilidad	2.5	0.5	2.1	2.3
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>5.1</b>	<b>6.9</b>	<b>8.4</b>

De los resultados mostrados en la Tabla 4.4, la alternativa más conveniente es la tercera. Por lo tanto lo mas apropiado es optimizar los sistemas de protección catódica de las líneas de transporte de fluido enterradas del Bloque 16 mediante la adición de cuatro nuevos sistemas.

Estos nuevos sistemas se detallan a continuación:

### Nuevo SPC - Sistema Ginta A

Este sistema protegerá las líneas de color ■ y se instalará la cama anódica y rectificador en la locación de GINTA A.

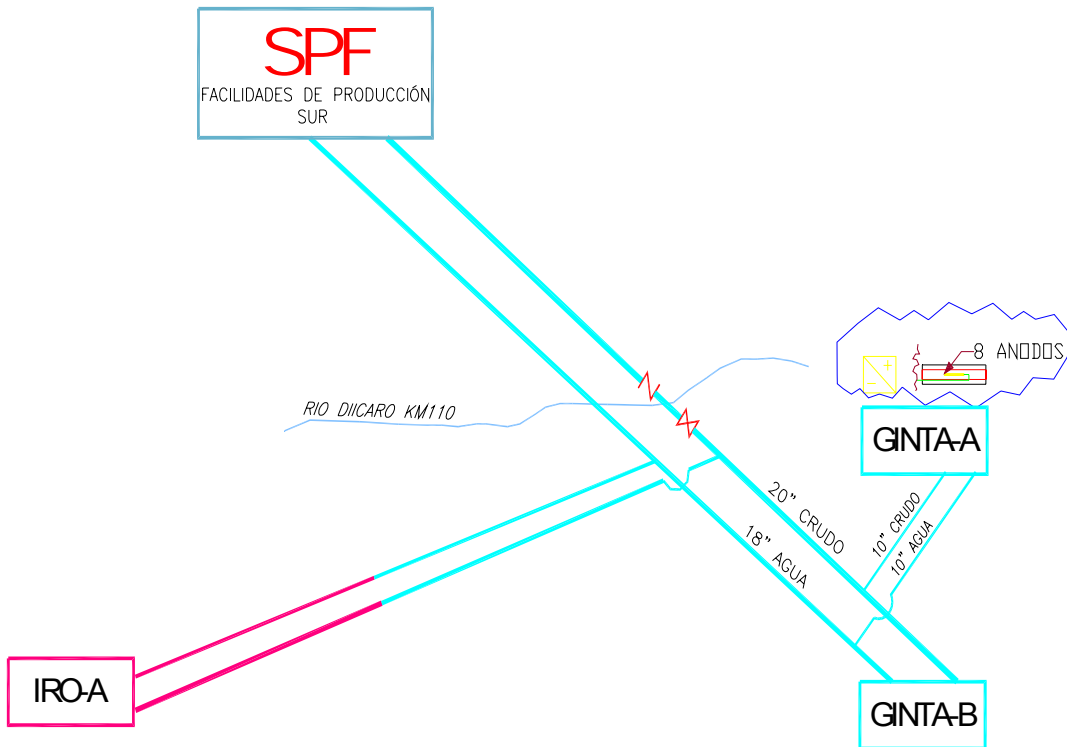
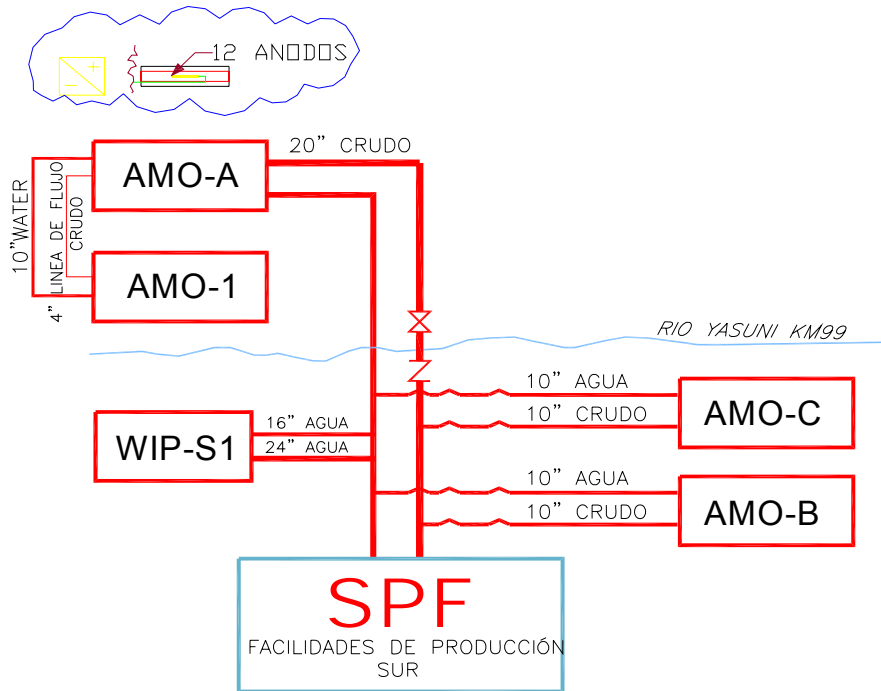


Figura 4.11 Líneas a proteger con el sistema Ginta A

### Nuevo SPC - Sistema Amo A

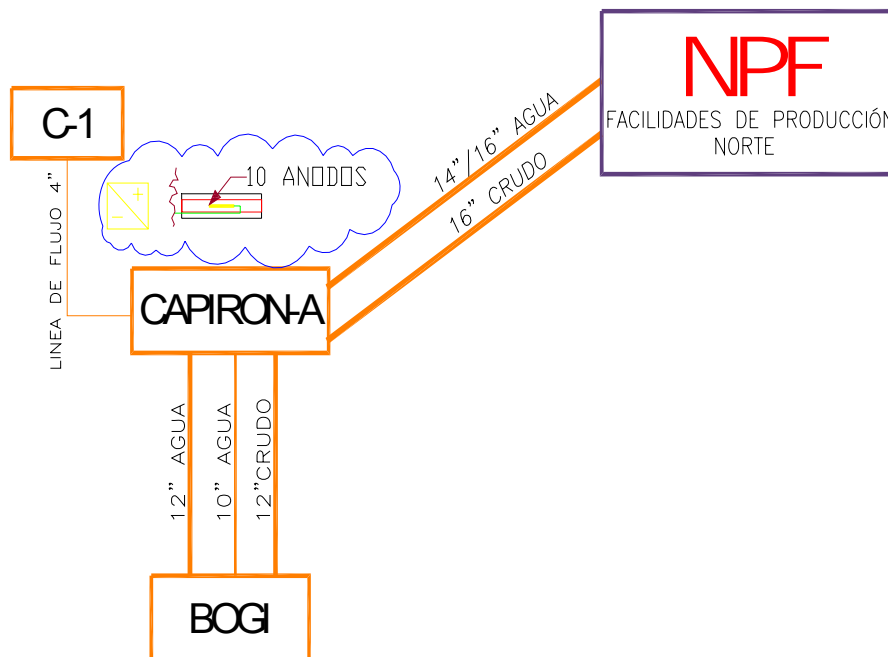
Este sistema protegerá las líneas de color ■ y se instalará la cama anódica y rectificador en la locación de AMO A.



**Figura 4.12 Líneas a proteger con el sistema Amo A**

### NUEVO SPC - SISTEMA CAPIRÓN

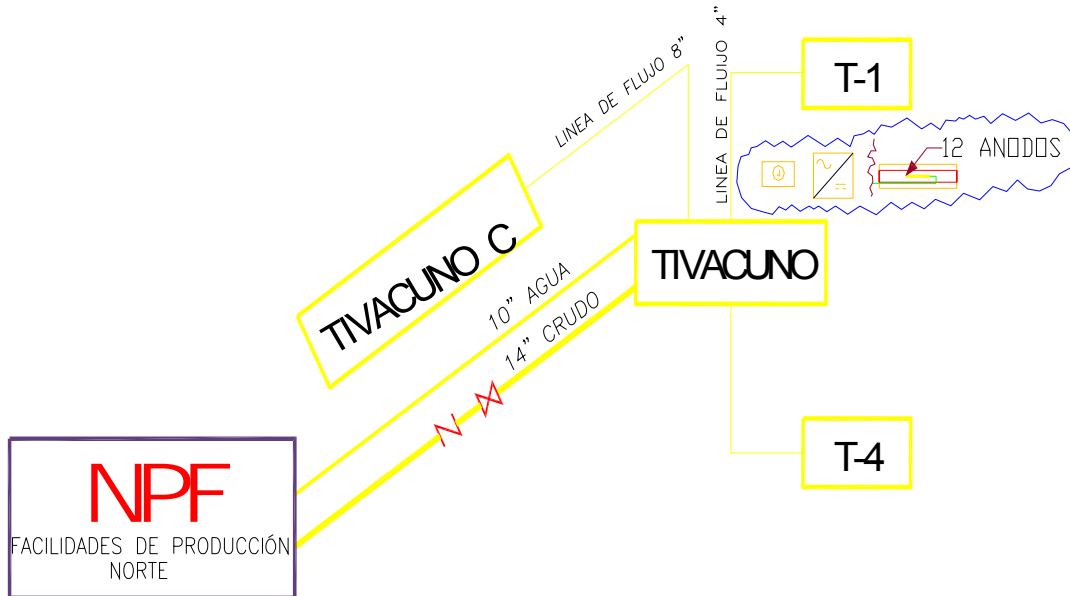
Este sistema protegerá las líneas de color — y se instalará la cama anódica y rectificador en la locación de CAPIRÓN-A.



**Figura 4.13 Líneas a proteger con el sistema Capirón**

## NUEVO SPC - SISTEMA TIVACUNO

Este sistema protegerá las líneas de color  y se instalará la cama anódica y rectificador en la locación de GINTA A.



**Figura 4.14 Líneas a proteger con el sistema Tivacuno**

Mediante este trabajo se facilitará la operación, mantenimiento y control de todos los sistemas de protección catódica de las líneas del Bloque 16, así como también se garantizará el cumplimiento con el medio ambiente y criterios de protección catódica, recomendados por la norma NACE RP0169-2002<sup>39</sup>, en las líneas enterradas.

<sup>39</sup> NACE RP0169-2002.- Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems

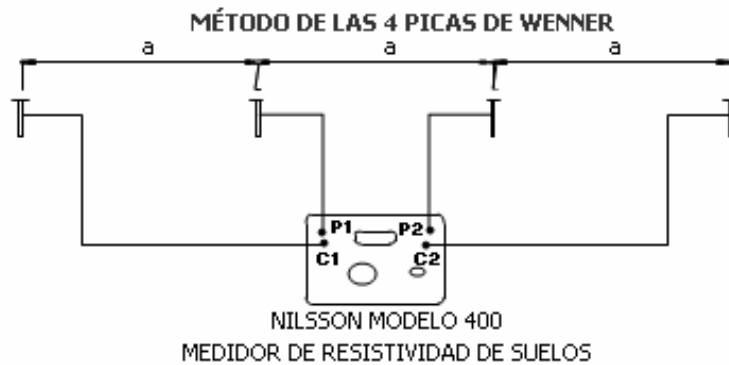
# CAPITULO 5

## DISEÑO DE LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE PC EN EL BLOQUE 16

### 5.1 MEMORIA DE CÁLCULO

#### ESTUDIO DE RESISTIVIDADES

#### MÉTODO UTILIZADO PARA LAS MEDICIONES



**Figura 5.1 Método de las 4 picas**

$$\rho = 6.28 \cdot a \cdot R$$

Donde:

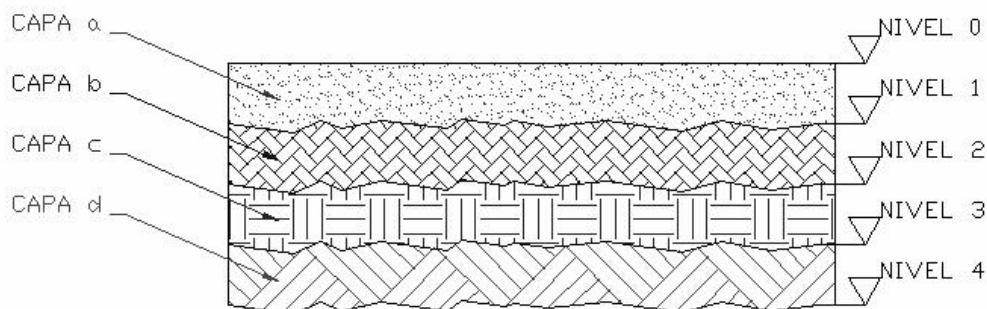
$\rho$  = Resistividad del Suelo, (Ohm-cm)

$a$  = Separación entre picas, (cm)

$R$  = Medidas de Resistencia, Nilsson-400 Dial, (Ohm)

"Nota: La distancia de separación ""a"" entre picas es equivalente a la profundidad a la que se obtiene el dato de resistividad."

#### RESISTIVIDAD POR CAPA



**Figura 5.2 Resistividad del suelo por capas**

## ESTUDIO DE RESISTIVIDADES AMO A

**Tabla 5.1 Estudio de resistividades Amo A**

pH SUPERFICIAL	Lecturas de R a profundidad a(m)				$\rho = 6.28*a*R$ , RESISTIVIDAD, (Ohm-cm)			
	1,00	2,00	3,00	4,00	1,00	2,00	3,00	4,00
5,2	1,2	0,62	0,47	0,37	753,6	778,72	885,48	929,44
CÁLCULO DE RESISTIVIDAD POR CAPA								
Espacio Picas (m)	Resistencia, R (Ohms)	Conductancia (1/R) Siemens	Capa	Conductancia por capa Siemens	Resistencia por capa (Ohm)	Resistividad por capa (Ohm-cm)		
1	1,20	0,83	a	0,83	1,20	753,60		
2	0,62	1,61	b	0,78	1,28	805,57		
3	0,47	2,13	c	0,51	1,94	1219,99		
4	0,37	2,70	d	0,58	1,74	1092,09		

Fuente: Datos tomados en campo (Bloque 16)

## ESTUDIO DE RESISTIVIDADES CAPIRÓN

**Tabla 5.2 Estudio de resistividades Capirón**

pH SUPERFICIAL	Lecturas de R a profundidad a(m)				$\rho = 6.28*a*R$ , RESISTIVIDAD, (Ohm-cm)			
	1,00	2,00	3,00	4,00	1,00	2,00	3,00	4,00
6	1,1	0,49	0,33	0,24	690,8	615,44	621,72	602,88
CÁLCULO DE RESISTIVIDAD POR CAPA								
Espacio Picas (m)	Resistencia, R (Ohms)	Conductancia (1/R) Siemens	Capa	Conductancia por capa Siemens	Resistencia por capa (Ohm)	Resistividad por capa (Ohm-cm)		
1	1,10	0,91	a	0,91	1,10	690,80		
2	0,49	2,04	b	1,13	0,88	554,90		
3	0,33	3,03	c	0,99	1,01	634,67		
4	0,24	4,17	d	1,14	0,88	552,64		

Fuente: Datos tomados en campo (Bloque 16)

## ESTUDIO DE RESISTIVIDADES TIVACUNO

**Tabla 5.3 Estudio de resistividades Tivacuno**

pH SUPER-FICIAL	Lecturas de R a profundidad a(m)				$\rho = 6.28*a*R$ , RESISTIVIDAD, (Ohm-cm)			
	1,00	2,00	3,00	4,00	1,00	2,00	3,00	4,00
5,2	6,8	3,6	2,4	1,4	4270,4	4521,6	4521,6	3516,8
CÁLCULO DE RESISTIVIDAD POR CAPA								
Espacio Picas (m)	Resistencia, R (Ohms)	Conductancia (1/R) Siemens	Capa	Conductancia por capa Siemens	Resistencia por capa (Ohm)	Resistividad por capa (Ohm-cm)		
1	6,80	0,15	a	0,15	6,80	4270,40		
2	3,60	0,28	b	0,13	7,65	4804,20		
3	2,40	0,42	c	0,14	7,20	4521,60		
4	1,40	0,71	d	0,30	3,36	2110,08		

Fuente: Datos tomados en campo (Bloque 16)

## ESTUDIO DE RESISTIVIDADES GINTA A

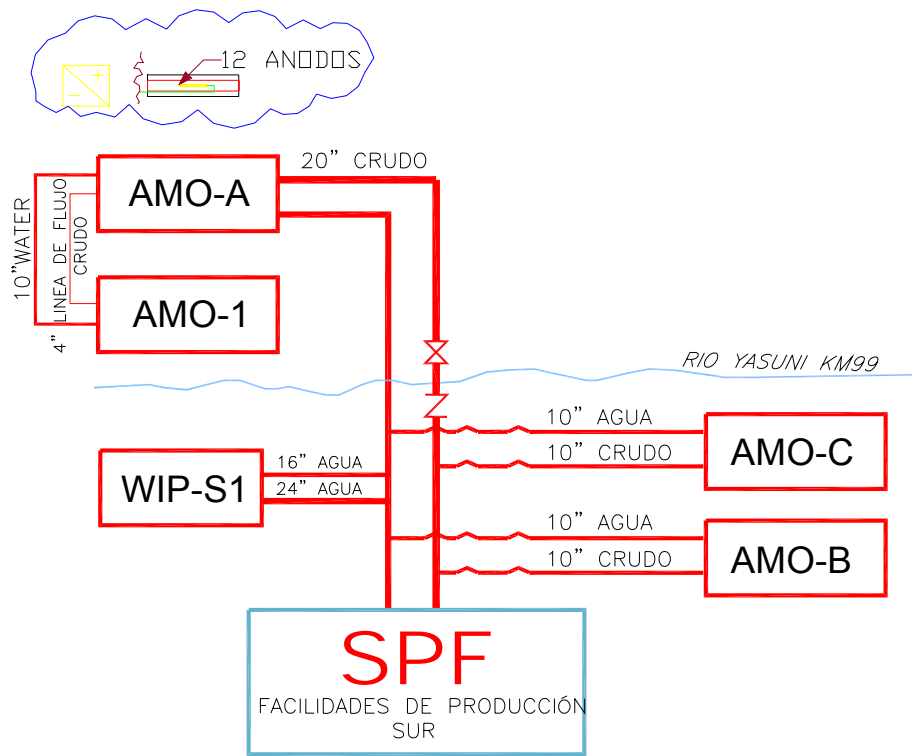
**Tabla 5.4 Estudio de resistividades Ginta A**

pH SUPER-FICIAL	Lecturas de R a profundidad a(m)				$\rho = 6.28*a*R$ , RESISTIVIDAD, (Ohm-cm)			
	1,00	2,00	3,00	4,00	1,00	2,00	3,00	4,00
5,5	7,7	2,8	1,3	0,71	4835,6	3516,8	2449,2	1783,52
CÁLCULO DE RESISTIVIDAD POR CAPA								
Espacio Picas (m)	Resistencia, R (Ohms)	Conductancia (1/R) Siemens	Capa	Conductancia por capa Siemens	Resistencia por capa (Ohm)	Resistividad por capa (Ohm-cm)		
1	7,70	0,13	a	0,13	7,70	4835,60		
2	2,80	0,36	b	0,23	4,40	2763,20		
3	1,30	0,77	c	0,41	2,43	1523,95		
4	0,71	1,41	d	0,64	1,56	982,45		

Fuente: Datos tomados en campo (Bloque 16)

## CÁLCULO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA

### SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA LÍNEAS AMO A



**Figura 5.3 Líneas a proteger con el sistema Amo A**

Condiciones generales de diseño

RESISTIVIDAD DEL SUELO A LO LARGO DEL DDV<sup>40</sup> (Información de Repsol-YPF) = 5.971,35 (Ohm-cm)

Área a proteger:

Área total= 50.902,54 (m<sup>2</sup>)

Corriente requerida de protección catódica:

$I_p = S \cdot d_i (1 - E_c) = 50,90$  (A)

Cálculo de la cantidad de ánodos:

$NA = I_p / I_a = 13$  (un)

Peso del relleno (Backfill LORESCO SW) de baja resistividad para la cama anódica:

Cantidad de sacos de 50 lb.: 55 (Sacos)

Resistencia ánodos / Electrolitos en posición vertical (Ra-e), Ohm

<sup>40</sup> DDV.- Derecho de vía



$$R_{a-e} = 0,51 \text{ (Ohm)}$$

Resistencia ánodos / Electrolito en posición horizontal ( $R_{a-e}$ ), Ohm

$$R_{a-e} = 0,38 \text{ (Ohm)}$$

Voltaje Equipo Rectificador

$$V_{\text{rectificador}} = 50 \text{ Voltios}$$

Amperaje del equipo Rectificador

$$A_{\text{rectificador}} = 60 \text{ Amperios}$$

Calculo de densidad de corriente

$$i = 20,00 \text{ (mA/m}^2\text{)}^{41}$$

### SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA LÍNEAS CAPIRON - A

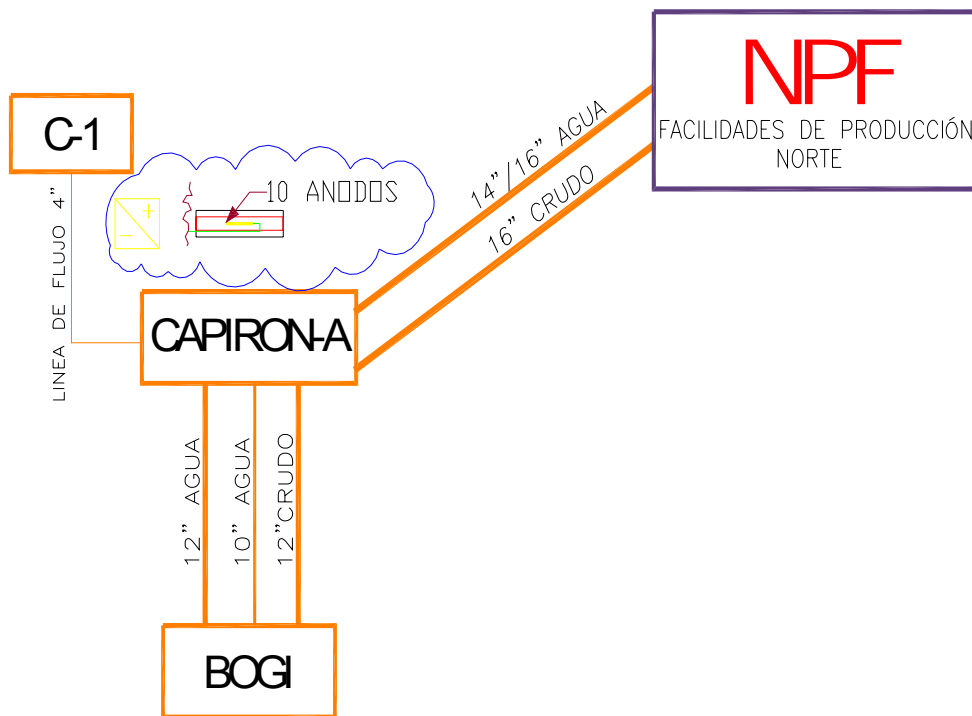


Figura 5.4 Líneas a proteger con el sistema Capiron A

Condiciones generales de diseño

RESISTIVIDAD DEL SUELO A LO LARGO DEL DDV<sup>42</sup> (Información de Repsol-YPF) = 2.675,92 (Ohm-cm)

<sup>41</sup> Según RP-0169-2000

<sup>42</sup> DDV.- Derecho de vía

Área a proteger:

Área total= 42.445,15 (m<sup>2</sup>)

Corriente requerida de protección catódica:

$I_p = S \cdot d_i (1 - E_c) = 42,45 \text{ (A)}$

Cálculo de la cantidad de ánodos:

$NA = I_p / I_a = 11 \text{ (un)}$

Peso del relleno (Backfill LORESCO SW) de baja resistividad para la cama anódica:

Cantidad de sacos de 50 lb.: 46 (Sacos)

Resistencia ánodos / Electrolitos en posición vertical (R<sub>a-e</sub>), Ohm

$R_{a-e} = 0,30 \text{ (Ohm)}$

Resistencia ánodos / Electrolito en posición horizontal (R<sub>a-e</sub>), Ohm

$R_{a-e} = 0,22 \text{ (Ohm)}$

Voltaje Equipo Rectificador

$V_{\text{rectificador}} = 30 \text{ Voltios}$

Amperaje del equipo Rectificador

$A_{\text{rectificador}} = 50 \text{ Amperios}$

Calculo de densidad de corriente  $i = 20,00 \text{ (mA/m}^2\text{)}$

## SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA LÍNEAS TIVACUNO

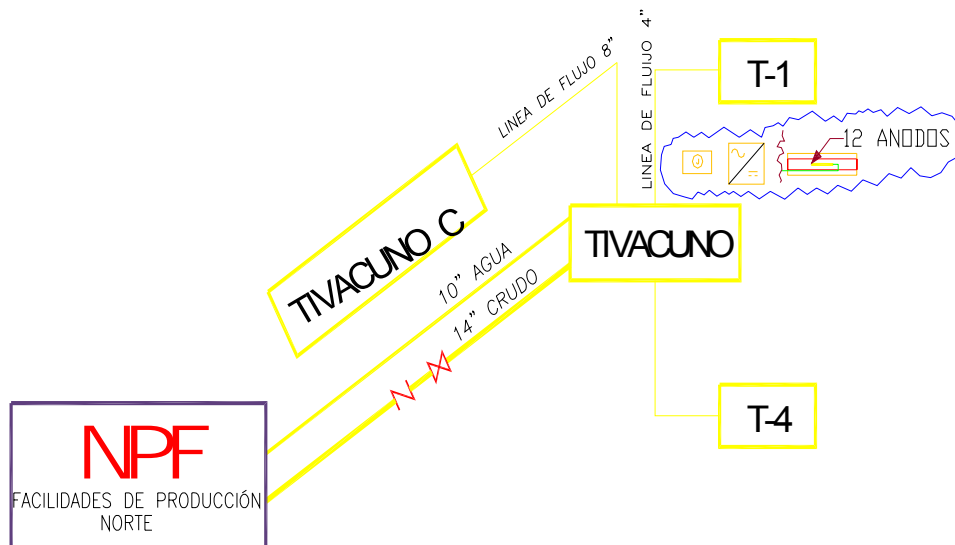


Figura 5.5 Líneas a proteger con el sistema Tivacuno

Condiciones generales de diseño

RESISTIVIDAD DEL SUELO A LO LARGO DEL DDV<sup>43</sup> (Información de Repsol-YPF) = 5.255,26 (Ohm-cm)

Área a proteger:

Área total= 30.615,70 (m<sup>2</sup>)

Corriente requerida de protección catódica:

$I_p = S \cdot d_i (1 - E_c) = 30,62$  (A)

Cálculo de la cantidad de ánodos:

$NA = I_p / I_a = 10$  (un)

Peso del relleno (Backfill LORESCO SW) de baja resistividad para la cama anódica:

Cantidad de sacos de 50 lb.: 41 (Sacos)

Resistencia ánodos / Electrolitos en posición vertical (Ra-e), Ohm

$R_{a-e} = 2,32$  (Ohm)

Resistencia ánodos / Electrolito en posición horizontal (Ra-e), Ohm

$R_{a-e} = 1,71$  (Ohm)

Voltaje Equipo Rectificador

$V_{\text{rectificador}} = 70$  Voltios

Amperaje del equipo Rectificador

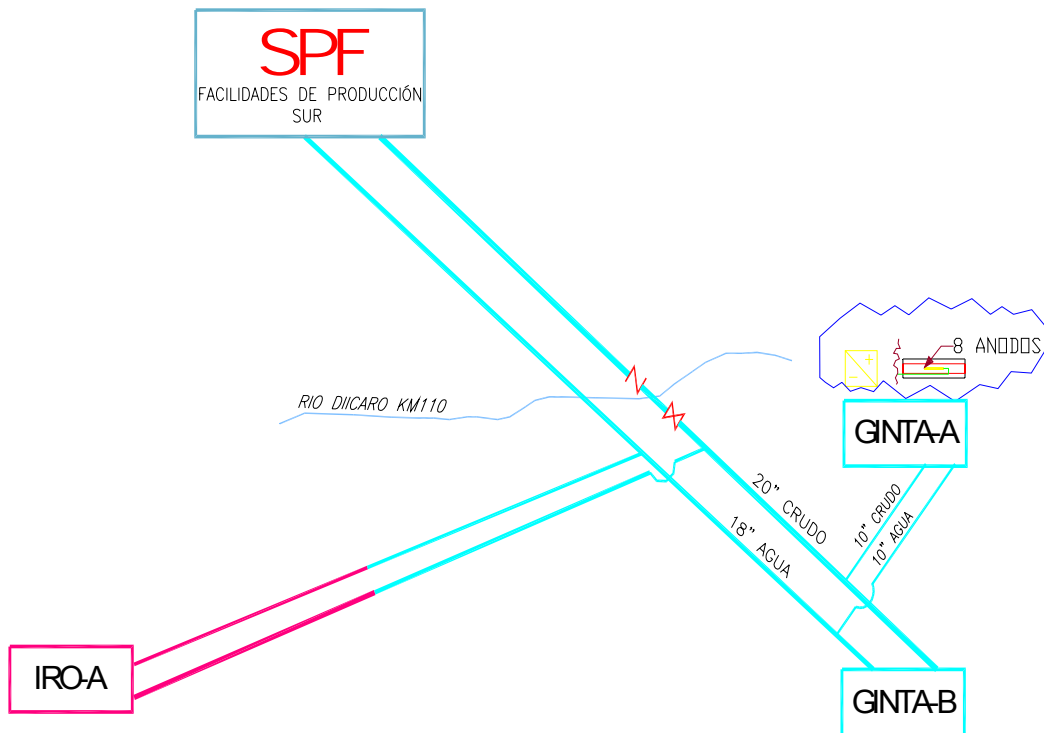
$A_{\text{rectificador}} = 40$  Amperios

Calculo de densidad de corriente  $i = 20,00$  (mA/m<sup>2</sup>)

---

<sup>43</sup> DDV.- Derecho de vía

## SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA LÍNEAS GINTA A



**Figura 5.6 Líneas a proteger con el sistema Amo A**

Condiciones generales de diseño

RESISTIVIDAD DEL SUELO A LO LARGO DEL DDV<sup>44</sup> (Información de Repsol-YPF) = 5.877,40 (Ohm-cm)

Área a proteger:

Área total= 46.922,47 (m<sup>2</sup>)

Corriente requerida de protección catódica:

$I_p = S \cdot d_i (1 - E_c) = 46,92$  (A)

Cálculo de la cantidad de ánodos:

$NA = I_p / I_a = 12$  (un)

Peso del relleno (Backfill LORESCO SW) de baja resistividad para la cama anódica:

Cantidad de sacos de 50 lb.: 50 (Sacos)

Resistencia ánodos / Electrolitos en posición vertical ( $R_{a-e}$ ), Ohm

$R_{a-e} = 0,68$  (Ohm)

Resistencia ánodos / Electrolito en posición horizontal ( $R_{a-e}$ ), Ohm

<sup>44</sup> DDV.- Derecho de vía

$$R_{a-e} = 0,50 \text{ (Ohm)}$$

Voltaje Equipo Rectificador

$$V_{\text{rectificador}} = 50 \text{ Voltios}$$

Amperaje del equipo Rectificador

$$A_{\text{rectificador}} = 60 \text{ Amperios}$$

Calculo de densidad de corriente

$$i = 20,00 \text{ (mA/m}^2\text{)}$$

### CORRIENTE MÁXIMA QUE EL CUERPO HUMANO PUEDE SOPORTAR

	1 seg.	2 seg.	3 seg.	4 seg.	5 seg.
$IB = 0.116/(RAIZ(ts))$ , para un peso corporal de 50 (Kg.).	0,1160	0,0820	0,0670	0,0580	0,0519
$IB = 0.157/(RAIZ(ts))$ , para un peso corporal de 70 (Kg.).	0,1570	0,1110	0,0906	0,0785	0,0702

Donde:

IB = Corriente Máxima que el cuerpo humano puede soportar, (A)

ts = tiempo máximo de exposición, (segundos)

### VOLTAJE DE CONTACTO EN PASOS

	1 seg.	2 seg.	3 seg.	4 seg.	5 seg.
$V_{\text{PASO } 50} = 0.116*(1000+6*\rho)/(RAIZ(ts))$ , para un peso corporal de 50 (Kg.).	812,00	608,15	517,84	464,00	427,26
$V_{\text{PASO } 70} = 0.157*(1000+6*\rho)/(RAIZ(ts))$ , para un peso corporal de 70 (Kg.).	1.099,00	608,15	517,84	464,00	427,26

Donde:

$V_{\text{PASO}}$  = Voltaje Máximo que el cuerpo humano puede soportar, (V)

ts = tiempo máximo de exposición, (segundos)

$\rho$  = Resistividad del suelo a nivel superficial, (Ohm-cm)

### VOLTAJE DE CONTACTO CON LA MANO

	1 seg.	2 seg.	3 seg.	4 seg.	5 seg.
$V_{\text{CONTACTO } 50} = 0.116*(1000+1.5*\rho)/(RAIZ(ts))$ , para un peso corporal de 50 (Kg.).	290,00	205,06	167,43	145,00	129,69
$V_{\text{CONTACTO } 70} = 0.157*(1000+1.5*\rho)/(RAIZ(ts))$ , para un peso corporal de 70 (Kg.).	392,50	277,54	226,61	196,25	175,53

Donde:

$V_{\text{CONTACTO}}$  = Voltaje Máximo que el cuerpo humano puede soportar, (V)

$t_s$  = tiempo máximo de exposición, (segundos)

$\rho$  = Resistividad del suelo a nivel superficial, (Ohm-cm)=1.000

Como se puede ver de los cálculos, el rango de tolerancia del cuerpo humano es bajo.

La forma de disminuir el riesgo consiste en colocar una capa de material de alta resistencia inmediatamente en la superficie de tránsito de las personas, como por ejemplo ripio.

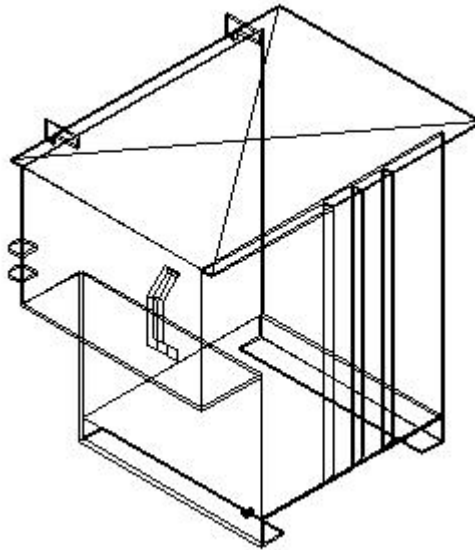
## 5.2 LISTA DE MATERIALES Y ESPECIFICACIONES

### SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA LÍNEAS AMO A

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad
1	Rectificador: Entrada AC 480 V, una fase, 60 Hz, Salida: 60 A / 50 V DC. Diodos de Silicón. Enfriado por Aceite, con amperímetro, voltímetro, protección contra alto voltaje y descargas eléctricas atmosféricas. Todos los accesorios para trabajo en la Amazonía (región oriente ecuatoriano). Galvanizado por inmersión en caliente. NEMA 3R.	un	1
2	Ánodo de barra sólida de titanio revestido por una mezcla de óxidos de metales (Ti-MMO), pre empacados con relleno de coque de petróleo calcinado de baja resistividad, dimensiones de la barra desnuda 0.25 in diámetro x 4 ft de longitud. Dimensiones de contenedor metálico 3"x60". Incluye cable del ánodo tipo HMWPE AWG 8 de 3 metros de longitud.	un	13
4	CABLE HMWPE AWG 6 para protección catódica.	m	360
5	Cinta de peligro con "Caution Cathodic Protection Cable Buried Below", 305 m x 3 pulgadas ancho, color amarillo de seguridad.	rollo	2
6	Juntas de empalme 3M 90-B1 Kit	un	14
7	Cinta 3M, caucho autofundente, # 23	un	3
8	Cinta 3M tape, poly-vinyl # +33	un	3
9	Cinta de protección para tuberías (alta temperatura)	rollo	0,20
10	Polyguard CA-9 mastic	lt	0,50
11	Soldadura Cadweld CA15	cargas	10
12	Molde para soldadura Cadweld, CAHAA-1G	un	1
13	Molde para soldadura Cadweld, CAHAA-1H	un	1
14	Chisperos	un	2
15	Relleno Loresco tipo SW para cama de ánodos, 50	sacos	55

	libras por saco		
16	Caja de conexiones con 2 reóstatos de 2 Ohms y 300 watts, NEMA 3R, 550 x 450 x 300 mm, con una placa de baquelita de 500 x 400 x 4.8 mm, amperímetro y selector, cada circuito con un puente de 50 mV-50A, amperímetro de 0-60 A con selector de corriente, NEMA 3R. Galvanizado por inmersión en caliente.	un	2
17	Postes de prueba	un	2
18	Perno de cobre tipo grillete 4-8 AWG	un	14

# HOJA DE DATOS RECTIFICADOR AMO-A

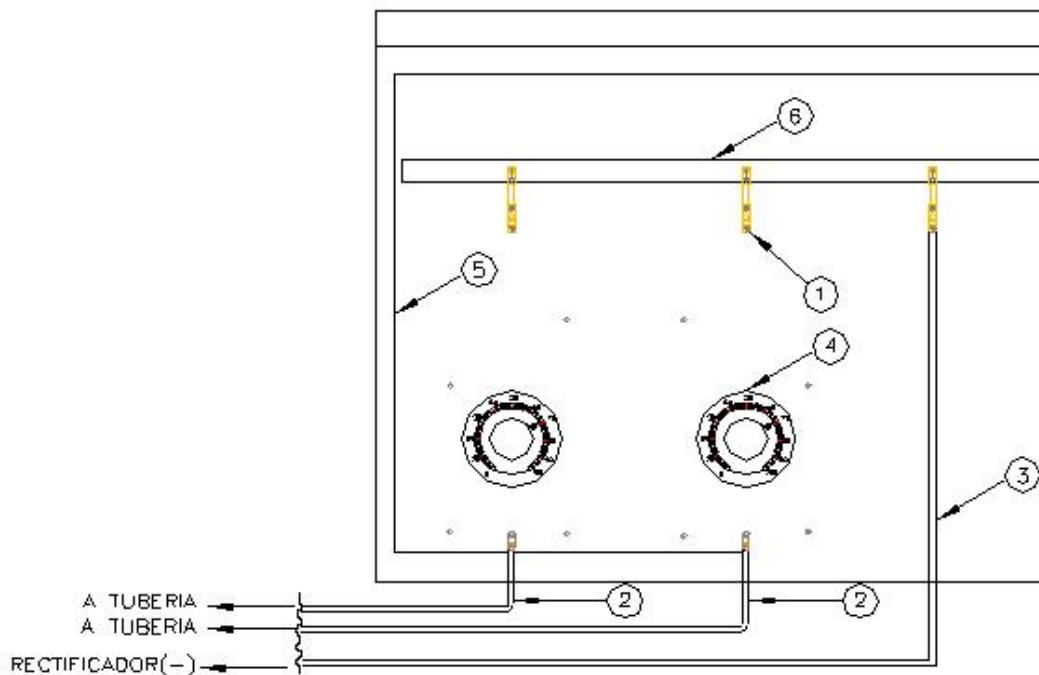


GABINETE	x	Estándar, enfriado por Aire (A)	VOLTAJE ENTRADA A.C.	120 (A)	
		Estándar, Inmerso en Aceite (O)		208 (B)	
		Serie Oscilante (S)		240 (C )	
		Serie Utilitaria (U)		480 (D)	
		Estaciones de Gasolina (G)		120/240 (E)	
		ES (E)		x 240/480 (F)	
		Prolínea (P)		120/480 (G)	
TIPO	x	Estándar (Taps Manuales) S	ENFRIADO	OTRO (ESPECIFICAR) H	
		Corriente constante (Estilo Reactor) C		Enfriado por aire. Nema 3R (A)	
		Corriente constante (Solid State) D	x	Inmerso en aceite. Nema 4X (O)	
		Voltaje constante (Solid State) E		Inmerso en aceite, A prueba de explosión. Nema 7R (X)	
		Potencial constante (Solid State) P	STACK TYPE	Selenio (E)	
		Potencial constante Libre de IR (Solid State) I		x	Silicón (I)
		Módulos Múltiples (Solid State) M			Selenio, Tap central (C )
		Control variable V			Silicón, Tap central (S)



ESPECIFICACIONES	Voltaje de Salida DC:	50	V	Temp.Trabajo:	50	°C	
	Amperios de salida DC:	60	A				
	FASES	x	Monofásico (S)	Gabinete:			
			Trifásico (T)	Gabinete Galvanizado por Inmersión en Caliente , ASTM A 123			
	TRANSFORMADOR:			INSTRUMENTOS:			
	Regulador Grueso:	3		Voltímetro:	Análogo , 2-1/2" Rango ,0-125 V, 2% Exactitud		
	Regulador Fino:	6		Amperímetro:	Análogo , 2-1/2" Rango ,0-35 A, 2% Exactitud		
	Capacidad de Aceite:	213	gl	Tipo:	Dieléctrico sin inhibidor de corrosión		
	Entrada doble de cables para alto voltaje			AC and DC arrestadores			

### HOJA DE DATOS CAJA DE CONEXIONES AMO-A



1. Derivaciones de la caja de conexiones
2. Cable HMWPE AWG 6 (-)
3. Cable HMWPE AWG 6 (-)
4. Reóstato
5. Placa de Bakelita
6. Barra de cobre

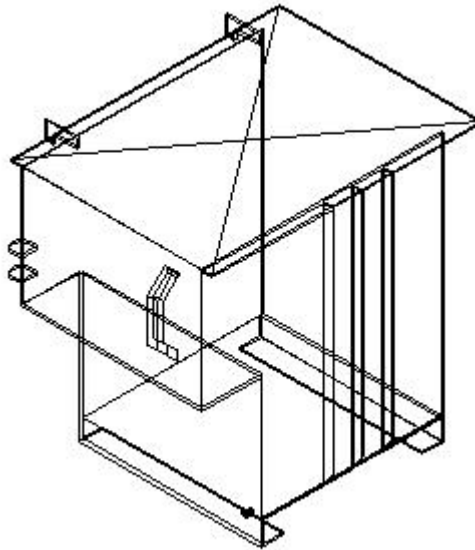
GABINETE	x	Enfriado por aire. Nema 3R		ESPECIFICACIONES	2	Reóstatos	2 ohms	300 watts
		Acero Inoxidable. Nema 4X			2	Puente	25 A/50 mV	SW
		A prueba de explosión. Nema 7R			1	Amperímetro Analógico	1 - 30 A	2% de Exactitud
DIMENSIONES	Largo	650	mm		1	Selector de Circuito	3 posiciones	
	Ancho	450	mm		1	Placa de Baquelita	600x400x4.8	Mm
	Profundidad	300	mm	1	Barra de Cobre	550x20x3.2	Mm	
	Espesor de plancha	1,6	mm	1	Conexión a puesta tierra, todos los pernos de Acero Inoxidable			

## LISTA DE MATERIALES SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA LÍNEAS CAPIRÓN - A

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad
1	Rectificador: Entrada AC 480 V, una fase, 60 Hz, Salida: 60 A / 50 V DC. Diodos de Silicón. Enfriado por Aceite, con amperímetro, voltímetro, protección contra alto voltaje y descargas eléctricas atmosféricas. Todos los accesorios para trabajo en la Amazonía (región oriente ecuatoriano). Galvanizado por inmersión en caliente. NEMA 3R.	un	1
2	Ánodo de barra sólida de titanio revestido por una mezcla de óxidos de metales (Ti-MMO), pre empacados con relleno de coque de petróleo calcinado de baja resistividad, dimensiones de la barra desnuda 0.25 in diámetro x 4 ft de longitud. Dimensiones de contenedor metálico 3"x60". Incluye cable del ánodo tipo HMWPE AWG 8 de 3 metros de longitud.	un	11
4	CABLE HMWPE AWG 6 para protección catódica.	m	320
5	Cinta de peligro con "Caution Cathodic Protection Cable Buried Below", 305 m x 3 pulgadas ancho, color amarillo de seguridad.	rollo	1
6	Juntas de empalme 3M 90-B1 Kit	un	12
7	Cinta 3M, caucho autofundente, # 23	un	3
8	Cinta 3M tape, poly-vinyl # +33	un	3
9	Cinta de protección para tuberías (alta temperatura)	rollo	0,20

10	Polyguard CA-9 mastic	lt	0,50
11	Soldadura Cadweld CA15	cargas	10
12	Molde para soldadura Cadweld, CAHAA-1G	un	1
13	Molde para soldadura Cadweld, CAHAA-1H	un	1
14	Chisperos	un	2
15	Relleno Loresco tipo SW para cama de ánodos, 50 libras por saco	sacos	46
16	Caja de conexiones con 2 reóstatos de 2 Ohms y 300 watts, NEMA 3R, 550 x 450 x 300 mm, con una placa de baquelita de 500 x 400 x 4.8 mm, amperímetro y selector, cada circuito con un puente de 50 mV-50A, amperímetro de 0-60 A con selector de corriente, NEMA 3R. Galvanizado por inmersión en caliente.	un	1
17	Caja de conexiones con 3 reóstatos de 2 Ohms y 300 watts, NEMA 3R, 550 x 450 x 300 mm, con una placa de baquelita de 500 x 400 x 4.8 mm, amperímetro y selector, cada circuito con un puente de 50 mV-50A, amperímetro de 0-60 A con selector de corriente, NEMA 3R. Galvanizado por inmersión en caliente.	un	1
18	Postes de prueba	un	1
19	Perno de cobre tipo grillete 4-8 AWG	un	2

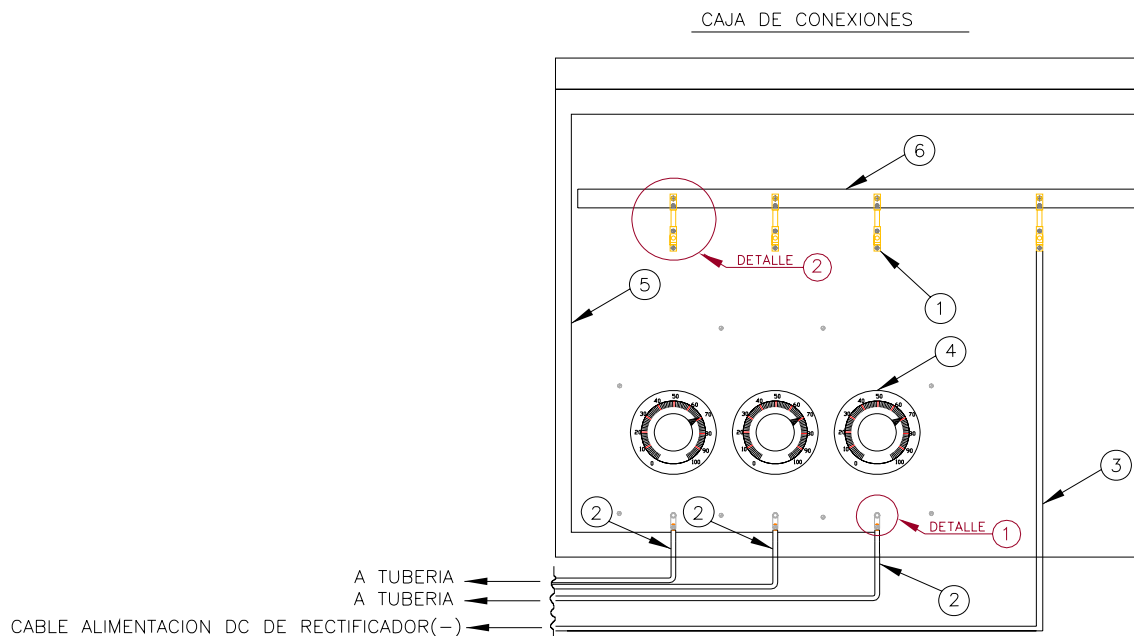
# HOJA DE DATOS RECTIFICADOR CAPIRÓN - A



GABINETE	x	Estándar, enfriado por Aire (A)	VOLTAJE ENTRADA A.C.	120 (A)	
		Estándar, Inmerso en Aceite (O)		208 (B)	
		Serie Oscilante (S)		240 (C )	
		Serie Utilitaria (U)		480 (D)	
		Estaciones de Gasolina (G)		120/240 (E)	
		ES (E)		x 240/480 (F)	
		Prolínea (P)		120/480 (G)	
TIPO	x	Estándar (Taps Manuales) S	ENFRIADO	OTRO (ESPECIFICAR) H	
		Corriente constante (Estilo Reactor) C		Enfriado por aire. Nema 3R (A)	
		Corriente constante (Solid State) D	x	Inmerso en aceite. Nema 4X (O)	
		Voltaje constante (Solid State) E		Inmerso en aceite, A prueba de explosión. Nema 7R (X)	
		Potencial constante (Solid State) P	STACK TYPE	Selenio (E)	
		Potencial constante Libre de IR (Solid State) I		x	Silicón (I)
		Módulos Múltiples (Solid State) M			Selenio, Tap central (C )
		Control variable V			Silicón, Tap central (S)

ESPECIFICACIONES	Voltaje de Salida DC:	30	V	Temp.Trabajo:	50	°C	
	Amperios de salida DC:	50	A				
	FASES	x	Monofásico (S)	Gabinete:			
			Trifásico (T)	Gabinete Galvanizado por Inmersión en Caliente , ASTM A 123			
	TRANSFORMADOR:			INSTRUMENTOS:			
	Regulador Grueso:	3		Voltímetro:	Análogo , 2-1/2" Rango ,0-125 V, 2% Exactitud		
	Regulador Fino:	6		Amperímetro:	Análogo , 2-1/2" Rango ,0-35 A, 2% Exactitud		
	Capacidad de Aceite:	213	gl	Tipo:	Dieléctrico sin inhibidor de corrosión		
	Entrada doble de cables para alto voltaje			AC and DC arrestadores			

## HOJA DE DATOS CAJA DE CONEXIONES CAPIRÓN-A - BOGI



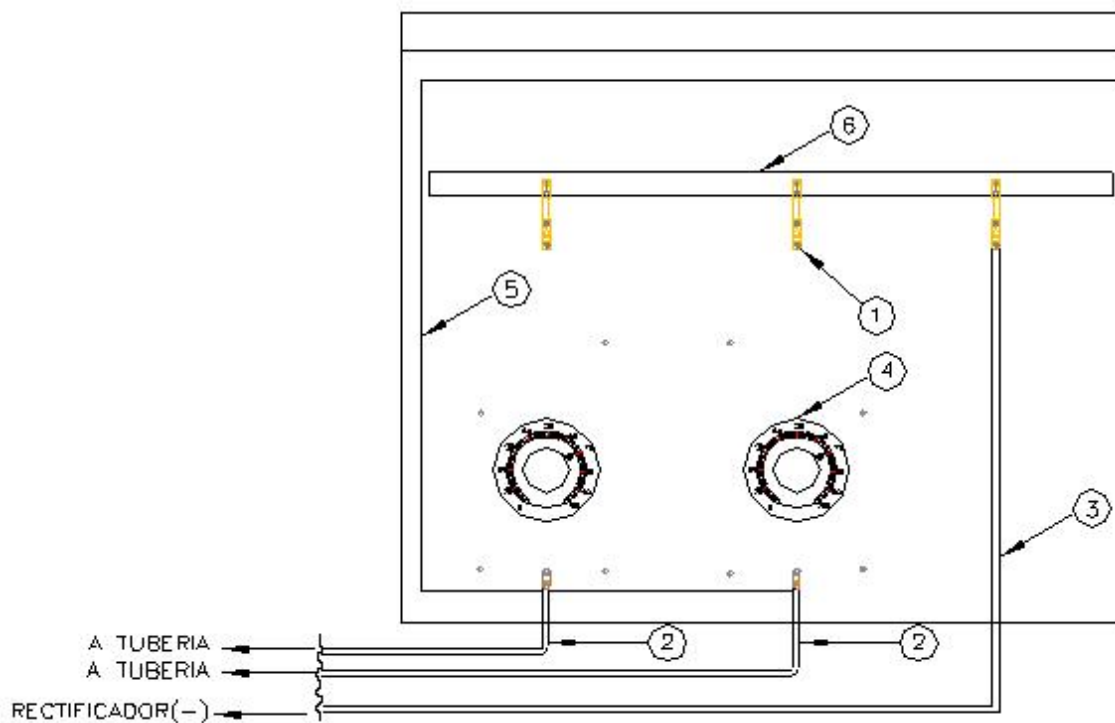
1. Derivaciones de la caja de conexiones
2. Cable HMWPE AWG 6 (-)
3. Cable HMWPE AWG 6 (-)
4. Reóstato

5. Placa de Bakelita

6. Barra de cobre

GABINETE	x	Enfriado por aire. Nema 3R		ESPECIFICACIONES	3	Reóstatos	2 ohms	300 watts
		Acero Inoxidable. Nema 4X			2	Puente	25 A/50 mV	SW
		A prueba de explosión. Nema 7R			1	Amperímetro Analógico	1 - 30 A	2% de Exactitud
DIMENSIONES	Largo	650	mm		1	Selector de Circuito	3 posiciones	
	Ancho	450	mm		1	Placa de Baquelita	600x400x4.8	mm
	Profundidad	300	mm		1	Barra de Cobre	550x20x3.2	mm
	Espesor de plancha	1,6	mm		1	Conexión a puesta tierra, todos los pernos de Acero Inoxidable		

### HOJA DE DATOS CAJA DE CONEXIONES CAPIRÓN-A - NPF



1. Derivaciones de la caja de conexiones
2. Cable HMWPE AWG 6 (-)
3. Cable HMWPE AWG 6 (-)
4. Reóstato

5. Placa de Bakelita

6. Barra de cobre

GABINETE	x	Enfriado por aire. Nema 3R			ESPECIFICACIONES	2	Reóstatos	2 ohms	300 watts
		Acero Inoxidable. Nema 4X				2	Puente	25 A/50 mV	SW
		A prueba de explosión. Nema 7R				1	Amperímetro Analógico	1 - 30 A	2% de Exactitud
DIMENSIONES	Largo	650	mm	1		Selector de Circuito	3 posiciones		
	Ancho	450	mm	1		Placa de Baquelita	600x400x4.8	mm	
	Profundidad	300	mm	1		Barra de Cobre	550x20x3.2	mm	
	Espesor de plancha	1,6	mm	1		Conexión a puesta tierra, todos los pernos de Acero Inoxidable			

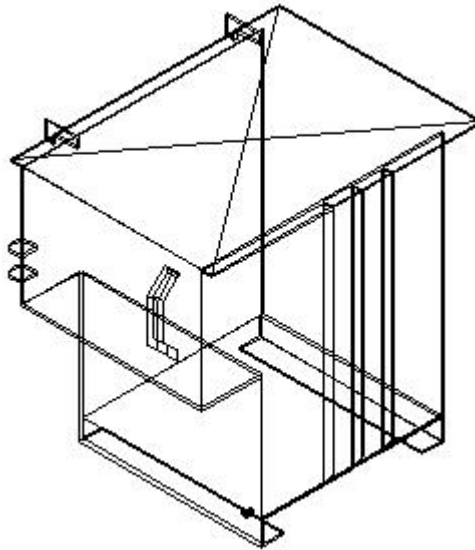
### LISTA DE MATERIALES SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA LÍNEAS TIVACUNO

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad
1	Rectificador: Entrada AC 480 V, una fase, 60 Hz, Salida: 40 A / 70 V DC. Diodos de Silicón. Enfriado por Aceite, con amperímetro, voltímetro, protección contra alto voltaje y descargas eléctricas atmosféricas. Todos los accesorios para trabajo en la Amazonía ( región oriente ecuatoriano). Galvanizado por inmersión en caliente. NEMA 3R.	un	1
2	Ánodo de barra sólida de titanio revestido por una mezcla de óxidos de metales (Ti-MMO), pre empacados con relleno de coque de petróleo calcinado de baja resistividad, dimensiones de la barra desnuda 0.25 in diámetro x 4 ft de longitud. Dimensiones de contenedor metálico 3"x60". Incluye cable del ánodo tipo HMWPE AWG 8 de 3 metros de longitud.	un	10
4	CABLE HMWPE AWG 6 para protección catódica.	m	280
5	Cinta de peligro con "Caution Cathodic Protection Cable Buried Below", 305 m x 3 pulgadas ancho, color amarillo de seguridad.	rollo	1
6	Juntas de empalme 3M 90-B1 Kit	un	11
7	Cinta 3M, caucho autofundente, # 23	un	3
8	Cinta 3M tape, poly-vinyl # +33	un	3
9	Cinta de protección para tuberías (alta temperatura)	rollo	0,20
10	Polyguard CA-9 mastic	lt	0,25

11	Soldadura Cadweld CA15	cargas	8
12	Molde para soldadura Cadweld, CAHAA-1G	un	
13	Molde para soldadura Cadweld, CAHAA-1H	un	
14	Chisperos	un	
15	Relleno Loresco tipo SW para cama de ánodos, 50 libras por saco	sacos	41
16	Caja de conexiones con 3 reóstatos de 2 Ohms y 300 watts, NEMA 3R, 550 x 450 x 300 mm, con una placa de baquelita de 500 x 400 x 4.8 mm, amperímetro y selector, cada circuito con un puente de 50 mV-50A, amperímetro de 0-60 A con selector de corriente, NEMA 3R. Galvanizado por inmersión en caliente.	un	1
17	Postes de prueba	un	1
18	Perno de cobre tipo grillete 4-8 AWG	un	1



# HOJA DE DATOS RECTIFICADOR TIVACUNO

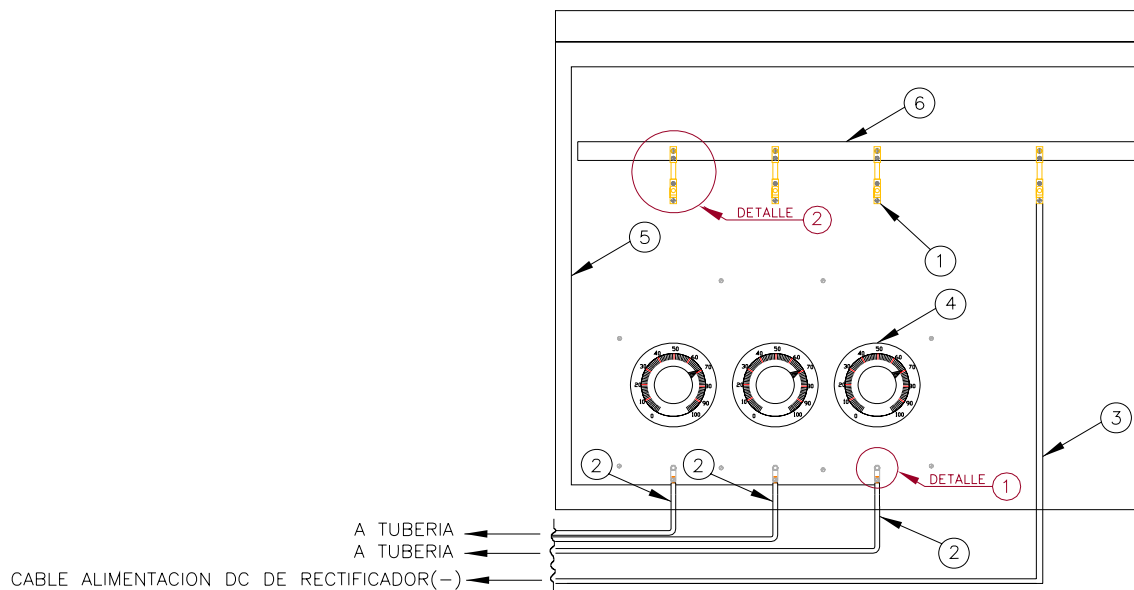


GABINETE		Estándar, enfriado por Aire (A)	VOLTAJE ENTRADA A. C.	120 (A)	
	x	Estándar, Inmerso en Aceite (O)		208 (B)	
		Serie Oscilante (S)		240 (C )	
		Serie Utilitaria (U)		480 (D)	
		Estaciones de Gasolina (G)		120/240 (E)	
		ES (E)		x 240/480 (F)	
		Prolínea (P)		120/480 (G)	
TIPO	x	Estándar (Taps Manuales) S	ENFRIADO	OTRO (ESPECIFICAR) H	
		Corriente constante (Estilo Reactor) C		Enfriado por aire. Nema 3R (A)	
		Corriente constante (Solid State) D	x	Inmerso en aceite. Nema 4X (O)	
		Voltaje constante (Solid State) E		Inmerso en aceite, A prueba de explosión. Nema 7R (X)	
		Potencial constante (Solid State) P	STACK TYPE	Selenio (E)	
		Potencial constante Libre de IR (Solid State) I		x	Silicón (I)
		Módulos Múltiples (Solid State) M			Selenio, Tap central (C )
		Control variable V			Silicón, Tap central (S)

ESPECIFICACIONES	Voltaje de Salida DC:	70	V	Temp.Trabajo:	50	°C	
	Amperios de salida DC:	40	A				
	FASES	x	Monofásico (S)	Gabinete:			
			Trifásico (T)	Gabinete Galvanizado por Inmersión en Caliente , ASTM A 123			
	TRANSFORMADOR:			INSTRUMENTOS:			
	Regulador Grueso:	3		Voltímetro:	Análogo , 2-1/2" Rango ,0-125 V, 2% Exactitud		
	Regulador Fino:	6		Amperímetro:	Análogo , 2-1/2" Rango ,0-35 A, 2% Exactitud		
	Capacidad de Aceite:	213	gl	Tipo:	Dieléctrico sin inhibidor de corrosión		
	Entrada doble de cables para alto voltaje			AC and DC arrestadores			

## HOJA DE DATOS CAJA DE CONEXIONES TIVACUNO

CAJA DE CONEXIONES



1. Derivaciones de la caja de conexiones
2. Cable HMWPE AWG 6 (-)
3. Cable HMWPE AWG 6 (-)
4. Reóstato
5. Placa de Bakelita
6. Barra de cobre

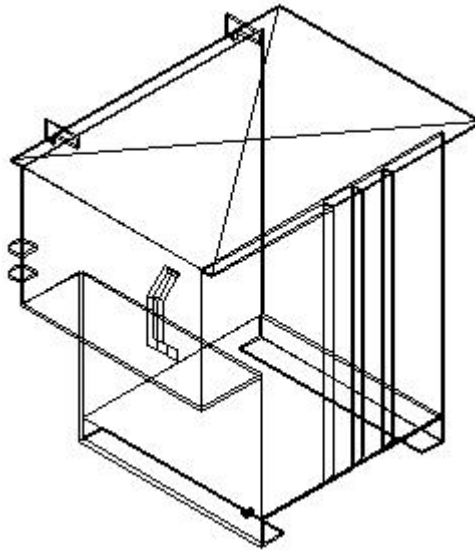
GABINETE	x	Enfriado por aire. Nema 3R		ESPECIFICACIONES	3	Reóstatos	2 ohms	300 watts
		Acero Inoxidable. Nema 4X			2	Puente	25 A/50 mV	SW
		A prueba de explosión. Nema 7R			1	Amperímetro Analógico	1 - 30 A	2% de Exactitud
DIMENSIONES	Largo	650	mm	1	Selector de Circuito	3 posiciones		
	Ancho	450	mm	1	Placa de Baquelita	600x400x4.8	Mm	
	Profundidad	300	mm	1	Barra de Cobre	550x20x3.2	Mm	
	Espesor de plancha	1,6	mm	1	Conexión a puesta tierra, todos los pernos de Acero Inoxidable			

## LISTA DE MATERIALES DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA LÍNEAS GINTA - A

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad
1	Rectificador: Entrada AC 480 V, una fase, 60 Hz, Salida: 60 A / 50 V DC. Diodos de Silicón. Enfriado por Aceite, con amperímetro, voltímetro, protección contra alto voltaje y descargas eléctricas atmosféricas. Todos los accesorios para trabajo en la Amazonía ( región oriente ecuatoriano). Galvanizado por inmersión en caliente. NEMA 3R.	un	1
2	Ánodo de barra sólida de titanio revestido por una mezcla de óxidos de metales (Ti-MMO), pre empacados con relleno de coque de petróleo calcinado de baja resistividad, dimensiones de la barra desnuda 0.25 in diámetro x 4 ft de longitud. Dimensiones de contenedor metálico 3"x60". Incluye cable del ánodo tipo HMWPE AWG 8 de 3 metros de longitud.	un	12
4	CABLE HMWPE AWG 6 para protección catódica.	m	350
5	Cinta de peligro con "Caution Cathodic Protection Cable Buried Below", 305 m x 3 pulgadas ancho, color amarillo de seguridad.	rollo	2
6	Juntas de empalme 3M 90-B1 Kit	un	13
7	Cinta 3M, caucho autofundente, # 23	un	4
8	Cinta 3M tape, poly-vinyl # +33	un	4
9	Cinta de protección para tuberías (alta temperatura)	rollo	0,10
10	Polyguard CA-9 mastic	lt	0,50
11	Soldadura Cadweld CA15	cargas	7

12	Molde para soldadura Cadweld, CAHAA-1G	un	1
13	Molde para soldadura Cadweld, CAHAA-1H	un	1
14	Chisperos	un	2
15	Relleno Loresco tipo SW para cama de ánodos, 50 libras por saco	sacos	50
16	Caja de conexiones con 2 reóstatos de 2 Ohms y 300 watts, NEMA 3R, 550 x 450 x 300 mm, con una placa de baquelita de 500 x 400 x 4.8 mm, amperímetro y selector, cada circuito con un puente de 50 mV-50A, amperímetro de 0-60 A con selector de corriente, NEMA 3R. Galvanizado por inmersión en caliente.	un	1
17	Postes de prueba	un	
18	Perno de cobre tipo grillete 4-8 AWG	un	1

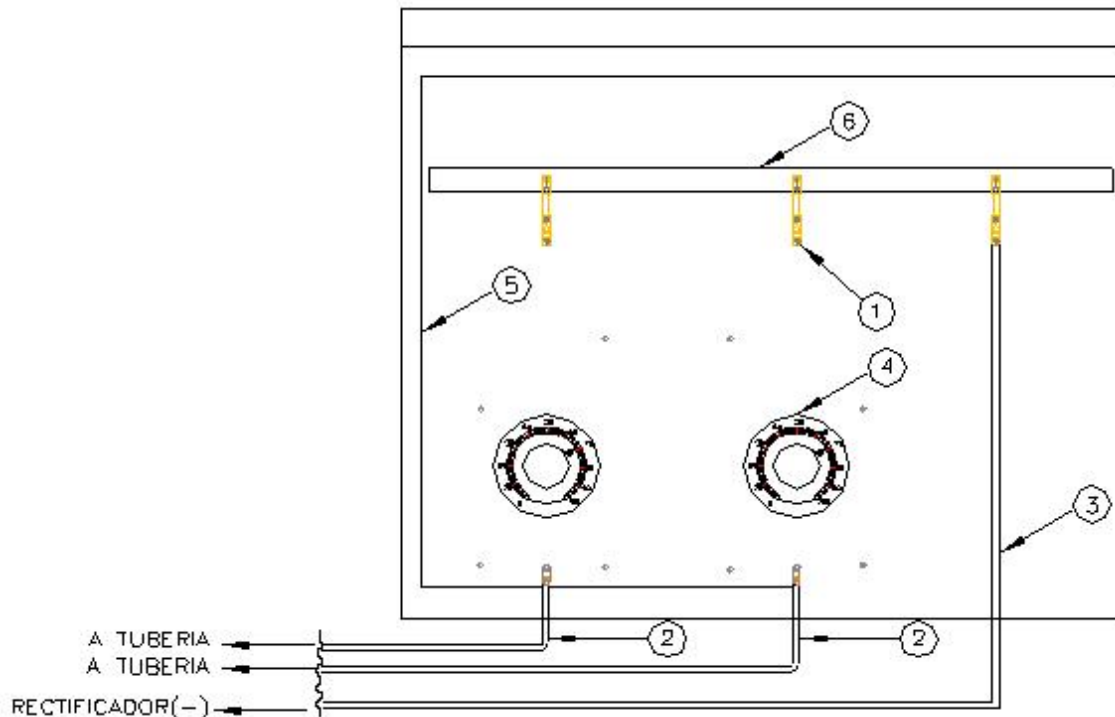
# HOJA DE DATOS RECTIFICADOR GINTA-A



GABINETE		Estándar, enfriado por Aire (A)	VOLTAJE ENTRADA A.C.	120 (A)
	x	Estándar, Inmerso en Aceite (O)		208 (B)
		Serie Oscilante (S)		240 (C )
		Serie Utilitaria (U)		480 (D)
		Estaciones de Gasolina (G)		120/240 (E)
		ES (E)		x 240/480 (F)
		Prolínea (P)		120/480 (G)
TIPO	x	Estándar (Taps Manuales) S	ENFRIADO	OTRO (ESPECIFICAR) H
		Corriente constante (Estilo Reactor) C		Enfriado por aire. Nema 3R (A)
		Corriente constante (Solid State) D		x Inmerso en aceite. Nema 4X (O)
		Voltaje constante (Solid State) E		Inmerso en aceite, A prueba de explosión. Nema 7R (X)
		Potencial constante (Solid State) P		Selenio (E)
		Potencial constante Libre de IR (Solid State) I		x Silicón (I)
		Módulos Múltiples (Solid State) M		Selenio, Tap central (C )
		Control variable V		Silicón, Tap central (S)
		STACK TYPE		

ESPECIFICACIONES	Voltaje de Salida DC:		50	V	Temp.Trabajo:	50	°C	
	Amperios de salida DC:		40	A				
	FASES	x	Monofásico (S)	Gabinete:				
			Trifásico (T)	Gabinete Galvanizado por Inmersión en Caliente , ASTM A 123				
	TRANSFORMADOR:				INSTRUMENTOS:			
	Regulador Grueso:		3		Voltímetro:	Análogo , 2-1/2" Rango ,0-125 V, 2% Exactitud		
	Regulador Fino:		6		Amperímetro:	Análogo , 2-1/2" Rango ,0-35 A, 2% Exactitud		
	Capacidad de Aceite:		213	gl	Tipo:	Dieléctrico sin inhibidor de corrosión		
	Entrada doble de cables para alto voltaje				AC and DC arrestadores			

## HOJA DE DATOS CAJA DE CONEXIONES GINTA-A



1. Derivaciones de la caja de conexiones
2. Cable HMWPE AWG 6 (-)
3. Cable HMWPE AWG 6 (-)

4. Reóstato
5. Placa de Bakelita
6. Barra de cobre

GABINETE	x	Enfriado por aire. Nema 3R			ESPECIFICACIONES	2	Reóstatos	2 ohms	225 watts
		Acero Inoxidable. Nema 4X				2	Puente	25 A/50 mV	SW
		A prueba de explosión. Nema 7R				1	Amperímetro Analógico	1 - 30 A	2% de Exactitud
DIMENSIONES	Largo	650	mm	1		Selector de Circuito	3 posiciones		
	Ancho	450	mm	1		Placa de Baquelita	600x400x4.8	mm	
	Profundidad	300	mm	1		Barra de Cobre	550x20x3.2	mm	
	Espesor de plancha	1,6	mm	1		Conexión a puesta tierra, todos los pernos de Acero Inoxidable			

### 5.3 MEMORIA TÉCNICA Y PROCEDIMIENTOS

#### PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DE RECTIFICADOR

##### ALCANCE

Este procedimiento describe los pasos a seguir para realizar la instalación del rectificador del sistema Protección Catódica (PC).

##### DEFINICIÓN

Se denomina un Rectificador al equipo que convierte la corriente alterna AC en corriente continua DC, para ser utilizada el sistema de PC. Este proceso ocurre en unos elementos denominados Diodos que pueden ser de Silicón o Selenio. Los diodos son implementos eléctricos que dejan pasar la corriente solamente en una dirección y boquean la corriente inversa, pudiendo de esta manera obtener corriente continua necesaria para la PC.

Los rectificadores de acuerdo a su forma de construcción se pueden clasificar en rectificadores de acuerdo a la acometida AC de 115 V, 230 V y 480 V AC. Puede ser mono, bi o tri fásicos. Enfriados por aire o por aceite. Esta es la clasificación que para este procedimiento se requiere.

Los rectificadores a los que nos referimos en este procedimiento son enfriados por aceite y de 480 V AC, 60 Hz y monofásicos, los cuales son fáciles de operar y monitorear.

### **PERSONAL TÉCNICO**

- Un técnico electricista
- Un ayudante
- Dos trabajadores
- Un Supervisor

### **MATERIALES A UTILIZARSE**

Los materiales que se utilizarán son los siguientes:

- Rectificador
- Pernos de anclaje
- Aceite para el rectificador
- Tubos conduit de Aluminio de 1 ½" y accesorios
- Cables de PC DC
- Cables de la acometida AC

### **HERRAMIENTAS**

- Un taladro tipo Hilti.
- Nivel
- Bomba manual para transferencia de aceite
- Un multímetro Fluye
- Una pinza amperimétrica, Fluke

### **APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO**

Este procedimiento será aplicado para la instalación de los cables de PC en las siguientes plataformas de producción:

- Localidad GINTA A
- Localidad AMO A
- Localidad TIVACUNO
- Localidad CAPIRÓN A



## **PROCEDIMIENTO**

Este procedimiento comprende los siguientes pasos:

- 1) Verificación en bodega de las condiciones óptimas del rectificador
- 2) Transporte del rectificador desde su sitio de almacenamiento hasta el sitio de su instalación. En esta actividad se utilizará un monta carga o un camión grúa de bajo tonelaje.
- 3) Descarga del rectificador sobre la loza de hormigón previamente construida según los planos y procedimientos civiles.
- 4) Marcación y perforación de los huecos para la colocación de los pernos de anclaje.
- 5) Instalación de los pernos de anclaje
- 6) Instalación y ajuste de las bases del rectificador en su sitio.
- 7) Instalación de los tubos conduit, accesorios y acometidas eléctricas.
- 8) Tanto la acometida de cables AC como la conexión de cables de PC DC serán colocados dentro de los tubos conduit.
- 9) Conexión de cables y sellado de los mismos utilizando masillas epóxicas o silicón
- 10) Verificación de la continuidad de cables.
- 11) Instalación de las conexiones a tierra. En esta actividad se podrá utilizar una barra de cobre y cables AWG 4 – 6 o según regulaciones del cliente. También se podrá conectar a la malla de tierra existente si es que lo hubiera.
- 12) Al finalizar todas las conexiones y pruebas eléctricas se completará el rectificador con aceite apropiado, de acuerdo a especificaciones del fabricante.
- 13) El rectificador estará especificado para ser instalado a la intemperie, pero si el cliente requiere que se le de una protección adicional, se construirá un techo metálico galvanizado para protección de la lluvia.

## **PRUEBAS ELÉCTRICAS**

Se realizarán las siguientes pruebas eléctricas:

Pruebas de continuidad

Megado

## **SEGURIDAD Y SALUD**

La instalación del rectificador puede ocasionar descargas eléctricas peligrosas, por lo tanto se debe tomar las precauciones de seguridad necesarias. Se debe trabajar con personal especializado en este tipo de trabajos.

Todos los trabajos se realizarán de acuerdo a los procedimientos establecidos.

## **PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DE LA CAJA DE CONEXIONES**

### **ALCANCE**

Este procedimiento describe los pasos a seguir para realizar la instalación de la caja de conexiones del sistema Protección Catódica (PC).

### **DEFINICIÓN**

La caja de conexiones (CC) es el equipo en donde se realizan todas las conexiones de cables de corriente continua DC, para facilitar la operación y el monitoreo del sistema de PC.

Las CC serán del tipo NEMA 3R porque se requiere de la circulación de aire para la disipación del calor que pueden generar los accesorios allí instalados. La CC será colocada en un soporte metálico galvanizado o correctamente pintado. Las CC dispondrán de amperímetros con capacidad de acuerdo a planos de diseño.

En las CC vendrán con reóstatos para la regulación de la corriente de PC. Se instalará un reóstato por cada línea integrada al sistema de PC.

### **PERSONAL TÉCNICO**

Un técnico electricista

Un ayudante

Un Supervisor

### **MATERIALES A UTILIZARSE**

Los materiales que se utilizarán son los siguientes:

Caja de Conexiones y accesorios

Pernos de anclaje

Soporte metálico

Tubos conduit de Aluminio de 1 ½" y accesorios

Cables de PC

## **HERRAMIENTAS**

Una caja de herramientas eléctricas

Un taladro tipo Hilti.

Nivel

Bomba manual para transferencia de aceite

Un multímetro Fluye

Una pinza amperimétrica, Fluke

## **APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO**

Este procedimiento será aplicado para la instalación de las CC en las siguientes plataformas de producción:

Localidad GINTA A

Localidad AMO A

Localidad TIVACUNO

Localidad CAPIRÓN A

## **PROCEDIMIENTO**

Este procedimiento comprende los siguientes pasos:

- 1) Verificación en bodega de las condiciones óptimas de la CC.
- 2) Transporte de la CC desde la bodega hasta el sitio de su instalación. El transporte se podrá realizarlo en una camioneta, y dos personas para su movilización.
- 3) Descarga de la CC sobre la loza de hormigón previamente construida según los planos y procedimientos civiles. El soporte metálico de la CC podrá ser construido conjuntamente con la loza de hormigón de la parte civil o podrá ser anclado a igual que el rectificador utilizando pernos de anclaje tipo Hilti.
- 4) Marcación y perforación de los huecos para la colocación de los pernos de anclaje.
- 5) Instalación de los pernos de anclaje
- 6) Instalación y ajuste de las bases del rectificador en su sitio.
- 7) Instalación de los tubos conduit, accesorios y acometidas eléctricas.
- 8) Los cables de PC serán colocados dentro de los tubos conduit.
- 9) Conexión de cables y sellado de los mismos utilizando masillas epóxicas o silicón
- 10) Verificación de la continuidad de cables.

11) Instalación de las conexiones a tierra. En esta actividad se podrá utilizar una barra de cobre y cables AWG 4 – 6 o según regulaciones del cliente. También se podrá conectar a la malla de tierra existente si es que lo hubiera.

12) Al finalizar todas las conexiones y pruebas eléctricas se emitirá el reporte respectivo.

13) La CC estará especificada para ser instalado a la intemperie, pero si el cliente requiere que se le de una protección adicional, se construirá un techo metálico galvanizado para protección de la lluvia.

### **PRUEBAS ELÉCTRICAS**

Se realizarán las siguientes pruebas eléctricas:

Pruebas de continuidad

### **SEGURIDAD Y SALUD**

La instalación del rectificador puede ocasionar descargas eléctricas peligrosas, por lo tanto se debe tomar las precauciones de seguridad necesarias. Se debe trabajar con personal especializado en este tipo de trabajos.

Todos los trabajos se realizarán de acuerdo a los procedimientos establecidos.

### **PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DE CABLES**

#### **ALCANCE**

Este procedimiento describe los pasos a seguir para realizar el tendido e instalación de los cables de Protección Catódica (PC).

#### **DEFINICIÓN**

Los cables de PC son de cobre de varios hilos revestidos mediante aislante eléctrico del tipo poli etileno de alto peso molecular (High Molecular Weight Poly Ethylene = HMWPE).

El tamaño y especificaciones del cable de PC se darán en el diseño.

#### **PERSONAL TÉCNICO**

Un técnico electricista

Un ayudante

Ocho obreros para la excavación de la zanja

Un Supervisor

#### **MATERIALES A UTILIZARSE**

Las partes que componen la cama anódica se detallan a continuación:

Existen cuatro tipos de cables de protección catódica:

Cable positivo

Cable negativo

Cables de las estaciones de prueba y

Cables de las celdas de referencia permanentes

### **CONEXIÓN DE CABLES**

Los cables serán conectados como se describe a continuación:

Uno de los extremos del cable positivo será conectado al polo positivo del rectificador y el otro extremo será conectado a la cama anódica. El cable positivo pasará a través de la caja de conexiones para el monitoreo futuro del funcionamiento del sistema de PC.

Uno de los extremos del cable negativo será conectado al polo negativo del rectificador y el otro a la tubería a la que se quiere proteger, en donde se lo conectará mediante soldadura exotérmica (cadweld), las cargas para realizar estas soldaduras serán 15 g máximo. El cable negativo pasará por la caja de conexiones en donde se instalará un reóstato en serie para la regulación del paso de corriente de PC.

Los cables de las estaciones de prueba serán conectados a la tubería mediante soldadura exotérmica (cadweld), las cargas para realizar estas soldaduras serán máximo de 15 g.

Los cables de las celdas de referencia permanentes (CRP) vendrán conectadas a los electrodos por el un extremo y el segundo extremo será conectado a la caja de conexiones.

Los cables de PC en lo posible tendrán una sola continuidad y no serán cortados y reconectados mediante uniones estándares. Cada unión realizada, a excepción de la cama anódica, será realizadas dentro de un accesorio apropiado para tener acceso a esta unión.

### **HERRAMIENTAS**

Un compactador manual, palas, picos y plástico.

### **APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO**

Este procedimiento será aplicado para realizar la instalación de los cables de PC en las siguientes plataformas de producción:

Localidad GINTA A

Localidad AMO A

Localidad TIVACUNO

Localidad CAPIRÓN A

### **PROCEDIMIENTO**

Este procedimiento comprende los siguientes pasos:

- 1) Definir la ruta para el tendido de cables, debe estar de acuerdo a los planos de diseño.
- 2) Construir una zanja de 60 cm de profundidad, debidamente nivelada.
- 3) Tender el o los cables a lo largo de la zanja
- 4) Colocarlo dentro de una manguera de PE de 1 ½" y dejarlo en el fondo de la zanja.
- 5) Tapar la zanja hasta 30 cm mediante con suelo natural libre de rocas, maderas o cualquier material extraño.
- 6) Compactar la zanja utilizando herramienta manual.
- 7) Colocar cinta de detección con la inscripción "Caution Cathodic Protección Lines Bureid Below"
- 8) Continuar el tapado 10 cm adicionales
- 9) Completar el tapado de la zanja con la capa de tope.
- 10) Conectar los cables de acuerdo a lo descrito en el numeral 5.
- 11) Las conexiones a las tuberías se realizarán de acuerdo al procedimiento de soldadura exotérmica (Cadweld)

### **SEGURIDAD Y SALUD**

La construcción de zanjas y tendido d cables no presenta mayores peligros, sin embargo el personal debe utilizar todos los implementos de protección personal y debe disponer de agua potable fresca suficiente.

En la instalación de cables se cuidará de evitar cortes y contaminación con los productos utilizados.

Todos los trabajos se realizarán de acuerdo a los procedimientos establecidos.

### **PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DE CAMA ANÓDICA**

#### **ALCANCE**

Este procedimiento describe los pasos a seguir para realizar la construcción de la cama anódica del sistema de PC.

## **DEFINICIÓN**

Se define como cama anódica el conjunto de varios ánodos conectados entre si, inmersos o enterrados en un sitio, los cuales sirven para transmitir corriente de PC ( $I_{PC}$ ) hacia el electrolito.

Existen camas anódicas de un solo ánodo o de varios ánodos, instalados en forma horizontal o vertical. Las camas anódicas se instalarán en sitios estratégicos predeterminados en el diseño. Generalmente se entierran a 2.5 m de profundidad y separadas de toda estructura a una distancia de al menos 50 m. A esa distancia la resistencia ánodo/electrolito a tierra remota se hace asíntota. Los ánodos serán instalados a una separación entre si de acuerdo a lo determinado en el diseño.

Los ánodos que se utilizarán en este procedimiento son del tipo barra sólida de Titanio revestida con una Mezcla de Óxidos de Metales (solid rod coated with Mixed Metal Oxide, Ti – MMO) pre-empacados con relleno tipo carbón (coke) de petróleo “Loresco SW” de diámetro 4” x 1.52 m de largo y cable HMWPE AWG 8 con 3 m de largo.

La cama será construida con los ánodos descritos anteriormente, los cuales estarán inmersos en un lecho de carbón de petróleo de 30 cm x 30 cm, como esté indicado en los planos de diseño.

El carbón de petróleo viene con partículas de 0.04 – 0.50 pulgadas de diámetro y tiene una densidad de 867 ( $Kg/m^3$ ) de Cada soldadura caweld al proceso de soldadura que ocurre al utilizar una mezcla de polvos metálicos, generalmente aluminio y cobre, material que al ser encendido con una chispa de alta temperatura, produce una reacción exotérmica fundiéndose en un todo conjuntamente con el cable y la superficie metálica de la tubería para obtener una conexión eléctrica de excelente propiedades mecánicas de buena continuidad eléctrica.

## **MATERIALES A UTILIZARSE**

Las partes que componen la cama anódica se detallan a continuación:

Ánodos Ti-MMO y cables HMWPE AWG 8

Relleno de carbón de Petróleo

Cables de conexión HMWPE AWG 6

Pernos de Cobre tipo grillete (Split bolts) AWG 6 – 14

Cinta aislante auto-fundente 23, 3M

Cinta polivinil, 33+, 3M

Empalmes de resina Scotch cast 90-B1, 3M

Equipo de protección personal para el operador

Guantes, gafas de seguridad

Paños de algodón, limpios y secos

### **PERSONAL TÉCNICO**

Cuatro trabajadores

Dos Custodias

Un Supervisor

### **MAQUINARIA**

Se utilizará una retro excavadora tipo 350, para construcción de la zanja y el tapado respectivo.

Dos arneses de seguridad

Dos líneas de vida

Una escalera para el acceso hacia la zanja

### **APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO**

Este procedimiento será aplicado para realizar la instalación de las camas anódicas en las siguientes plataformas de producción:

Localidad GINTA A

Localidad AMO A

Localidad TIVACUNO

Localidad CAPIRÓN A

### **PROCEDIMIENTO**

Este procedimiento comprende los siguientes pasos:

- 1) Definir el sitio exacto para la construcción de la cama anódica
- 2) Todas las cantidades, dimensiones y separación de los elementos de la cama anódica serán previamente determinados y graficados en el formato de recolección de datos para evitar demoras y errores en la instalación
- 3) Determinar de manera precisa si no existen estructuras o cables enterrados en esa zona, utilizar planos de construcción existentes y si es necesario detectores apropiados para estos casos.
- 4) Obtener el permiso de liberación para la excavación en ese sitio.
- 5) Obtener el permiso para espacio confinado hasta 2.5 m de profundidad
- 6) Movilizar la maquinaria al sitio



- 7) Excavar la zanja para la cama anódica que tendrá 2.5 m de profundidad, fondo 60 cm de ancho y tope 2 m de ancho
- 8) La zanja se construirá retirando primero el suelo con material orgánico y se lo colocará en un sitio apropiado a un lado de la zanja.
- 9) Luego las capas de suelo siguientes se colocarán al otro lado de la zanja sin mezcla con la tierra del tope rica en humus.
- 10) La zanja será construida con el talud necesario para evitar el derrumbe de sus paredes
- 11) Terminada la construcción de la zanja el supervisor determinará si se puede o no bajar con personal para trabajar en el fondo de ésta.
- 12) Si existe un mínimo de riesgo entonces se procederá a realizar el entibamiento<sup>45</sup> de la zanja.
- 13) Se colocará la escalera de acceso colocándola de manera firme y amarrándola en la parte superior.
- 14) El personal que tenga los permisos de espacio confinado se colocarán los respectivos arneses y la línea de vida y máscaras para polvo.
- 15) Dos obreros pasarán los sacos de carbón abiertos, dos obreros bajarán al fondo de la zanja y colocarán el carbón de petróleo un lecho de 15 cm de alto a lo largo de toda la zanja de la cama anódica. Dos vigilias tomarán las líneas de vida y estarán pendientes de cualquier eventualidad que pueda ocurrir con los trabajadores que están en fondo de la zanja.
- 16) Instalarán los ánodos dándoles la separación conforme los planos de diseño
- 17) Se continuará con la colocación de la segunda capa de carbón de petróleo, asegurándose que todos los ánodos queden completamente cubiertos con el carbón y de manera uniforme.
- 18) Todos los cables de los ánodos HMWPE AWG8 serán levantados al borde de la zanja
- 19) Terminada esta actividad los obreros saldrán a superficie y se continuará con la construcción de la cama anódica

---

<sup>45</sup> Entibamiento.- Colocar tablas alrededor de las paredes de la zanja para evitar derrumbes de tierra.

- 20) Se procederá al tapado de la zanja utilizando suelo natural libre de rocas, maderas, o material extraño, la primera capa será de un metro después de lo cual se procederá a compactar, luego se llenará 50 cm y se compactará nuevamente hasta una cota de 60 cm por debajo del nivel del suelo.
- 21) A este nivel se procederá conectar todos los cables de los ánodos hacia el cable principal, el cual será colocado en forma de lazo.
- 22) Los cables serán conectados mediante el uso de pernos de cobre tipo grillete marca "Burndy" AWG 6-14, después de realizar el ajuste se procederá a verificar el ajuste.
- 23) La unión de cables con los pernos serán cubiertos con al menos tres capas de cinta auto-fundente 23, 3M y al menos con dos capas de cinta polivinílica 33+ de 3M.
- 24) Posteriormente se colocará el molde del empalme de resina Scotch Cast 90-B1 3M.
- 25) Se realizará la mezcla de los dos componentes de resina revolviendo hasta que la mezcla empiece a calentarse.
- 26) Se verterá la mezcla dentro del molde con la ayuda del embudo que viene en el kit, este proceso se lo realizará de manera lenta, comprobando que toda burbuja de aire sea extraída. No se permitirá el ingreso de la humedad porque al calentarse puede echar a perder la fundición de resina. Al completar el llenado del molde se colocará la tapita de plástico y se dejará en posición vertical hasta que concluya la reacción de polimerización. Tener cuidado de no tocar el empalme hasta que finalice esta reacción que es exotérmica y puede causar quemaduras.
- 27) Una vez que se hayan enfriado los empalmes se procederá a enterrar mediante suelo natural libre de rocas, maderas o cualquier otro material extraño, hasta 30 cm, se compactará utilizando herramienta manual o motorizada y se colocará doble cinta de precaución con la inscripción "Cathodic Protection lines Buried Below".
- 28) Se completará el relleno 10 cm más y finalmente se colocará el suelo orgánico.
- 29) Se dejará marcado mediante hitos de concreto la ubicación de la cama anódica al menos tres hitos con la inscripción "PC"

30) Finalmente se instalará un letrero de identificación de la cama anódica con las características y especificaciones básicas como se indica a continuación:



**Figura 5.7 Rotulo para instalación de SPC**

## **SEGURIDAD Y SALUD**

Debido a que la cama anódica se construirá a profundidad se debe tomar todas las precauciones para precautelar la integridad de las personas.

Los obreros deben utilizar todo el equipo de protección personal y los que baje ala zanja las protecciones adicionales como se indicó anteriormente en los numerales n, s.

Durante la construcción de los empalmes se tendrá cuidado que la resina no entre en contacto con los ojos o la piel.

Después de finalizada la obra los trabajadores deberán lavarse minuciosamente las manos.

## **PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA CADWELD**

### **MATERIALES A UTILIZARSE**

Las partes que componen el proceso de soldadura cadweld o exotérmica se detallan a continuación:

Superficie metálica de la tubería

Extremo de cobre del cable eléctrico de Protección Catódica. Se utilizará cables de diferente longitud dependiendo de la profundidad que se encuentre enterrada la tubería y de la función que vaya a cumplir el cable.

Cargas de cadweld CA15 de 15 g, mezcla de polvo de metales, aluminio y cobre

Molde de Grafito, resistente a alta temperatura

Chispero

Equipo de protección personal para el operador

Guantes de cuero manga larga, gafas de seguridad

Paños de algodón, limpios, húmedos y secos

### **PERSONAL TÉCNICO**

Un operador de soldadura cadweld

Un ayudante

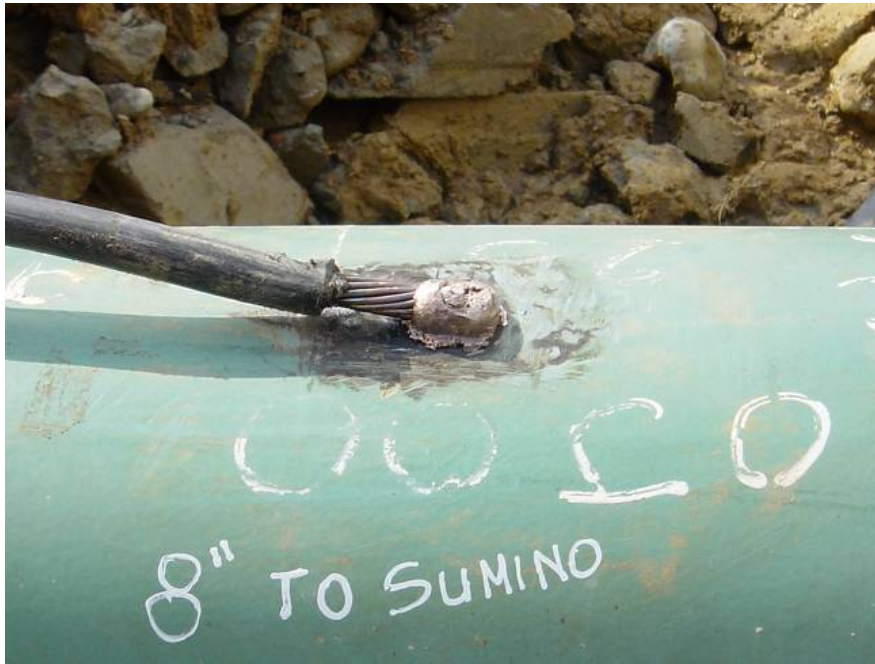
Un Supervisor

### **DEFINICIÓN**

Se define como soldadura caweld al proceso de soldadura que ocurre cuando utilizando una mezcla de polvos metálicos, generalmente aluminio y cobre, material que al ser encendido con una chispa de alta temperatura, produce una reacción exotérmica fundiéndose conjuntamente con el cable y la superficie metálica de la tubería para obtener una conexión eléctrica de excelente propiedades mecánicas de buena continuidad eléctrica.



**Figura 5.8 Soldadura Cadweld (1)**



**Figura 5.9 Soldadura Cadweld (2)**

### **ALCANCE**

Este procedimiento describe los pasos a seguir para realizar una soldadura exotérmica (soldadura cadweld) de buena calidad, sin mayor incidencia en las propiedades mecánicas del oleoducto o tubería en construcción, de buena conductivita eléctrica y de amplia durabilidad.

### **APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO**

Este procedimiento será aplicado para realizar las conexiones eléctricas de los cables eléctricos de Protección Catódica (PC)<sup>46</sup> Negativos y de las estaciones de prueba hacia las líneas de flujo que serán conectadas a las mismas.

- Localidad GINTA A:
  - Línea de 18 “ de Agua SPF – GINTA A
  - Línea de 20 “ de Crudo GINTA A – SPF
- Localidad AMO A:
  - Línea de 20” de Crudo Amo A- SPF
  - Línea de 24”/18” de Agua SPF – Amo A
  - Línea de 10” de Agua Amo A – Amo 1
  - Línea de 4” de flujo Amo A – Amo 1

---

<sup>46</sup> NACE Standard RP0169-2002 Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems. Section 8, numeral 8.6

- Localidad TIVACUNO:
  - Línea de 16” de Crudo TIVACUNO - NPF
  - Línea de 14” de Agua NPF – TIVACUNO
  - Futura línea de 8” de flujo TIVACUNO C - TIVACUNO
- Localidad CAPIRÓN – A:
  - Línea de 16” de Crudo CAPIRÓN A – NPF
  - Línea de 14 “ de Agua NPF – CAPIRÓN
  - Línea de 12” de Agua CAPIRÓN – BOGI
  - Línea de 12 “ de Crudo BOGI – CAPIRÓN
  - Línea de 10” de Agua CAPIRON – BOGI

## **PROCEDIMIENTO**

Este procedimiento comprende los siguientes pasos:

- 1) Definición del punto de conexión sobre la tubería
- 2) Realizar la limpieza de la superficie revestida de la tubería, eliminando toda presencia de lodo o tierra adherida, utilizar paños de algodón limpios húmedos y luego secos. Esta actividad se ejecutará sin dañar el revestimiento.
- 3) Realizar un corte sobre la capa de revestimiento, de aproximadamente 5 cm x 5 cm. Debido a que el polipropileno tri-capa tiene gran espesor se utilizará herramienta manual especial o electromecánica. Realizar esta actividad sin causar ningún daño mecánico sobre la superficie metálica de la tubería, este particular será verificado por el inspector QA/QC.
- 4) Utilizando limas del tipo media caña y lijas se preparará la superficie metálica sobre la tubería hasta el grado metal blanco SSPC SP5.
- 5) Eliminar toda presencia de humeado, si es necesario se colocará un techo provisional de lona par evitar el ingreso de agua al sector.
- 6) Sobre la superficie preparada colocar el extremo del cable desprendido de su recubrimiento aislante (HMWPE = High Molecular Weight Poli-ethylene) en una longitud de acuerdo a las dimensiones del molde de grafito.
- 7) Con la ayuda de cintas adhesivas u otro implemento, fijar el cable para evitar su movilidad, mientras se realiza el proceso de soldadura.
- 8) Colocar el molde sobre la superficie preparada y el cable.

- 9) Colocar en el fondo del molde de grafito el disco metálico que viene juntamente con las cargas de Cadweld.
- 10) Llenar el recipiente del molde con una sola carga CA 15 de 15 g., de acuerdo a las regulaciones internacionales no se utilizará cargas mayores.
- 11) El operador y un ayudante con todo su equipo de protección personal (incluyendo guantes de cuero manga larga), deberán colocarse del lado de la dirección del viento, presionar firmemente el molde sobre las superficie de la tubería, pero no de manera exagerada, y utilizar el chispero con la tapa del molde cerrada, para encender la mezcla de cadweld.
- 12) Si es necesario, antes de realizar la soldadura se sellará el contorno del molde con una pasta apropiada o en caso de no disponer de ella con arcilla húmeda. El contacto de la arcilla húmeda con la mezcla fundida puede causar salpicaduras del material fundido, por lo que se recomienda colocar esta masa de arcilla solamente en forma externa al molde.
- 13) El ayudante preparado con su equipo de seguridad personal (incluyendo guantes de cuero) utilizando un paño húmedo apagará cualquier conato de fuego al contorno de la soldadura.
- 14) Luego de transcurrido unos segundos se podrá retirar el molde sin forzarlo, suele ocurrir que la escoria o el material fundido fija al molde sobre la tubería, el desprendimiento de éste se debe realizar sin dañarlo, utilizando guantes de cuero y teniendo la precaución de no agarrar el molde por la parte caliente.
- 15) El supervisor realizará la inspección de la soldadura, utilizando un martillo liviano y verificando que no existan hebras de cable quemadas.
- 16) Si la soldadura resultará defectuosa repetir el proceso desde el numeral 4.
- 17) Transcurrido unos cuantos minutos y con los guantes de cuero puestos se procederá a realizar la limpieza del molde con una brocha pequeña de cerdas suaves.
- 18) Se realizará la limpieza de la soldadura, eliminando las rebabas y la escoria. Luego utilizando una lima se redondeará todos los filos agudos de la soldadura cadweld.
- 19) Se realizará la limpieza de la parte metálica de la tubería hasta metal blanco utilizando herramientas manuales.

- 20) Se procederá a reparar el revestimiento con el mismo procedimiento aprobado para la reparación del revestimiento de la tubería.
- 21) Se procederá a asegurar el cable. Cuando la tubería va a transportar fluidos muy calientes no es recomendable amarrar el cable a la tubería para evitar el daño del revestimiento aislante eléctrico del cable debido a la alta temperatura.
- 22) Se sellará el otro extremo del cable utilizando cinta eléctrica de buena calidad para evitar la entrada de humedad.
- 23) Cuando se trate de estaciones de prueba sobre una sola tubería, se soldarán dos cables de la misma longitud, aproximadamente de 6 m y separados entre sí 1.83 m.
- 24) Cuando se suelde cables negativos se debe dejar una longitud que alcance hasta la caja de conexiones, según los planos de diseño.

## **SEGURIDAD**

Los gases que se producen momentáneamente después de la reacción exotérmica de la soldadura cadweld son dañinos para la salud de las personas debido a que esta reacción es de alta temperatura, aunque pequeña y puntual. Por lo anterior solamente personal entrenado podrá realizar esta actividad.

Los trabajadores utilizarán todo su equipo de protección personal incluyendo guantes de cuero con mangas largas.

La forma más eficiente de evitar este peligro es colocándose del lado de la dirección del viento y evitando respirar estos gases. Puesto que la reacción es instantánea esta acción es fácil de cumplirla.

## **PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DE ARRANQUE**

### **ALCANCE**

Este procedimiento describe los pasos a seguir para realizar el arranque del sistema de Protección Catódica (PC).

### **DEFINICIÓN**

Al concluir todos los trabajos de instalación de PC y concluidos los trabajos de la lista de pendientes se procederá al arranque, incremento de carga y calibración del sistema.

### **PERSONAL TÉCNICO**



- Un técnico electricista
- Un ayudante
- Un especialista de PC

### **MATERIALES A UTILIZARSE**

Las partes que componen el sistema de PC se detallan a continuación:

- Rectificador
- Caja de conexiones
- Cables de PC, positivo, negativo, estaciones de prueba
- Cama anódica
- Electrolito
- Cátodo que es la estructura objeto de la protección
- Celdas de referencia permanentes

### **HERRAMIENTAS**

- Caja de herramientas eléctricas
- Multímetro, Fluye
- Pinza amperimétrica

### **APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO**

Este procedimiento será aplicado para los sistemas de PC de las siguientes tuberías:

- Localidad GINTA A
- Localidad AMO A
- Localidad TIVACUNO
- Localidad CAPIRÓN A

### **PROCEDIMIENTO**

Este procedimiento comprende los siguientes pasos:

- 1) Verificar que todas las instalaciones del SPC este debidamente instalado, cables positivos conectados al polo positivo del rectificador, cable negativo al polo negativo del rectificador, nivel de aceite, conexiones a tierra y todos los accesorios requeridos.
- 2) Verificar los resultados de las pruebas de megado.
- 3) Verificar que la medición de potenciales naturales estén medidos y registrados

- 4) Verificar que la acometida de energía AC, Voltaje, esté de acuerdo con la configuración del rectificador.
- 5) Energizar el sistema AC.
- 6) Verificar que los reguladores de carga del rectificador estén en posición de mínima carga y que no haya salida DC.
- 7) Conectar el breaker del rectificador.
- 8) Medir y registrar los datos de salida DC, la fecha y la hora.
- 9) En un poste estratégico medir el cambio de potencial.
- 10) Si los potenciales medidos no son los requeridos, continuar con el incremento de carga, subiendo un paso la posición del regulador fino.
- 11) Repetir los pasos desde el numeral i hasta que se alcance los potenciales que cumplan los criterios de PC.

### **SEGURIDAD Y SALUD**

Debido a que se esta actividad implica el manejo de altas cargas de voltaje AC y corriente DC, solamente personal técnico debidamente entrenado realizará el arranque de los rectificadores de PC. El personal debe utilizar todos los implementos de protección personal.

Todos los trabajos se realizarán de acuerdo a los procedimientos establecidos.

### **5.4 PLANOS DE DISEÑO**

Ver Anexo C en el que se encuentran todos los planos de la optimización del sistema de protección catódica del Bloque 16.

# **CAPITULO 6**

## **ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO**

### **6.1 ANÁLISIS ECONOMICO**

Desde la firma del contrato con el Estado Ecuatoriano la compañía Repsol YPF S.A. del Ecuador ha procedido dentro del marco legal del país brindando además trabajo a muchos profesionales nacionales. Desde el principio de las operaciones Repsol YPF S.A. del Ecuador ha operado de manera eficiente logrando hasta el momento doblar la producción de barriles de crudo diarios que tenía en sus comienzos.

Una de las metas más importantes de la compañía es mantener el bio-ambiente invariable, por lo cual se invierten significativos recursos para el cumplimiento de este objetivo.

Uno de los elementos más importantes en el mundo petrolero, son las líneas de flujo o llamadas también vías de transporte para los productos de la producción petrolera. Repsol YPF S.A. del Ecuador en su preocupación por mantener estos activos en las mejores condiciones posibles para que estos ofrezcan una alta confiabilidad en la producción de la empresa decide invertir en un proyecto que tiene por objeto mejorar la calidad de los sistemas de protección catódica del Bloque 16, los cuales son los encargados de dar la protección adecuada a las tuberías enterradas.

Luego de haber gastado aproximadamente 4'000.000 en la reparación de 13 Km. de tubería, Repsol YPF S.A. del Ecuador realizó un análisis para evaluar las alternativas de cuidado de sus líneas de transporte de fluido. Seguir manteniendo el sistema actual de protección catódica en el Bloque 16 implicaría varios gastos inesperados en el presupuesto de la empresa. Es por esto que la empresa decide optimizar la protección de estas herramientas de comunicación de productos de producción implantando el proyecto de Optimización del Sistema de Protección Catódica, que brindaría al presupuesto de la empresa una inversión fuerte que a largo plazo produciría beneficios a la compañía y el bio-ambiente.

Por lo tanto, la compañía decide invertir en el cuidado de sus líneas de transporte de fluido mediante la optimización de un sistema de protección catódica que comprende un valor de **150.865,31**.

A continuación se muestra un desglose de lo que comprende la inversión de la optimización de los sistemas de protección catódica en el Bloque 16:

**Tabla 0.1 Inversión general**

<b>GENERALES</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario USD</b>	<b>Precio Total Estimado USD</b>
Ingeniería	Global	1	\$15.000	\$15.000
<b>total:</b>				<b>\$15.000</b>

**Tabla 0.2. Inversión de equipos**

<b>EQUIPOS</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario USD</b>	<b>Precio Total Estimado USD</b>
Rectificador: Entrada AC 480 V, una fase, 60 Hz, Salida: 60 A / 50 V DC. Diodos de Silicón. Enfriado por Aceite, con amperímetro, voltímetro, protección contra alto voltaje y descargas eléctricas atmosféricas. Todos los accesorios para trabajo en la Amazonía (región oriente ecuatoriano). Galvanizado por inmersión en caliente. NEMA 3R.	un	2	\$ 10.000,00	\$ 20.000,00
Rectificador: Entrada AC 480 V, una fase, 60 Hz, Salida: 40 A / 70 V DC. Diodos de Silicón. Enfriado por Aceite, con amperímetro, voltímetro, protección contra alto voltaje y descargas eléctricas atmosféricas. Todos los accesorios para trabajo en la Amazonía (región oriente ecuatoriano). Galvanizado por inmersión en caliente. NEMA 3R.	un	1	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00

<p>Rectificador:  Entrada AC 480 V, una fase, 60 Hz,  Salida: 50 A / 30 V DC. Diodos de Silicón.  Enfriado por Aceite, con amperímetro, voltímetro, protección contra alto voltaje y descargas eléctricas atmosféricas.  Todos los accesorios para trabajo en la Amazonía (región oriente ecuatoriano).  Galvanizado por inmersión en caliente. NEMA 3R.</p>	un	1	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00
<p>Caja de conexiones con 2 reóstatos de 2 Ohms y 300 watts, NEMA 3R, 550 x 450 x 300 mm, con una placa de baquelita de 500 x 400 x 4.8 mm, amperímetro y selector, cada circuito con un puente de 50 mV-50A, amperímetro de 0-60 A con selector de corriente, NEMA 3R.  Galvanizado por inmersión en caliente.</p>	un	4	\$5000,00	\$20.000,00
<p>Caja de conexiones con 3 reóstatos de 2 Ohms y 300 watts, NEMA 3R, 600 x 550 x 300 mm, con una placa de baquelita de 550 x 500 x 4.8 mm, amperímetro y selector, cada circuito con un puente de 50 mV-50A, amperímetro de 0-60 A con selector de corriente, NEMA 3R.  Galvanizado por inmersión en caliente.</p>	un	1	\$6000,00	\$6000,00
<p>Ánodo de barra sólida de titanio revestido por una mezcla de óxidos de metales (Ti-MMO), pre empacados con relleno de coque de petróleo calcinado de baja resistividad, dimensiones de la barra desnuda 0.25 in diámetro x 4 ft de longitud.  Dimensiones de contenedor metálico 3"x60".  Incluye cable del ánodo tipo HMWPE AWG 8 de 3 metros de longitud.</p>	un	70	\$300	\$21000
<b>Total:</b>				<b>\$87.000,00</b>

**Tabla 0.3 Inversión de materiales**

MATERIALES	Unidad de medida	Cantidad	Precio Unitario USD	Precio Total Estimado USD
CABLE HMWPE AWG 6 para protección catódica.	m	1.800,00	\$ 1,25	\$ 2.250,00
Cinta de peligro con "Caution Cathodic Protection Cable Buried Below", 305 m x 3 pulgadas ancho, color amarillo de seguridad.	rollo	8,00	\$ 47,00	\$ 376,00
Juntas de empalme 3M 90-B1 Kit	un	76,00	\$ 25,00	\$ 1.900,00
Cinta 3M, caucho autofundente, # 23	un	18,00	\$ 7,00	\$ 126,00
Cinta 3M tape, poly-vinyl # +33	un	18,00	\$ 5,00	\$ 90,00
Cinta de protección para tuberías (alta temperatura)	rollo	0,90		\$ 5,00
Polyguard CA-9 mastic	lt	2,00		\$ 30,00
Soldadura Cadweld CA15	cargas	40,00	\$ 6,00	\$ 240,00
Molde para soldadura Cadweld, CAHAA-1G	un	3,00	\$ 55,00	\$ 165,00
Molde para soldadura Cadweld, CAHAA-1H	un	3,00	\$ 55,00	\$ 165,00
Chisperos	un	6,00	\$ 16,00	\$ 96,00
Relleno Loresco tipo SW para cama de ánodos, 50 libras por saco	sacos	292,00	\$ 45,00	\$ 13.140,00
			<b>Total:</b>	<b>\$18.583,00</b>

**Tabla 0.4 Inversión en montaje y construcción**

<b>MONTAJE Y CONSTRUCCIÓN</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario USD</b>	<b>Precio Total Estimado USD</b>
Construcción de Bases	Global	1	\$3.600,61	\$3.311,61
Construcción y montaje de soportes	Global	1	\$3.786,00	\$3.264,27
Obra eléctrica e instrumentación	Global	1	\$10.500,00	\$10.245,07
Instalación de rectificadores	Global	1	\$9.500,00	\$9.575,27
Instalación de Bandejas, ductos, Cables y cajas de conexión.	Global	1	\$20.000,00	\$20.000,00
Identificación de cables y conductores	Global	1	\$985,00	\$985,00
Instrumentos de control	Global	1	\$800,00	\$800,00
Conexión de sistemas a tierra	Global	1	\$12.000,00	\$12.000,00
			<b>Total:</b>	<b>\$60.163,22</b>

## 6.2 ANÁLISIS FINANCIERO

**Tabla 0.5. Análisis financiero Alternativa 1**

ALTERNATIVA 1					
RUBRO	MES 0	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4
Equipos		87.000,00			
Materiales			18.583,00		
Montaje y Construcción				30.081,61	30.081,61
Imprevistos		2.610,00	2.610,00	2.610,00	2.610,00
Estudio e Ingeniería	15.000,00				
Arranque					7.000,00
<b>FLUJO NETO</b>	15.000,00	89.610,00	21.193,00	32.691,61	39.691,61
<b>VAC AL 16%</b>	<b>150.865,31</b>				

La alternativa 1 referente a LA OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PROTECCION CATODICA DEL BLOQUE 16, requiere una inversión inicial de 15.000 dólares en el mes 0 correspondiente al estudio e ingeniería del proyecto, luego de esto se debe incurrir en desembolsos mensuales, según el cronograma establecido en el proyecto.

Este flujo arroja un VALOR ACTUAL DE COSTOS **150.865,31**, esto quiere decir que si hubiese un solo desembolso en este momento, el costo total del proyecto será el rubro mencionado anteriormente tomando en cuenta el valor del dinero en el tiempo, cabe recalcar que este proyecto tiene 25 años de duración, y no es una inversión muy fuerte para el beneficio que representara a futuro.

**Tabla 0.6 Análisis financiero Alternativa 2**

ALTERNATIVA 2					
RUBRO	MES 0	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4
Materiales	1.299.283,00				
Desaduanización y Transporte		454.749,00			
Instalaciones		1.076.062,50	1.076.062,50		
Revestimiento áreas sólidas				94.949,00	
Protección Catódica					11.000,00
Imprevistos		100,25	100,25	100,25	100,25
FLUJO NETO	1.299.283,00	1.530.911,75	1.076.162,75	95.049,25	11.100,25
<b>VAC AL 16%</b>	<b>3.485.823,34</b>				

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador Marzo 2006

La alternativa 2 referente a LA OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PROTECCION CATODICA DEL BLOQUE 16, requiere una inversión inicial de 1.299.283 dólares en el mes 0 correspondiente al desembolso de los materiales de reposición del tramo de tubería a reemplazarse, según el cronograma establecido en el proyecto deberán realizarse desembolsos significativos a lo largo de toda la vida útil del proyecto.

El flujo de este proyecto arroja un VALOR ACTUAL DE COSTOS de **3.485.823,34** dólares, lo que esto quiere decir es que el desembolso que se tiene previsto realizar en cuatro meses es superior a la Alternativa 1 lo que indica claramente que una inversión significativa y altamente costosa no necesariamente arroja los mejores resultados para los accionistas e inversionistas del proyecto. Cabe recalcar que en esta alternativa puede producirse costos imprevistos como paras en la producción y daños irremediables al parque nacional Yasuni, donde se encuentra el Bloque 16.



Además, la para de producción debido a daños imprevistos representan un costo muy elevado negativo para la empresa. En la Tabla 6. , se puede observar la producción diaria de los Wellpads a los cuales se les instalará un nuevo sistema de protección catódica para asegurar su correcto funcionamiento y el alargamiento de la vida útil.

**Tabla 0.7 Perdidas por día provocadas por daños imprevistos**

Nuevos SPC <sup>47</sup>	BPD48	Costo Unitario Mes Nov.2006	Costo Perdida
AMO A	18.454,00	63,13	1.165.001,02
GINTA A	5.315,00	63,13	335.535,95
CAPIRON A	5.817,00	63,13	367.227,21
TIVACUNO	2.258,00	63,13	142.547,54

Fuente: Precio Referencial del barril de crudo a la fecha de noviembre del 2006 (BANCO CENTRAL DEL ECUADOR)

---

<sup>47</sup> SPC: Sistemas de Protección Catódica

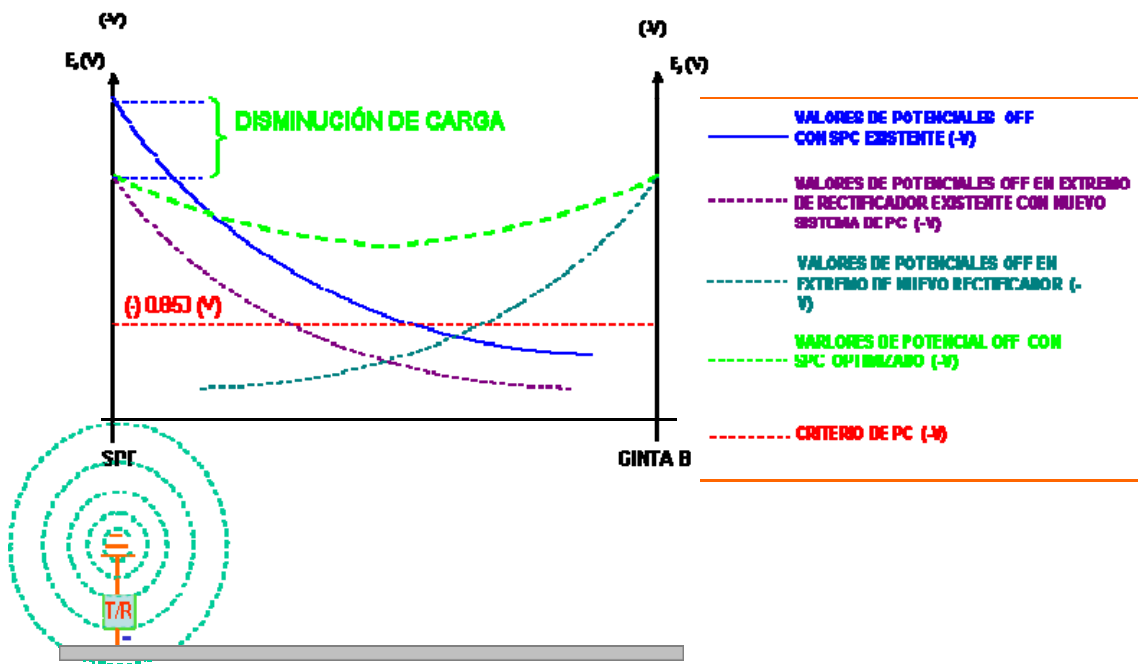
<sup>48</sup> BPD: Barriles producidos por día

# CAPITULO 7

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 CONCLUSIONES

- Mediante la optimización del sistema de protección catódica propuesto se logrará mantener un control balanceado de todos los sistemas que se instalaran e instalados anteriormente en el Bloque 16, con lo que se facilitará la operación y monitoreo de los mismos.



**Figura 7.1 Optimización del sistema de PC**

Como se puede observar mediante el SPC optimizado se logra una distribución de carga adecuada que cubre los criterios de protección catódica, sin tener a cada extremo potenciales altos que puedan causar daños en el revestimiento de las líneas.

- Mediante la implementación de los nuevos sistemas se logrará que el recubrimiento de las tuberías el cual es la principal barrera de protección suelo – estructura pueda trabajar correctamente, ya que se evitarían potenciales sumamente altos, que pueden causar un ampollamiento del mismo y disminuir la vida útil de las tuberías.

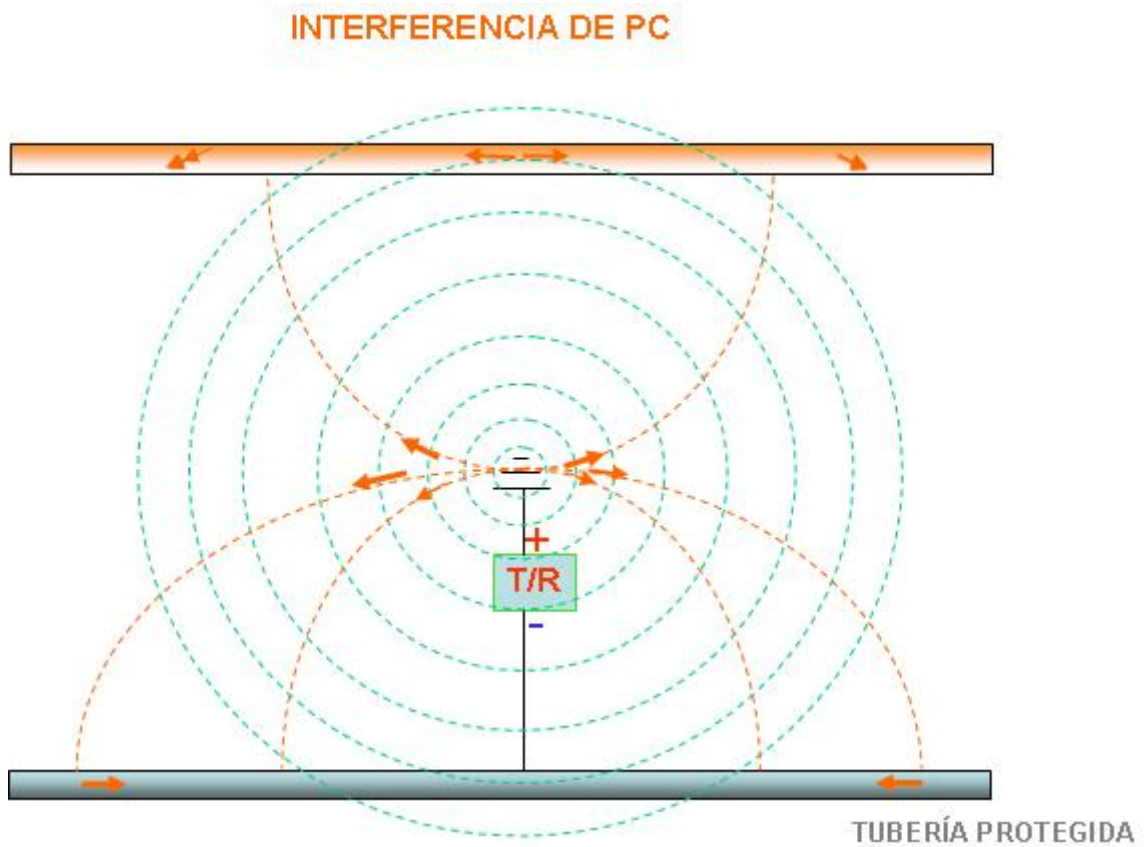


**Figura 7.2 Daño del revestimiento por exceso de corriente de PC (1)**



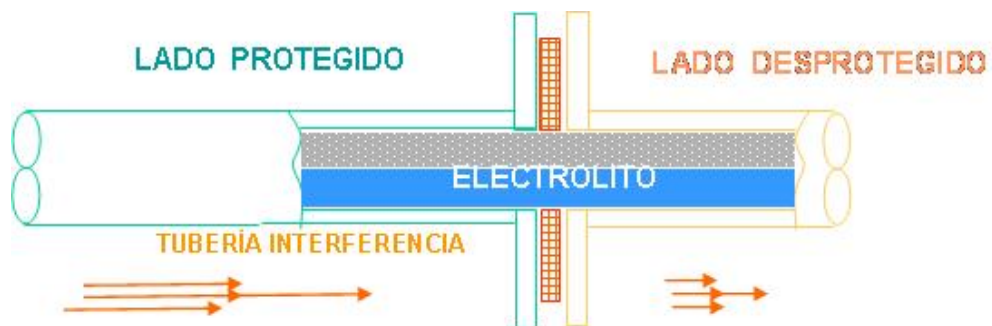
**Figura 7.3 Daño del revestimiento por exceso de corriente de PC (2)**

- Se lograrán bajar las interferencias de corriente de protección catódica con la reducción de cargas en los rectificadores.



**Figura 7.4 Interferencia de PC**

- Todos los sistemas de tuberías que transporten fluidos con una alta conductancia deben poseer juntas monolíticas o carretos internos que eviten el paso de la corriente de PC por el fluido transportado.



**Figura 7.5 Junta de aislamiento**

## 7.2 RECOMENDACIONES

- No olvidarse en futuras construcciones de oleoductos la instalación de juntas de aislamiento entre las tuberías protegidas por un sistema de protección catódica y no protegidas, con el objetivo de reducir cualquier pérdida de corriente por parte de los rectificadores, que afecte las necesidades del sistema de protección catódica.
- Contar en el Departamento de Producción e Instalaciones de Superficie de REPSOL YPF S.A. DEL ECUADOR con un especialista en corrosión, el cual pueda aportar en el diseño de nuevas líneas, ya que los problemas se podrían solucionar antes de su construcción. Esto permitiría el ahorro económico, y brindaría una buena confiabilidad para la seguridad ambiental.
- Tener el cuidado respectivo en la instalación de nuevos oleoductos ya que en la construcción de curvas, durante el doblado se puede fisurar el recubrimiento externo y posteriormente ser causa o foco de corrosión. Ver Figuras 7.6 y 7.7.



**Figura 7.6 Maquina curvadora**



**Figura 7.7 Curva fabricada en campo**

- El manipuleo de la tubería y sus accesorios debe hacerse con cuidado para evitar daños. Este cuidado debe ser extremado cuando la tubería es revestida (3LPP, FBE). La tubería no debe ser golpeada, debe evitarse de que caiga, que tope con objetos que puedan dañarla o deformarla.

Los componentes fabricados y la tubería deben ser inspeccionados y reparados si es necesario antes de instalarlos para que estos defectos luego no sean causa de corrosión localizada.



**Figura 7.8 Transporte de tubería**



**Figura 7.9 Almacenamiento de la tubería**



**Figura 7.10 Manejo de tubería**

- El ancho de la zanja debe ser suficiente para realizar una operación de bajado segura y sin dañar el revestimiento de la tubería. Cuando la línea se cruza con otras estructuras, se debe prever un espacio mínimo entre ellas de 1 pie (300 mm), pero si es de drenaje, el mínimo espacio deberá ser de 2 pulgadas (50 mm). El zanjado debe ser hecho de acuerdo a las mejores prácticas de ingeniería y se puede usar como guía la Norma API RP 1102.



**Figura 7.11 Zanjado para tubería**

- En caso de ser reparados todos los defectos en el revestimiento de las tuberías analizadas con el método DCVG (Ver Tabla 4.2 Defectos del revestimiento de tuberías mediante DCVG) que son grandes consumidores de corriente se debería monitorear los potenciales a lo largo de las tuberías para confirmar el aumento de los mismos hasta niveles aceptables y según los criterios NACE RP0169-2002, para poder cuantificar la eficiencia de los sistemas de protección catódica del Bloque 16.



## **ANEXOS**

### **ANEXO A**

## RESISTIVIDADES Y PH SOBRE LOS DDV DEL BLOQUE 16

### LÍNEAS INSPECCIONADAS

TIVACUNO - NPF

14" CRUDO Y 10" AGUA

#### Resistividades Tivacuno- NPF cada 2m

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 2m
1	00+000	2	4,7	5.906,19
2	00+500	2	2,1	2.638,94
3	1.00+00	2	2,1	2.638,94
4	1.00+500	2	9	11.309,73
5	2.00+00	2	3,2	4.021,24
6	2.00+500	2	4,3	5.403,54
7	3.00+00	2	3,5	4.398,23
8	3.00+500	2	2,5	3.141,59
9	4.00+00	2	1,7	2.136,28
10	4.00+500	2	1,5	1.884,96
11	5.00+00	2	7,7	9.676,11
12	5.00+500	2	4,3	5.403,54
13	6.00+00	2	0,65	816,81
14	6.00+500	2	1,4	1.759,29
15	7.00+00	2	4,9	6.157,52
16	7.00+500	2	4	5.026,55
17	8.00+00	2	14	17.592,92
18	8.00+500	2	13	16.336,28
19	9.00+00	2	0,7	879,65
20	9.00+500	2	2	2.513,27
21	10.00+00	2	2,1	2.638,94
22	10.00+500	2	2,2	2.764,60
23	11.00+00	2	1,5	1.884,96
24	11.00+500	2	6,5	8.168,14

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 2m
25	12.00+00	2	5	6.283,19

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

### Resistividades Tivacuno- NPF cada 5m

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 5m
1	00+000	5	1	3.141,59
2	00+500	5	0,43	1.350,88
3	1.00+00	5	0,68	2.136,28
4	1.00+500	5	0,75	2.356,19
5	2.00+00	5	0,9	2.827,43
6	2.00+500	5	0,7	2.199,11
7	3.00+00	5	1	3.141,59
8	3.00+500	5	1,3	4.084,07
9	4.00+00	5	1	3.141,59
10	4.00+500	5	0,43	1.350,88
11	5.00+00	5	2,1	6.597,34
12	5.00+500	5	2,5	7.853,98
13	6.00+00	5	0,47	1.476,55
14	6.00+500	5	0,65	2.042,04
15	7.00+00	5	2	6.283,19
16	7.00+500	5	1,1	3.455,75
17	8.00+00	5	4	12.566,37
18	8.00+500	5	4,1	12.880,53
19	9.00+00	5	0,26	816,81
20	9.00+500	5	0,7	2.199,11
21	10.00+00	5	0,7	2.199,11
22	10.00+500	5	0,9	2.827,43
23	11.00+00	5	1	3.141,59
24	11.00+500	5	1,5	4.712,39
25	12.00+00	5	2	6.283,19

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

**NPF- CAPIRON****16" CRUDO Y 14" AGUA****Resistividades NPF-Capiron**

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 2m
1	00+00	2	4,7	5.906,19
2	00+500	2	4,6	5.780,53
3	1.00+00	2	1,3	1.633,63
4	1.00+500	2	2,8	3.518,58
5	2.00+00	2	2,5	3.141,59
6	2.00+500	2	1,4	1.759,29
7	3.00+00	2	1	1.256,64
8	3.00+500	2	1,1	1.382,30
9	4.00+00	2	1,8	2.261,95
10	4.00+500	2	0,93	1.168,67
11	5.00+00	2	1,4	1.759,29
12	5.00+500	2	2,9	3.644,25
13	6.00+00	2	1,3	1.633,63
14	6.00+500	2	1,6	2.010,62
15	7.00+00	2	4,5	5.654,87
16	7.00+500	2	1,5	1.884,96
17	8.00+00	2	1	1.256,64

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

**Resistividades NPF-Capiron**

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 3m
1	00+00	3	1	1.884,96
2	00+500	3	1,8	3.392,92
3	1.00+00	3	1	1.884,96
4	1.00+500	3	1,2	2.261,95
5	2.00+00	3	0,16	301,59
6	2.00+500	3	1	1.884,96
7	3.00+00	3	0,46	867,08
8	3.00+500	3	0,6	1.130,97

9	4.00+00	3	1	1.884,96
10	4.00+500	3	0,44	829,38
11	5.00+00	3	0,55	1.036,73
12	5.00+500	3	1,6	3.015,93
13	6.00+00	3	1,2	2.261,95
14	6.00+500	3	0,7	1.319,47
15	7.00+00	3	1,9	3.581,42
16	7.00+500	3	0,73	1.376,02
17	8.00+00	3	0,62	1.168,67

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

## **CAPIRON - BOGUI**

### **14" AGUA**

#### **Resistividades Capiron – Bogi cada 2m**

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 2m
1	00+00	2	1	1.256,64
2	00+500	2	1,5	1.884,96
3	1.00+00	2	4,5	5.654,87
4	1.00+500	2	1,6	2.010,62
5	2.00+00	2	1,3	1.633,63
6	2.00+500	2	2,9	3.644,25
7	3.00+00	2	3,4	4.272,57
8	3.00+500	2	6,6	8.293,80
9	4.00+00	2	1,9	2.387,61
10	4.00+500	2	1,9	2.387,61
11	5.00+00	2	2,2	2.764,60
12	5.00+500	2	3,3	4.146,90
13	6.00+00	2	0,61	766,55
14	6.00+500	2	0,82	1.030,44
15	7.00+00	2	1,5	1.884,96
16	7.00+500	2	0,69	867,08
17	8.00+00	2	0,35	439,82

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

### Resistividades Capiron – Bogi cada 3m

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 3m
1	00+00	3	0,62	1.168,67
2	00+500	3	0,73	1.376,02
3	1.00+00	3	1,9	3.581,42
4	1.00+500	3	0,7	1.319,47
5	2.00+00	3	1,2	2.261,95
6	2.00+500	3	1,6	3.015,93
7	3.00+00	3	1,4	2.638,94
8	3.00+500	3	2,9	5.466,37
9	4.00+00	3	1,2	2.261,95
10	4.00+500	3	1,2	2.261,95
11	5.00+00	3	1,7	3.204,42
12	5.00+500	3	3	5.654,87
13	6.00+00	3	0,31	584,34
14	6.00+500	3	0,48	904,78
15	7.00+00	3	1	1.884,96
16	7.00+500	3	0,46	867,08
17	8.00+00	3	0,36	678,58

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

### GINTA B – SPF

#### 20" CRUDO

### Resistividades Ginta B – SPF cada 2m

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 2m
1	0+00	2	7,8	9.801,77
2	0+500	2	5,6	7.037,17
3	1+00	2	3,5	4.398,23
4	1+500	2	1,1	1.382,30
5	2+00	2	1,9	2.387,61
6	2+500	2	7,4	9.299,11
7	3+00	2	8,5	10.681,42
8	3+500	2	3,5	4.398,23
9	4+00	2	2,4	3.015,93

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 2m
10	4+500	2	2,2	2.764,60
11	5+00	2	5,4	6.785,84
12	5+500	2	8,1	10.178,76
13	6+00	2	4,5	5.654,87
14	6+500	2	1,2	1.507,96
15	7+00	2	3,1	3.895,57
16	7+500	2	1,6	2.010,62
17	8+00	2	1,8	2.261,95
18	8+500	2	3,8	4.775,22
19	9+00	2	5,3	6.660,18
20	9+500	2	0,85	1.068,14
21	10+00	2	4,8	6.031,86
22	10+500	2	7	8.796,46
23	11+00	2	12	15.079,64
24	11+500	2	8,9	11.184,07

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

### Resistividades Ginta B – SPF cada 3m

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 3m
1	0+00	3	3,6	6.785,84
2	0+500	3	2,4	4.523,89
3	1+00	3	2,4	4.523,89
4	1+500	3	0,73	1.376,02
5	2+00	3	1,1	2.073,45
6	2+500	3	3,4	6.408,85
7	3+00	3	2,8	5.277,88
8	3+500	3	1,7	3.204,42
9	4+00	3	1,2	2.261,95
10	4+500	3	1,3	2.450,44
11	5+00	3	2,5	4.712,39
12	5+500	3	4,2	7.916,81
13	6+00	3	2	3.769,91

14	6+500	3	1,06	1.998,05
15	7+00	3	1,7	3.204,42
16	7+500	3	1,3	2.450,44
17	8+00	3	1,08	2.035,75
18	8+500	3	2	3.769,91
19	9+00	3	2,1	3.958,41
20	9+500	3	0,57	1.074,42
21	10+00	3	3,5	6.597,34
22	10+500	3	6,7	12.629,20
23	11+00	3	11	20.734,51
24	11+500	3	4,8	9.047,79

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

### SPF – “Y” IRO

#### 16" CRUDO & 18" AGUA

#### Resistividades SPF-“Y” IRO

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm – cm.) 2m
1	00+000	2	8,9	11.184,07
2	00+500	2	46	57.805,30
3	1.00+00	2	30,5	38.327,43
4	1.00+500	2	21	26.389,38
5	2.00+00	2	9,85	12.377,88
6	2.00+500	2	3	3.769,91
7	3.00+00	2	2,4	3.015,93
8	3.00+500	2	4,45	5.592,03
9	4.00+00	2	9,5	11.938,05
10	4.00+500	2	7,6	9.550,44
11	5.00+00	2	5,25	6.597,34
12	5.00+500	2	9,1	11.435,40
13	6.00+00	2	1,85	2.324,78
14	6.00+500	2	3,05	3.832,74
15	7.00+00	2	7,9	9.927,43
16	7.00+500	2	18	22.619,47



Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm – cm.) 2m
17	8.00+00	2	4,95	6.220,35
18	8.00+500	2	19	23.876,10
19	9.00+00	2	4,95	6.220,35

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

### Resistividades SPF-“Y” IRO

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm – cm.) 2.5m
1	00+000	2,5	4,8	7.539,82
2	00+500	2,5	43	67.544,24
3	1.00+00	2,5	19	29.845,13
4	1.00+500	2,5	18	28.274,33
5	2.00+00	2,5	5,7	8.953,54
6	2.00+500	2,5	1	1.570,80
7	3.00+00	2,5	1,4	2.199,11
8	3.00+500	2,5	2,2	3.455,75
9	4.00+00	2,5	5	7.853,98
10	4.00+500	2,5	3,2	5.026,55
11	5.00+00	2,5	3,1	4.869,47
12	5.00+500	2,5	6,2	9.738,94
13	6.00+00	2,5	0,8	1.256,64
14	6.00+500	2,5	2,7	4.241,15
15	7.00+00	2,5	4,8	7.539,82
16	7.00+500	2,5	14	21.991,15
17	8.00+00	2,5	2,9	4.555,31
18	8.00+500	2,5	9	14.137,17
19	9.00+00	2,5	3,8	5.969,03

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

### Y IRO -IRO A

#### 16" CRUDO

### Resistividades Y IRO -IRO A cada 2m

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 2m
1	00+000	2	5,4	6.785,84
2	00+500	2	2,2	2.764,60

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 2m
3	1.00+00	2	1,7	2.136,28
4	1.00+500	2	8,1	10.178,76
5	2.00+00	2	2	2.513,27
6	2.00+500	2	0,35	439,82
7	3.00+00	2	1,7	2.136,28
8	3.00+500	2	2,1	2.638,94
9	4.00+00	2	4	5.026,55
10	4.00+500	2	0,72	904,78

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

### Resistividades Y IRO -IRO A cada 3m

Item	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 3m
1	00+000	3	2,5	4.712,39
2	00+500	3	1,7	3.204,42
3	1.00+00	3	1,3	2.450,44
4	1.00+500	3	4,6	8.670,80
5	2.00+00	3	1,3	2.450,44
6	2.00+500	3	0,21	395,84
7	3.00+00	3	1,1	2.073,45
8	3.00+500	3	1,3	2.450,44
9	4.00+00	3	1,5	2.827,43
10	4.00+500	3	0,31	584,34

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

### SPF - AMO A

#### 20" CRUDO

### Resistividades SPF-AMO A cada 2m

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 2m
1	0+00	2	4,5	5.654,87
2	0+500	2	1	1.256,64
3	1+00	2	2,5	3.141,59
4	1+500	2	3,3	4.146,90
5	2+00	2	2,6	3.267,26
6	2+500	2	6,4	8.042,48
7	3+00	2	1,7	2.136,28
8	3+500	2	1,2	1.507,96

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 2m
9	4+00	2	11	13.823,01
10	4+500	2	9,9	12.440,71
11	5+00	2	3	3.769,91
12	5+500	2	1,9	2.387,61
13	6+00	2	1,1	1.382,30
14	6+500	2	2,4	3.015,93
15	7+00	2	2,2	2.764,60
16	7+500	2	2,7	3.392,92
17	8+00	2	1,2	1.507,96
18	8+500	2	5,7	7.162,83
19	9+00	2	3,5	4.398,23
20	9+500	2	1,6	2.010,62
21	10+00	2	1,4	1.759,29
22	10+500	2	3,5	4.398,23
23	11+00	2	1,3	1.633,63
24	11+500	2	15	18.849,56
25	12+00	2	5,8	7.288,49
26	12+500	2	23	28.902,65
27	13+500	2	8,9	11.184,07

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

### Resistividades SPF-AMO A cada 3m

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 3m
1	0+00	3	2,1	3.958,41
2	0+500	3	0,58	1.093,27
3	1+00	3	1,4	2.638,94
4	1+500	3	2	3.769,91
5	2+00	3	1,3	2.450,44
6	2+500	3	3,4	6.408,85
7	3+00	3	1,2	2.261,95
8	3+500	3	0,74	1.394,87
9	4+00	3	4	7.539,82
10	4+500	3	4,5	8.482,30
11	5+00	3	3,1	5.843,36
12	5+500	3	1,4	2.638,94

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 3m
13	6+00	3	1	1.884,96
14	6+500	3	1,6	3.015,93
15	7+00	3	1,1	2.073,45
16	7+500	3	1,8	3.392,92
17	8+00	3	0,58	1.093,27
18	8+500	3	2,9	5.466,37
19	9+00	3	2,7	5.089,38
20	9+500	3	1,1	2.073,45
21	10+00	3	0,46	867,08
22	10+500	3	1,5	2.827,43
23	11+00	3	0,82	1.545,66
24	11+500	3	8,3	15.645,13
25	12+00	3	3,1	5.843,36
26	12+500	3	12	22.619,47
27	13+500	3	4,8	9.047,79

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

## AMO A – NPF

### 16" CRUDO

#### Resistividades AMO- NPF cada 2m

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 2m
1	0+00	2	4,5	5.654,87
2	0+500	2	2,8	3.518,58
3	1+00	2	5,3	6.660,18
4	1+500	2	4,5	5.654,87
5	2+00	2	2,8	3.518,58
6	2+500	2	4,6	5.780,53
7	3+00	2	7,5	9.424,78
8	3+500	2	4,3	5.403,54
9	4+00	2	1,08	1.357,17
10	4+500	2	0,58	728,85
11	5+00	2	2,7	3.392,92
12	5+500	2	8	10.053,10
13	6+00	2	4,6	5.780,53
14	6+500	2	5,2	6.534,51

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 2m
15	7+00	2	4	5.026,55
16	7+500	2	0,96	1.206,37
17	8+00	2	4,8	6.031,86
18	8+500	2	4,2	5.277,88
19	9+00	2	1,8	2.261,95
20	9+500	2	5,6	7.037,17
21	10+00	2	2,1	2.638,94
22	10+500	2	3,2	4.021,24
23	11+00	2	2,4	3.015,93
24	11+500	2	2,6	3.267,26
25	12+00	2	2,8	3.518,58
26	12+500	2	0,62	779,11
27	13+00	2	3,7	4.649,56
28	13+500	2	1,8	2.261,95
29	14+000	2	0,88	1.105,84
30	14+500	2	3,7	4.649,56
31	15+00	2	2,2	2.764,60
32	15+500	2	1,8	2.261,95
33	16+00	2	1,9	2.387,61
34	16+500	2	3,2	4.021,24
35	17+00	2	0,66	829,38
36	17+500	2	1	1.256,64
37	18+00	2	0,48	603,19
38	18+500	2	1	1.256,64
39	19+00	2	2,1	2.638,94
40	19+500	2	4,8	6.031,86
41	20+00	2	3,6	4.523,89
42	20+500	2	1,7	2.136,28
43	21+00	2	3,9	4.900,88
44	21+500	2	1,1	1.382,30
45	22+00	2	16	20.106,19
46	22+500	2	4,3	5.403,54
47	23+00	2	4,2	5.277,88
48	23+500	2	9,2	11.561,06

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 2m
49	24+00	2	5,1	6.408,85
50	24+500	2	2,5	3.141,59
51	25+00	2	7,8	9.801,77
52	25+500	2	1,2	1.507,96
53	26+00	2	1,6	2.010,62
54	26+500	2	2,6	3.267,26
55	27+00	2	1,4	1.759,29
56	27+500	2	0,77	967,61
57	28+00	2	0,58	728,85
58	28+500	2	0,36	452,39
59	29+00	2	1,6	2.010,62
60	29+500	2	0,41	515,22
61	30+00	2	1,8	2.261,95
62	30+500	2	1,6	2.010,62
63	31+00	2	8,9	11.184,07
64	31+500	2	9,2	11.561,06
65	32+00	2	2,4	3.015,93
66	32+500	2	2	2.513,27
67	33+00	2	2,5	3.141,59
68	33+500	2	2,1	2.638,94
69	34+00	2	2,8	3.518,58
70	34+500	2	4	5.026,55
71	35+00	2	3,5	4.398,23
72	35+500	2	3,5	4.398,23
73	36+00	2	2,6	3.267,26
74	36+500	2	2,8	3.518,58
75	37+00	2	3,2	4.021,24
76	37+500	2	2,9	3.644,25
77	38+00	2	3,8	4.775,22
78	38+500	2	2	2.513,27
79	39+00	2	2,1	2.638,94
80	39+500	2	2,4	3.015,93
81	40+00	2	3,2	4.021,24
82	40+500	2	4,4	5.529,20

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 2m
83	41+00	2	2,8	3.518,58
84	41+500	2	3,1	3.895,57
85	42+00	2	2,5	3.141,59
86	42+500	2	2,3	2.890,27
87	43+00	2	2,6	3.267,26
88	43+500	2	2,4	3.015,93
89	44+00	2	3,2	4.021,24
90	44+500	2	1,5	1.884,96
91	45+00	2	0,82	1.030,44
92	45+500	2	0,61	766,55
93	46+00	2	3,3	4.146,90
94	46+500	2	2,2	2.764,60
95	47+00	2	1,9	2.387,61
96	47+500	2	1,9	2.387,61
97	48+00	2	6,6	8.293,80
98	48+500	2	3,4	4.272,57
99	49+00	2	0,93	1.168,67
100	49+500	2	1,8	2.261,95
101	50+00	2	1,1	1.382,30
102	50+500	2	1	1.256,64
103	51+00	2	1,4	1.759,29
104	51+500	2	2,5	3.141,59
105	52+00	2	2,8	3.518,58
106	52+500	2	1,3	1.633,63
107	53+00	2	4,6	5.780,53
108	53+500	2	4,7	5.906,19

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

### Resistividades AMO- NPF cada 3m

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 3m
1	0+00	3	2,1	3.958,41
2	0+500	3	1,7	3.204,42
3	1+00	3	2,1	3.958,41
4	1+500	3	2,6	4.900,88
5	2+00	3	1,8	3.392,92

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 3m
6	2+500	3	3,5	6.597,34
7	3+00	3	2,8	5.277,88
8	3+500	3	2	3.769,91
9	4+00	3	0,65	1.225,22
10	4+500	3	0,38	716,28
11	5+00	3	1,7	3.204,42
12	5+500	3	3,8	7.162,83
13	6+00	3	1,7	3.204,42
14	6+500	3	2,3	4.335,40
15	7+00	3	1,5	2.827,43
16	7+500	3	0,69	1.300,62
17	8+00	3	2,8	5.277,88
18	8+500	3	3,5	6.597,34
19	9+00	3	1	1.884,96
20	9+500	3	2,1	3.958,41
21	10+00	3	1,2	2.261,95
22	10+500	3	1,4	2.638,94
23	11+00	3	1,1	2.073,45
24	11+500	3	1,3	2.450,44
25	12+00	3	1,5	2.827,43
26	12+500	3	0,33	622,04
27	13+00	3	2,9	5.466,37
28	13+500	3	1,1	2.073,45
29	14+000	3	0,52	980,18
30	14+500	3	2,2	4.146,90
31	15+00	3	1,2	2.261,95
32	15+500	3	1,3	2.450,44
33	16+00	3	0,95	1.790,71
34	16+500	3	1,9	3.581,42
35	17+00	3	0,42	791,68
36	17+500	3	0,53	999,03
37	18+00	3	0,3	565,49
38	18+500	3	0,65	1.225,22
39	19+00	3	0,8	1.507,96



Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 3m
40	19+500	3	3	5.654,87
41	20+00	3	2,4	4.523,89
42	20+500	3	1	1.884,96
43	21+00	3	2,8	5.277,88
44	21+500	3	0,78	1.470,27
45	22+00	3	4	7.539,82
46	22+500	3	4	7.539,82
47	23+00	3	2,2	4.146,90
48	23+500	3	3,9	7.351,33
49	24+00	3	3,2	6.031,86
50	24+500	3	1,7	3.204,42
51	25+00	3	2,8	5.277,88
52	25+500	3	1	1.884,96
53	26+00	3	0,87	1.639,91
54	26+500	3	1,1	2.073,45
55	27+00	3	0,8	1.507,96
56	27+500	3	0,32	603,19
57	28+00	3	0,52	980,18
58	28+500	3	0,27	508,94
59	29+00	3	0,92	1.734,16
60	29+500	3	0,37	697,43
61	30+00	3	1,2	2.261,95
62	30+500	3	0,71	1.338,32
63	31+00	3	6,1	11.498,23
64	31+500	3	3,9	7.351,33
65	32+00	3	1,2	2.261,95
66	32+500	3	1,4	2.638,94
67	33+00	3	1,2	2.261,95
68	33+500	3	1	1.884,96
69	34+00	3	1,7	3.204,42
70	34+500	3	2,2	4.146,90
71	35+00	3	2,3	4.335,40
72	35+500	3	1,8	3.392,92
73	36+00	3	1,3	2.450,44

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 3m
74	36+500	3	1,6	3.015,93
75	37+00	3	2,2	4.146,90
76	37+500	3	2	3.769,91
77	38+00	3	2,6	4.900,88
78	38+500	3	1,2	2.261,95
79	39+00	3	1	1.884,96
80	39+500	3	1,7	3.204,42
81	40+00	3	2,2	4.146,90
82	40+500	3	2,4	4.523,89
83	41+00	3	1,4	2.638,94
84	41+500	3	2,4	4.523,89
85	42+00	3	1,6	3.015,93
86	42+500	3	1,4	2.638,94
87	43+00	3	1,3	2.450,44
88	43+500	3	1,5	2.827,43
89	44+00	3	2,1	3.958,41
90	44+500	3	1	1.884,96
91	45+00	3	0,48	904,78
92	45+500	3	0,31	584,34
93	46+00	3	3	5.654,87
94	46+500	3	1,7	3.204,42
95	47+00	3	1,2	2.261,95
96	47+500	3	1,2	2.261,95
97	48+00	3	2,9	5.466,37
98	48+500	3	1,4	2.638,94
99	49+00	3	0,44	829,38
100	49+500	3	1	1.884,96
101	50+00	3	0,6	1.130,97
102	50+500	3	0,46	867,08
103	51+00	3	1	1.884,96
104	51+500	3	0,16	301,59
105	52+00	3	1,2	2.261,95
106	52+500	3	1	1.884,96
107	53+00	3	1,8	3.392,92

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 3m
108	53+500	3	1	1.884,96

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

## **NPF - POMPEYA**

### **16" CRUDO**

#### **Resistividades NPF-POMPEYA cada 2m**

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 2m
1	00+00	2	4,7	5.906,19
2	00+500	2	4,6	5.780,53
3	1.00+00	2	1,3	1.633,63
4	1.00+500	2	2,8	3.518,58
5	2.00+00	2	2,5	3.141,59
6	2.00+500	2	3,5	4.398,23
7	3.00+00	2	5,2	6.534,51
8	3.00+500	2	1,5	1.884,96
9	4.00+00	2	6,5	8.168,14
10	4.00+500	2	1,2	1.507,96
11	5.00+00	2	4,5	5.654,87
12	5.00+500	2	1,7	2.136,28
13	6.00+00	2	6,6	8.293,80
14	6.00+500	2	0,57	716,28
15	7.00+00	2	3,5	4.398,23
16	7.00+500	2	3,6	4.523,89
17	8.00+00	2	2,3	2.890,27
18	8.00+500	2	0,63	791,68
19	9.00+00	2	28	35.185,84
20	9.00+500	2	2,2	2.764,60
21	10.00+00	2	3	3.769,91
22	10.00+500	2	0,56	703,72
23	11.00+00	2	1,2	1.507,96
24	11.00+500	2	1,5	1.884,96
25	12.00+00	2	7,1	8.922,12
26	12.00+500	2	1,8	2.261,95
27	13.00+00	2	0,91	1.143,54
28	13.00+500	2	1,4	1.759,29

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 2m
29	14.00+00	2	2	2.513,27
30	14.00+500	2	1,3	1.633,63
31	15.00+00	2	1,1	1.382,30
32	15.00+500	2	0,96	1.206,37
33	16.00+00	2	1,2	1.507,96
34	16.00+500	2	0,33	414,69
35	17.00+00	2	0,66	829,38
36	17.00+500	2	3,65	4.586,73
37	18.00+00	2	11,35	14.262,83
38	18.00+500	2	9,5	11.938,05
39	19.00+00	2	4,65	5.843,36
40	19.00+500	2	15	18.849,56
41	20.00+00	2	11	13.823,01
42	20.00+500	2	7	8.796,46
43	21.00+00	2	36	45.238,93
44	21.00+500	2	4,5	5.654,87
45	22.00+00	2	5,3	6.660,18
46	22.00+500	2	8,4	10.555,75
47	23.00+00	2	3,3	4.146,90
48	23.00+500	2	1,1	1.382,30
49	24.00+00	2	0,7	879,65
50	24.00+500	2	0,87	1.093,27
51	25.00+00	2	2,8	3.518,58
52	25.00+500	2	0,5	628,32
53	26.00+00	2	22	27.646,02
54	26.00+500	2	47	59.061,94
55	27.00+00	2	2,4	3.015,93
56	27.00+500	2	25	31.415,93
57	28.00+00	2	9,5	11.938,05
58	28.00+500	2	3,1	3.895,57
59	29.00+00	2	14	17.592,92
60	29.00+500	2	14	17.592,92
61	30.00+00	2	25	31.415,93
62	30.00+500	2	8,9	11.184,07

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 2m
63	31.00+00	2	3,3	4.146,90
64	31.00+500	2	4,8	6.031,86
65	32.00+00	2	5,1	6.408,85
66	32.00+500	2	5	6.283,19
67	33.00+00	2	3,6	4.523,89
68	33.00+500	2	8,5	10.681,42
69	34.00+00	2	3,2	4.021,24
70	34.00+500	2	11	13.823,01
71	35.00+00	2	4,9	6.157,52
72	35.00+500	2	2,3	2.890,27
73	36.00+00	2	3,6	4.523,89
74	36.00+500	2	2,8	3.518,58
75	37.00+00	2	1,9	2.387,61
76	37.00+500	2	2,8	3.518,58
77	38.00+00	2	4,2	5.277,88
78	38.00+500	2	2,6	3.267,26
79	39.00+00	2	5,2	6.534,51
80	39.00+500	2	1,4	1.759,29
81	40.00+00	2	2,7	3.392,92
82	40.00+500	2	2,3	2.890,27
83	41.00+00	2	2,4	3.015,93
84	41.00+500	2	2,3	2.890,27

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

### Resistividades NPF-POMPEYA cada 3m

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 3m
1	00+00	3	1	1.884,96
2	00+500	3	1,8	3.392,92
3	1.00+00	3	1	1.884,96
4	1.00+500	3	1,2	2.261,95
5	2.00+00	3	0,16	301,59
6	2.00+500	3	2,2	4.146,90
7	3.00+00	3	2,4	4.523,89
8	3.00+500	3	0,71	1.338,32

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 3m
9	4.00+00	3	4,1	7.728,32
10	4.00+500	3	0,5	942,48
11	5.00+00	3	4,3	8.105,31
12	5.00+500	3	1,5	2.827,43
13	6.00+00	3	4	7.539,82
14	6.00+500	3	0,36	678,58
15	7.00+00	3	1,8	3.392,92
16	7.00+500	3	2,5	4.712,39
17	8.00+00	3	1,9	3.581,42
18	8.00+500	3	0,47	885,93
19	9.00+00	3	15	28.274,33
20	9.00+500	3	1	1.884,96
21	10.00+00	3	1,6	3.015,93
22	10.00+500	3	0,34	640,88
23	11.00+00	3	1	1.884,96
24	11.00+500	3	1,2	2.261,95
25	12.00+00	3	4,2	7.916,81
26	12.00+500	3	1,1	2.073,45
27	13.00+00	3	0,6	1.130,97
28	13.00+500	3	1,1	2.073,45
29	14.00+00	3	1,1	2.073,45
30	14.00+500	3	0,91	1.715,31
31	15.00+00	3	0,66	1.244,07
32	15.00+500	3	0,7	1.319,47
33	16.00+00	3	0,7	1.319,47
34	16.00+500	3	0,25	471,24
35	17.00+00	3	0,41	772,83
36	17.00+500	3	1,81	3.411,77
37	18.00+00	3	6,3	11.875,22
38	18.00+500	3	4,7	8.859,29
39	19.00+00	3	2,6	4.900,88
40	19.00+500	3	6,7	12.629,20
41	20.00+00	3	5	9.424,78
42	20.00+500	3	3,9	7.351,33

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 3m
43	21.00+00	3	17	32.044,25
44	21.00+500	3	2,3	4.335,40
45	22.00+00	3	2,8	5.277,88
46	22.00+500	3	4,8	9.047,79
47	23.00+00	3	2,3	4.335,40
48	23.00+500	3	1,74	3.279,82
49	24.00+00	3	0,46	867,08
50	24.00+500	3	0,58	1.093,27
51	25.00+00	3	1,8	3.392,92
52	25.00+500	3	0,28	527,79
53	26.00+00	3	13	24.504,42
54	26.00+500	3	25	47.123,89
55	27.00+00	3	1,5	2.827,43
56	27.00+500	3	16	30.159,29
57	28.00+00	3	6,8	12.817,70
58	28.00+500	3	2,5	4.712,39
59	29.00+00	3	13	24.504,42
60	29.00+500	3	9	16.964,60
61	30.00+00	3	17	32.044,25
62	30.00+500	3	9,2	17.341,59
63	31.00+00	3	4	7.539,82
64	31.00+500	3	3	5.654,87
65	32.00+00	3	4,5	8.482,30
66	32.00+500	3	3,6	6.785,84
67	33.00+00	3	3,4	6.408,85
68	33.00+500	3	5,2	9.801,77
69	34.00+00	3	1,7	3.204,42
70	34.00+500	3	4,7	8.859,29
71	35.00+00	3	2,6	4.900,88
72	35.00+500	3	1,5	2.827,43
73	36.00+00	3	1,9	3.581,42
74	36.00+500	3	1,6	3.015,93
75	37.00+00	3	1	1.884,96
76	37.00+500	3	1,7	3.204,42

Ítem	Distancia	Espacio Pins (m)	R (ohm)	$\rho$ (ohm - cm.) 3m
77	38.00+00	3	2,5	4.712,39
78	38.00+500	3	1,5	2.827,43
79	39.00+00	3	4	7.539,82
80	39.00+500	3	1	1.884,96
81	40.00+00	3	1,1	2.073,45
82	40.00+500	3	1,2	2.261,95
83	41.00+00	3	1,6	3.015,93
84	41.00+500	3	1,7	3.204,42

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

## MEDICIÓN DE PH EN LOS DERECHOS DE VÍA DEL BLOQUE 16

### LÍNEAS INSPECCIONADAS

**TIVACUNO – NPF**

**14" CRUDO y 10" AGUA**

**Resultados pH TIVACUNO – NPF**

Ítem	Distancia	Potencial (mV)	Grado ON pH
1	00+000	354,00	4,6
2	00+500	332,00	4,2
3	1.00+00	335,00	4,3
4	1.00+500	368,00	4,9
5	2.00+00	360,00	4,7
6	2.00+500	393,00	5,3
7	3.00+00	420,00	5,8
8	3.00+500	376,00	5,0
9	4.00+00	377,00	5,1
10	4.00+500	346,00	4,5
11	5.00+00	385,00	5,2
12	5.00+500	378,00	5,1
13	6.00+00	370,00	4,9
14	6.00+500	336,00	4,3
15	7.00+00	287,00	3,4
16	7.00+500	350,00	4,6
17	8.00+00	295,00	3,6
18	8.00+500	432,00	6,1



Ítem	Distancia	Potencial (mV)	Grado ON pH
19	9.00+00	385,00	5,2
20	9.00+500	335,00	4,3
21	10.00+00	315,00	3,9
22	10.00+500	280,00	3,3
23	11.00+00	385,00	5,2
24	11.00+500	350,00	4,6
25	12.00+00	463,00	6,6

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

### **NPF – CAPIRON**

### **16" CRUDO & 14" AGUA**

### **Resultados pH. NPF – CAPIRON**

Ítem	Distancia	Potencial (mV)	Grado ON de pH
1	00+00	405,00	5,6
2	00+500	350,00	4,6
3	1.00+00	771,00	12,3
4	1.00+500	447,00	6,3
5	2.00+00	404,00	5,5
6	2.00+500	415,00	5,7
7	3.00+00	360,00	4,7
8	3.00+500	450,00	6,4
9	4.00+00	515,00	7,6
10	4.00+500	410,00	5,7
11	5.00+00	416,00	5,8
12	5.00+500	433,00	6,1
13	6.00+00	385,00	5,2
14	6.00+500	313,00	3,9
15	7.00+00	420,00	5,8
16	7.00+500	400,00	5,5
17	8.00+00	354,00	4,6

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

**CAPIRON – BOGUI****14" AGUA****Resultados pH CAPIRON – BOGUI**

Ítem	Distancia	Potencial (mV)	Grado ON de pH
1	00+00	400,00	5,5
2	00+500	420,00	5,8
3	1.00+00	313,00	3,9
4	1.00+500	385,00	5,2
5	2.00+00	433,00	6,1
6	2.00+500	416,00	5,8
7	3.00+00	310,00	3,8
8	3.00+500	355,00	4,7
9	4.00+00	330,00	4,2
10	4.00+500	360,00	4,7
11	5.00+00	330,00	4,2
12	5.00+500	345,00	4,5
13	6.00+00	375,00	5,0
14	6.00+500	375,00	5,0
15	7.00+00	316,00	3,9
16	7.00+500	388,00	5,3
17	8.00+00	427,00	6,0

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

**GINTA B – SPF****20" CRUDO****Resultados ph GINTA B – SPF**

Ítem	Distancia	Potencial (mV)	Grado ON de pH
1	0+00	298,00	3,6
2	0+500	385,00	5,2
3	1+00	315,00	3,9
4	1+500	380,00	5,1
5	2+00	320,00	4,0
6	2+500	302,00	3,7
7	3+00	286,00	3,4
8	3+500	307,00	3,8
9	4+00	294,00	3,5

10	4+500	296,00	3,6
11	5+00	305,00	3,7
12	5+500	328,00	4,2
13	6+00	302,00	3,7
14	6+500	324,00	4,1
15	7+00	290,00	3,5
16	7+500	330,00	4,2
17	8+00	334,00	4,3
18	8+500	305,00	3,7
19	9+00	320,00	4,0
20	9+500	310,00	3,8
21	10+00	324,00	4,1
22	10+500	285,00	3,4
23	11+00	316,00	3,9
24	11+500	374,00	5,0

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

### **SPF – “Y” IRO**

### **16" CRUDO & 18" AGUA**

### **Resultados de pH SPF – “Y” IRO**

Ítem	Distancia	Potencial (mV)	Grado ON de pH
1	00+000	374,09	5,0
2	00+500	346,77	4,5
3	1.00+00	335,84	4,3
4	1.00+500	346,77	4,5
5	2.00+00	319,44	4,0
6	2.00+500	341,30	4,4
7	3.00+00	374,09	5,0
8	3.00+500	346,77	4,5
9	4.00+00	352,23	4,6
10	4.00+500	319,44	4,0
11	5.00+00	313,98	3,9
12	5.00+500	335,84	4,3
13	6.00+00	308,51	3,8
14	6.00+500	472,45	6,8
15	7.00+00	412,34	5,7

16	7.00+500	374,09	5,0
17	8.00+00	319,44	4,0
18	8.00+500	374,09	5,0
19	9.00+00	346,77	4,5

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

## Y IRO -IRO A

### 16" CRUDO

#### Resultados de pH Y IRO -IRO A

Ítem	Distancia	Potencial (mV)	Grado ON de pH
1	00+000	326,00	4,1
2	00+500	324,00	4,1
3	1.00+00	385,00	5,2
4	1.00+500	356,00	4,7
5	2.00+00	326,00	4,1
6	2.00+500	345,00	4,5
7	3.00+00	342,00	4,4
8	3.00+500	385,00	5,2
9	4.00+00	367,00	4,9
10	4.00+500	340,00	4,4

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

## SPF - AMO A

### 20" CRUDO

#### Resultados de pH SPF-AMO A

Ítem	Distancia	Potencial (mV)	Grado ON de pH
1	0+00	328	4,2
2	0+500	330	4,2
3	1+00	317	4,0
4	1+500	307	3,8
5	2+00	341	4,4
6	2+500	377	5,1
7	3+00	348	4,5
8	3+500	354	4,6
9	4+00	312	3,9
10	4+500	306	3,8
11	5+00	314	3,9

12	5+500	332	4,2
13	6+00	301	3,7
14	6+500	314	3,9
15	7+00	374	5,0
16	7+500	282	3,3
17	8+00	294	3,5
18	8+500	323	4,1
19	9+00	372	5,0
20	9+500	366	4,9
21	10+00	334	4,3
22	10+500	365	4,8
23	11+00	344	4,4
24	11+500	350	4,6
25	12+00	356	4,7
26	12+500	354	4,63
27	13+500	374	5,00

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

### **AMO A - NPF**

#### **16" CRUDO**

#### **Resultados de pH AMO A - NPF**

Ítem	Distancia	Potencial (mV)	Grade ON de pH
1	0+00	328,00	4,2
2	0+500	310,00	3,8
3	1+00	287,00	3,4
4	1+500	285,00	3,4
5	2+00	322,00	4,0
6	2+500	326,00	4,1
7	3+00	332,00	4,2
8	3+500	318,00	4,0
9	4+00	360,00	4,7
10	4+500	326,00	4,1
11	5+00	380,00	5,1
12	5+500	316,00	3,9
13	6+00	338,00	4,3
14	6+500	325,00	4,1

Ítem	Distancia	Potencial (mV)	Grade ON de pH
15	7+00	365,00	4,8
16	7+500	390,00	5,3
17	8+00	326,00	4,1
18	8+500	344,00	4,4
19	9+00	325,00	4,1
20	9+500	360,00	4,7
21	10+00	343,00	4,4
22	10+500	325,00	4,1
23	11+00	396,00	5,40
24	11+500	372,00	4,96
25	12+00	396,00	5,40
26	12+500	418,00	5,80
27	13+00	270,00	3,10
28	13+500	310,00	3,83
29	14+000	330,00	4,19
30	14+500	330,00	4,19
31	15+00	383,00	5,16
32	15+500	315,00	3,92
33	16+00	312,00	3,86
34	16+500	320,00	4,01
35	17+00	384,00	5,18
36	17+500	356,00	4,67
37	18+00	366,00	4,85
38	18+500	400,00	5,47
39	19+00	345,00	4,47
40	19+500	350,00	4,56
41	20+00	350,00	4,56
42	20+500	335,00	4,28
43	21+00	338,00	4,34
44	21+500	349,00	4,54
45	22+00	300,00	3,64
46	22+500	308,00	3,79
47	23+00	350,00	4,56
48	23+500	270,00	3,10

Ítem	Distancia	Potencial (mV)	Grade ON de pH
49	24+00	298,00	3,61
50	24+500	330,00	4,19
51	25+00	360,00	4,74
52	25+500	342,00	4,41
53	26+00	350,00	4,56
54	26+500	350,00	4,56
55	27+00	305,00	3,74
56	27+500	370,00	4,93
57	28+00	315,00	3,92
58	28+500	395,00	5,38
59	29+00	325,00	4,10
60	29+500	430,00	6,02
61	30+00	325,00	4,10
62	30+500	405,00	5,57
63	31+00	305,00	3,74
64	31+500	298,00	3,61
65	32+00	308,00	3,79
66	32+500	350,00	4,56
67	33+00	305,00	3,74
68	33+500	344,00	4,45
69	34+00	326,00	4,12
70	34+500	362,00	4,78
71	35+00	351,00	4,58
72	35+500	380,00	5,11
73	36+00	365,00	4,83
74	36+500	392,00	5,33
75	37+00	386,00	5,22
76	37+500	346,00	4,49
77	38+00	332,00	4,23
78	38+500	362,00	4,78
79	39+00	350,00	4,56
80	39+500	386,00	5,22
81	40+00	354,00	4,63
82	40+500	368,00	4,89

Ítem	Distancia	Potencial (mV)	Grade ON de pH
83	41+00	356,00	4,67
84	41+500	348,00	4,52
85	42+00	376,00	5,04
86	42+500	350,00	4,56
87	43+00	402,00	5,51
88	43+500	413,00	5,71
89	44+00	403,00	5,53
90	44+500	316,00	3,9
91	45+00	375,00	5,0
92	45+500	375,00	5,0
93	46+00	345,00	4,5
94	46+500	330,00	4,2
95	47+00	360,00	4,7
96	47+500	330,00	4,2
97	48+00	355,00	4,7
98	48+500	310,00	3,8
99	49+00	410,00	5,7
100	49+500	515,00	7,6
101	50+00	450,00	6,4
102	50+500	360,00	4,7
103	51+00	415,00	5,7
104	51+500	404,00	5,5
105	52+00	447,00	6,3
106	52+500	771,00	12,3
107	53+00	350,00	4,6
108	53+500	405,00	5,6

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

### **NPF - POMPEYA**

### **16" CRUDO**

#### **Resultados de pH NPF - POMPEYA**

Ítem	Distancia	Potencial (mV)	Grado ON de pH
1	00+00	405,00	5,6
2	00+500	350,00	4,6
3	1.00+00	771,00	12,3



Ítem	Distancia	Potencial (mV)	Grado ON de pH
4	1.00+500	447,00	6,3
5	2.00+00	404,00	5,5
6	2.00+500	435,00	6,1
7	3.00+00	354,00	4,6
8	3.00+500	347,00	4,5
9	4.00+00	328,00	4,2
10	4.00+500	358,00	4,7
11	5.00+00	297,00	3,6
12	5.00+500	407,00	5,6
13	6.00+00	326,00	4,1
14	6.00+500	370,00	4,9
15	7.00+00	322,00	4,0
16	7.00+500	366,00	4,9
17	8.00+00	424,00	5,9
18	8.00+500	474,00	6,8
19	9.00+00	390,00	5,3
20	9.00+500	345,00	4,5
21	10.00+00	391,00	5,3
22	10.00+500	364,00	4,8
23	11.00+00	330,00	4,2
24	11.00+500	388,00	5,3
25	12.00+00	367,00	4,9
26	12.00+500	389,00	5,27
27	13.00+00	405,00	5,57
28	13.00+500	348,00	4,52
29	14.00+00	330,00	4,19
30	14.00+500	303,00	3,70
31	15.00+00	350,00	4,56
32	15.00+500	384,00	5,18
33	16.00+00	389,00	5,27
34	16.00+500	376,00	5,04
35	17.00+00	445,00	6,30
36	17.00+500	326,00	4,12
37	18.00+00	386,00	5,22

Ítem	Distancia	Potencial (mV)	Grado ON de pH
38	18.00+500	308,00	3,79
39	19.00+00	296,00	3,57
40	19.00+500	338,00	4,34
41	20.00+00	330,00	4,19
42	20.00+500	299,00	3,63
43	21.00+00	314,00	3,90
44	21.00+500	326,00	4,12
45	22.00+00	311,00	3,85
46	22.00+500	323,00	4,07
47	23.00+00	392,00	5,33
48	23.00+500	419,00	5,82
49	24.00+00	458,00	6,54
50	24.00+500	417,00	5,79
51	25.00+00	403,00	5,53
52	25.00+500	289,00	3,44
53	26.00+00	350,00	4,56
54	26.00+500	384,00	5,18
55	27.00+00	393,00	5,35
56	27.00+500	369,00	4,91
57	28.00+00	402,00	5,51
58	28.00+500	398,00	5,44
59	29.00+00	416,00	5,77
60	29.00+500	328,00	4,16
61	30.00+00	382,00	5,14
62	30.00+500	385,00	5,20
63	31.00+00	392,00	5,33
64	31.00+500	400,00	5,47
65	32.00+00	446,00	6,32
66	32.00+500	395,00	5,38
67	33.00+00	456,00	6,50
68	33.00+500	414,00	5,73
69	34.00+00	455,00	6,48
70	34.00+500	409,00	5,64
71	35.00+00	355,00	4,65

Ítem	Distancia	Potencial (mV)	Grado ON de pH
72	35.00+500	282,00	3,31
73	36.00+00	298,00	3,61
74	36.00+500	437,00	6,15
75	37.00+00	407,00	5,60
76	37.00+500	369,00	4,91
77	38.00+00	392,00	5,33
78	38.00+500	404,00	5,55
79	39.00+00	382,00	5,14
80	39.00+500	436,00	6,13
81	40.00+00	432,00	6,06
82	40.00+500	424,00	5,91
83	41.00+00	380,00	5,11
84	41.00+500	380,00	5,11

Fuente: Repsol YPF S.A. del Ecuador 2005

## **ANEXO B**



**HOJA DE CÁLCULO SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
LÍNEAS AMO A**



PRODING CIA. LTDA

**00 MÉTODO UTILIZADO** CORRIENTE IMPRESA

**01 CONDICIONES DE DISEÑO**

**01.01** RESISTIVIDAD DEL SUELO A LO LARGO DEL DDV (Información de Repsol-YPF) 5.971,35 (Ohm-cm)

**01.02** INFORMACIÓN ACERCA DE LÍNEAS

DESCRIPCIÓN	Línea 24" WIP - SPF	Línea 20" AMO A - SPF	Línea 18" SPF - AMO A	Línea 10" Ramales	Línea 4" Amo A - Amo 1	UNIDAD
NÚMERO DE LÍNEA:	1	2	3	4	5	(un)
DIÁMETRO NOMINAL:	24,00	20,00	18,00	10,00	4	(Pulgadas)
DIÁMETRO EXTERNO:	24,00	20,00	18,00	10,75	4,5	(Pulgadas)
ESPESOR DE PARED:	0,375	0,312	0,344	0,307	0,237	(Pulgadas)
MATERIAL API:	5LX-70	5LX-60	5LX-60	5LX-60	5LX-42	
LONGITUD:	1.700,00	14.000,00	14.000,00	3.700,00	1.500,00	(m)
ÁREA:	3.255,70	22.343,01	20.108,71	3.173,90	538,63	(m <sup>2</sup> )
PRODUCTO:	AGUA DE PRODUCCIÓN	CRUDO	AGUA DE PRODUCCIÓN	AGUA DE PRODUCCIÓN Y CRUDO	CRUDO	
<b>01.03</b> TEMPERATURA DE DISEÑO:	96	96	96	96	96	(°C)
<b>01.04</b> TIPO DE REVESTIMIENTO:	3LPP	3LPP	3LPP	3LPP	3LPP	
	3LPP = POLIPROPILENO TRICAPA					
<b>01.05</b> MÉTODO DE PROTECCIÓN CATÓDICA (PC):	CORRIENTE IMPRESA					
<b>01.06</b> DENSIDAD DE CORRIENTE DE PC:	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	(A/m <sup>2</sup> )
<b>01.07</b> POTENCIAL NATURAL CÁTODO/ELECTROLITO, vs Cu/CuSO4 RE	348,00	563,00	647,00	519,00	519,00	(-mV)
<b>01.08</b> VIDA ÚTIL ESPERADA, DISEÑO:	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	(Años)
<b>01.09</b> CANTIDAD DE LÍNEAS	1,00	1,00	1,00	1,00	1	(un)

**02 ÁREA A PROTEGER:**

ÁREA EXTERNA TOTAL DE LA LÍNEA:	49.419,94	(m <sup>2</sup> )
FACTOR DE SEGURIDAD POR ACCESORIOS Y RAMALES, ÁREA:	3%	1.482,60 (m <sup>2</sup> )
<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>50.902,54</b>	<b>(m<sup>2</sup>)</b>

**03 CORRIENTE REQUERIDA DE PROTECCIÓN CATÓDICA, I<sub>p</sub>**

$I_p = S \cdot d_i (1 - E_c)$	50,90	(A)
S = Área a proteger	50.902,54	(m <sup>2</sup> )
d <sub>i</sub> = densidad de Corriente calculada	0,020	(mA/m <sup>2</sup> )
E <sub>c</sub> = Eficiencia de revestimiento, 95 % al final de vida del sistema	95%	

**04 CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE ÁNODOS, (N<sub>A</sub>)**

$N_A = I_p / i_a$	12,62	(un)
$I_p$ = Corriente requerida total	50,90	(A)
$i_a$ = Salida de corriente de un ánodo individual, Dimensiones Diámetro. 0.25 in.x 4 Ft LG. Eficiencia del ánodo 40% Tasa de drenaje de corriente en relleno de carbón, para 20 años 4.14 amperios	4,03	(A)
N <sub>A</sub> = Cantidad asumida de ánodos	13,00	(un)
Profundidad para la instalación de los ánodos horizontales	2,50	(m)

Tipo de ánodos seleccionados barras-Ti-MMO (Mixed Metal Oxide), cannister

**05 PESO DEL RELLENO (BACKFILL) DE BAJA RESISTIVIDAD PARA LA CAMA ANÓDICA: LORESCO SW,**

	1.237,75	(Kg)
Densidad del relleno (d):	865,77	(Kg/m <sup>3</sup> )
Volumen de la cama:	1,52	(m <sup>3</sup> )
Donde:		
Ancho de la zanja de la cama anódica	0,20	(m)
Profundidad de la zanja de la cama anódica	0,20	(m)
Largo total de la cama anódica	38,00	(m)



**HOJA DE CÁLCULO SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
LÍNEAS AMO A**



PRODING CIA. LTDA

Cantidad de sacos de 50 lb: 55 (Sacos)  
 Volumen de ánodos: 0,09 (m<sup>3</sup>)

**06 CÁLCULO DE RESISTENCIAS DEL CIRCUITO**

$R_{\text{lado positivo}} = R_{ca} + R_{a-e}$

$R_{ca}$  = Resistencia de cables, (Ohm)

$R_{a-e}$  = Resistencia ánodo/electrolito, (Ohm)

$R_{\text{lado negativo}} = R_{ca} + R_{c-e}$

$R_{ca}$  = Resistencia de cables, (Ohm)

$R_{c-e}$  = Resistencia Cátodo/Electrolito, (Ohm)

RESISTENCIA TOTAL,  $R_T$

$R_T = R_{\text{lado positivo}} + R_{\text{lado negativo}}$

**06.01 RESISTENCIA EN EL LADO POSITIVO**

**Resistencia del Cable,  $R_{ca}$**

$R_{ca} = r_{ca} * L_{ca}$  0,19 (Ohm)

$r_{ca}$  = resistencia del cable, HMWPE AWG 6 1,34 (Ohm/Km)

$L_{ca}$  = Longitud del cable 140,00 (m)

**Resistencia ánodos/Electrolitos en posición vertical ( $R_{a-e}$ ), Ohm**

(Ecuación de Sunde para un número de electrodos verticales conectados en paralelo)

$R_{a-e} = r / (2pL_a N) [\ln(8L_a/d_a) - 1 + 2L_a/S(\ln 0.656N)]$  0,51 (Ohm)

$\rho$  = Resistividad del suelo medida en sitio para la capa c 12,20 (Ohm-m)

$L_a$  = Longitud del ánodo individual 1,52 (m)

$d_a$  = Diámetro del ánodo pre-empacado, 0,23 (m)

$S$  = Espaciamiento entre ánodos en la cama enterrada, 3,00 (m)

$N$  = Número de electrodos (ánodos) en paralelo 13,00 (un)

**Resistencia ánodos/Electrolito en posición horizontal ( $R_{a-e}$ ), Ohm**

(Ecuación modificada de Dwight para electrodos horizontales o cama continua de ánodos)

$R_{a-e} = r / (2pL_a) [\ln(4L_a/d_a) + \ln(L_a/h) - 2h/L_a]$  0,38 (Ohm)

$\rho$  = Resistividad del suelo medida en sitio para la capa c 12,20 (Ohm-m)

$L_a$  = Longitud total del ánodo horizontal 38,00 (m)

$d_a$  = Diámetro del ánodo equivalente de la cama anódica 0,23 (m)

$h$  = Profundidad a la que el ánodo está enterrado, 2,50 (m)

Separación entre ánodos 1.52 m.

Se selecciona la posición de ánodos horizontal para la cama de ánodos.

**Resistencia total en el lado positivo  $R_{TP}$ , Ohm**

$R_{\text{lado positivo}}$  0,56 (Ohm)

**06.02 RESISTENCIA EN EL LADO NEGATIVO**

$R_{\text{lado negativo}} = R_{ca} + R_{c-e}$

Resistencia de cables,  $R_{ca}$

$R_{ca} = r_{ca} * L_{ca}$

$r_{ca}$  = Resistencia de cable, HMWPE AWG 6

$L_{ca}$  = Longitud del cable

Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Línea 5	Unidades
0,00	0,07	0,07	0,07	0,07	(Ohm)
1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	(Ohm/Km)
0	55	55	55	55	(m)



**HOJA DE CÁLCULO SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
LÍNEAS AMO A**



PRODING CIA. LTDA

**06.03 Resistencia de contacto cátodo (tubería)/Electrolito,  $R_{c-e}$**

$$R_{c-e} = r / (2pLa(1-Ec)) \left[ \ln \left( \frac{4La^2 + 4La \left( \frac{(2ht)^2 + La^2}{1/2} \right) / dt}{(La/ht) + 2h/La - \left( \frac{(2ht)^2 + La^2}{1/2} \right) / La} \right) - 1 \right]$$

	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Línea 5	Unidades
$\rho$ = Resistividad del suelo	1,64	0,26	0,26	0,85	1,96	(Ohm)
	59,71	59,71	59,71	59,71	59,71	(Ohm-m)
$L_a$ = Longitud total del cátodo horizontal	1.700,00	14.000,00	14.000,00	3.700,00	1.500,00	(m)
$d_a$ = Diámetro del cátodo	0,610	0,508	0,457	0,273	0,114	(m)
$h_i$ = Profundidad a la que el cátodo está enterrado	1,810	1,708	1,657	1,473	1,314	(m)
$E_c$ = Eficiencia de revestimiento, 95 % al final de vida del sistema	95%	95%	95%	95%	95%	

**Resistencia total en el lado negativo,  $R_{TN}$**

	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Línea 5	Unidades
$R_{lado\ negativo} = R_{ca} + R_{c-e}$	1,64	0,33	0,33	0,93	2,04	(Ohm)
$1/R_{lado\ negativo}$	0,61	3,02	3,02	1,08	0,49	(Ohm)
$R_{TN} = (1/\sum(1/R_{línea1} + \dots + 1/R_{línea4}))$					<b>0,12</b>	(Ohm)

**06.04 Resistencia total  $R_T$**

$$R_T = R_{lado\ positivo} + R_{lado\ negativo} = R_{TP} + R_{TN} \quad \quad \quad 0,69 \quad (Ohm)$$

**06.05 Voltaje Equipo Rectificador**

Incrementamos la corriente en un 10% adicional, la corriente calculada máxima sería: 55,99 (A)

$$V_{rectificador} = Corriente\ Max. \times Resistencia\ Total (R_T) + Voltaje\ de\ Retorno$$

Corriente <sub>max</sub>	55,99	(A)
Resistencia Total	0,69	(Ohm)
Voltaje de Retorno	2	(V)
$V_{rectificador}$	40,39	(V)

Requerimos un Rectificador de 50 Voltios 60 Amperios.

**07 Atenuación**

a) Resistencia lineal de la tubería por unidad de longitud 100 m:  $r = \rho \cdot L / A$

DESCRIPCIÓN	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Línea 5	Unidades
$r_l$ = Resistencia lineal de la tubería	0,00075	0,00108	0,00109	0,00207	0,00656	(Ohm/unidad)
$\rho_{ac}$ = Resistividad del Acero al carbono, $1,344 \times 10^{-5}$ (Ohm-cm)	0,000013440	0,000013440	0,000013440	0,000013440	0,000013440	(Ohm-m)
$L$ = Unidad de longitud de la tubería	100,00000	100,00000	100,00000	100,00000	100,00000	(m)
$A_{tr}$ = Área de la sección transversal	0,01796	0,01245	0,01231	0,00650	0,00205	(m <sup>2</sup> )
Número de unidades	17,00000	140,00000	140,00000	37,00000	15,00000	

b) Resistividad del suelo con 5971,35 (Ohm-cm) por unidad de longitud:

DESCRIPCIÓN	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Línea 5	Unidades
$g = G \cdot A \cdot 1000$ W-cm/5971,35 W-cm (g = Conductancia Unitaria a Tierra)	0,45067	0,37556	0,33801	0,20186	0,08450	(S/Unidad)
$G$ = Fuga de Conductancia $G = 0,01405$ (Siemens/m <sup>2</sup> ) para un revestimiento de protección de calidad pobre	0,01405	0,01405	0,01405	0,01405	0,01405	(S/m <sup>2</sup> )
$A_{un.}$ = Área por cada 100 m de unidad de longitud	191,5115	159,5929	143,6336	85,7812	35,9084	(Ohm)
c) Atenuación: $a = (r_l/g)^{0,5}$	0,01837	0,02014	0,01921	0,02043	0,02355	(Ohm)
d) Res. Característica: $R_G = (r_l/g)^{0,5}$	0,04075	0,05361	0,05683	0,10122	0,27869	(cm <sup>2</sup> )

e) Resistencia mirando a cada lado del centro de la tubería:  $R_{so} = R_G \cdot \coth(ax)$

DESCRIPCIÓN	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Línea 5	Unidades
Distancia desde el centro, x	17,0000	140,0000	140,0000	37,0000	15,0000	Unid. Long.
ax	0,3122	2,8189	2,6894	0,7560	0,3533	
$R_{so}$ =	0,1347	0,0540	0,0574	0,1585	0,8215	(Ohm)



**HOJA DE CÁLCULO SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
LÍNEAS AMO A**



PRODING CIA. LTDA

Corriente en cada dirección desde el centro para producir una modificación de 1000\ (mV) en el potencial estático en la fuente

	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Línea 5	Unidades
$I_s$	7,42184	18,51975	17,43369	6,31017	1,21730	(A)
TOTAL CORRIENTE CALCULADA POR ATENUACIÓN:					<b>50,90</b>	(A)

CÁLCULO DE DENSIDAD DE CORRIENTE:  $i=i_p/(1-E_p)^2S$  20,00 (mA/m<sup>2</sup>)

	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Línea 5	Unidades
E (Voltaje en extremo x de tubería)	0,953	0,119	0,135	0,769	0,941	(V)
I (Corriente en extremo x de tubería)	7,0742	2,2023	2,3574	4,8552	1,1451	(A)
TOTAL CORRIENTE EN EXTREMO x:					<b>17,63</b>	(A)





**HOJA DE CÁLCULO SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
LÍNEAS CAPIRÓN**



PRODING CIA. LTDA.

**00 MÉTODO UTILIZADO** CORRIENTE IMPRESA

**01 CONDICIONES DE DISEÑO**

**01.01** RESISTIVIDAD DEL SUELO A LO LARGO DEL DDV (Información de Repsol-YPF) 2.675,92 (Ohm-cm)

**01.02** INFORMACIÓN ACERCA DE LÍNEAS

DESCRIPCIÓN	Línea 16" CAPIRÓN - NPF	Línea 14" NPF - CAPIRÓN	Línea 12" CAPIRÓN - BOGI	Línea 12" BOGI - CAPIRÓN	Línea 10" CAPIRÓN - BOGI	UNIDAD
NÚMERO DE LÍNEA:	1	2	3	4	5	(un)
DIÁMETRO NOMINAL:	16,00	14,00	12,00	12,00	10	(Pulgadas)
DIÁMETRO EXTERNO:	16,00	14,00	12,75	12,75	10,75	(Pulgadas)
ESPESOR DE PARED:	0,312	0,344	0,307	0,307	0,307	(Pulgadas)
MATERIAL API:	5LX-60	5LX-60	5LX-60	5LX-60	5LX-60	
LONGITUD:	8.200,00	8.200,00	7.460,00	7.460,00	7.460,00	(m)
ÁREA:	10.469,29	9.160,63	7.589,84	7.589,84	6.399,28	(m <sup>2</sup> )
PRODUCTO:	CRUDO	AGUA DE PRODUCCIÓN	AGUA DE PRODUCCIÓN	CRUDO	AGUA DE PRODUCCIÓN	
<b>01.03</b> TEMPERATURA DE DISEÑO:	96	96	96	96	96	(°C)
<b>01.04</b> TIPO DE REVESTIMIENTO:	3LPP	3LPP	3LPP	3LPP	3LPP	
	3LPP = POLIPROPILENO TRICAPA					
<b>01.05</b> MÉTODO DE PROTECCIÓN CATÓDICA (PC):	CORRIENTE IMPRESA					
<b>01.06</b> DENSIDAD DE CORRIENTE DE PC:	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	(A/m <sup>2</sup> )
<b>01.07</b> POTENCIAL NATURAL CÁTODO/ELECTROLITO, vs Cu/CuSO4 RE	518,00	517,00	517,00	517,00	517,00	(-mV)
<b>01.08</b> VIDA ÚTIL ESPERADA, DISEÑO:	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	(Años)
<b>01.09</b> CANTIDAD DE LÍNEAS	1,00	1,00	1,00	1,00	1	(un)

**02 ÁREA A PROTEGER:**

ÁREA EXTERNA TOTAL DE LA LÍNEA:	41.208,88	(m <sup>2</sup> )
FACTOR DE SEGURIDAD POR ACCESORIOS Y RAMALES, ÁREA:	3%	1.236,27 (m <sup>2</sup> )
ÁREA TOTAL	<b>42.445,15</b>	(m <sup>2</sup> )

**03 CORRIENTE REQUERIDA DE PROTECCIÓN CATÓDICA, I<sub>p</sub>**

$I_p = S \cdot d_i (1 - E_c)$	42,45	(A)
S = Área a proteger	42.445,15	(m <sup>2</sup> )
d <sub>i</sub> = densidad de Corriente calculada	0,020	(mA/m <sup>2</sup> )
E <sub>c</sub> = Eficiencia de revestimiento, 95 % al final de vida del sistema	95%	

**04 CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE ÁNODOS, (N<sub>A</sub>)**

$N_A = I_p / i_a$	10,53	(un)
I <sub>p</sub> = Corriente requerida total	42,45	(A)
i <sub>a</sub> = Salida de corriente de un ánodo individual, Dimensiones Diámetro. 0.25 in.x 4 Ft LG. Eficiencia del ánodo 40% Tasa de drenaje de corriente en relleno de carbón, para 20 años 4.14 amperios	4,03	(A)
N <sub>A</sub> = Cantidad asumida de ánodos	11,00	(un)
Profundidad para la instalación de los ánodos horizontales	2,50	(m)

Tipo de ánodos seleccionados barras-Ti-MMO (Mixed Metal Oxide), cannister

**05 PESO DEL RELLENO (BACKFILL) DE BAJA RESISTIVIDAD  
PARA LA CAMA ANÓDICA: LORESCO SW,**

Densidad del relleno (d):	865,77	(Kg/m <sup>3</sup> )
Volumen de la cama: Donde: Ancho de la zanja de la cama anódica Profundidad de la zanja de la cama anódica Largo total de la cama anódica	1,28	(m <sup>3</sup> )
	0,20	(m)
	0,20	(m)
	<b>31,92</b>	(m)



**HOJA DE CÁLCULO SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
LÍNEAS CAPIRÓN**



PRODING CIA. LTDA.

Cantidad de sacos de 50 lb: 46 (Sacos)

Volumen de ánodos: 0,08 (m<sup>3</sup>)

**06 CÁLCULO DE RESISTENCIAS DEL CIRCUITO**

$$R_{\text{lado positivo}} = R_{ca} + R_{a-e}$$

$R_{ca}$  = Resistencia de cables, (Ohm)

$R_{a-e}$  = Resistencia ánodo/electrolito, (Ohm)

$$R_{\text{lado negativo}} = R_{ca} + R_{c-e}$$

$R_{ca}$  = Resistencia de cables, (Ohm)

$R_{c-e}$  = Resistencia Cátodo/Electrolito, (Ohm)

RESISTENCIA TOTAL,  $R_T$

$$R_T = R_{\text{lado positivo}} + R_{\text{lado negativo}}$$

**06.01 RESISTENCIA EN EL LADO POSITIVO**

**Resistencia del Cable,  $R_{ca}$**

$$R_{ca} = r_{ca} \cdot L_{ca}$$

0,20 (Ohm)

$r_{ca}$  = resistencia del cable, HMWPE AWG 6

1,34 (Ohm/Km)

$L_{ca}$  = Longitud del cable

150,00 (m)

**Resistencia ánodos/Electrolitos en posición vertical ( $R_{a-e}$ ), Ohm**

(Ecuación de Sunde para un número de electrodos verticales conectados en paralelo)

$$R_{a-e} = r / (2 \rho L_a N) [\ln(8L_a/d_a) - 1 + 2L_a/S(\ln 0.656N)]$$

0,30 (Ohm)

$\rho$  = Resistividad del suelo medida en sitio para la capa c

6,35 (Ohm-m)

$L_a$  = Longitud del ánodo individual

1,52 (m)

$d_a$  = Diámetro del ánodo pre-empacado,

0,23 (m)

$S$  = Espaciamiento entre ánodos en la cama enterrada,

3,00 (m)

$N$  = Número de electrodos (ánodos) en paralelo

11,00 (un)

**Resistencia ánodos/Electrolito en posición horizontal ( $R_{a-e}$ ), Ohm**

(Ecuación modificada de Dwight para electrodos horizontales o cama continua de ánodos)

$$R_{a-e} = r / (2 \rho L_a) [\ln(4L_a/d_a) + \ln(L_a/h) - 2h/L_a]$$

0,22 (Ohm)

$\rho$  = Resistividad del suelo medida en sitio para la capa c

6,35 (Ohm-m)

$L_a$  = Longitud total del ánodo horizontal

31,92 (m)

$d_a$  = Diámetro del ánodo equivalente de la cama anódica

0,23 (m)

$h$  = Profundidad a la que el ánodo está enterrado,

2,50 (m)

Separación entre ánodos 1.52 m.

Se selecciona la posición de ánodos horizontal para la cama de ánodos.

**Resistencia total en el lado positivo  $R_{TP}$ , Ohm**

$R_{\text{lado positivo}}$

0,42 (Ohm)

**06.02 RESISTENCIA EN EL LADO NEGATIVO**

$$R_{\text{lado negativo}} = R_{ca} + R_{c-e}$$

Resistencia de cables,  $R_{ca}$

$$R_{ca} = r_{ca} \cdot L_{ca}$$

$r_{ca}$  = Resistencia de cable, HMWPE AWG 6

$L_{ca}$  = Longitud del cable

	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Línea 5	Unidades
$R_{ca} = r_{ca} \cdot L_{ca}$	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	(Ohm)
$r_{ca}$ = Resistencia de cable, HMWPE AWG 6	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	(Ohm/Km)
$L_{ca}$ = Longitud del cable	34	34	34	34	34	(m)

**06.03 Resistencia de contacto cátodo (tubería)/Electrolito,  $R_{c-e}$**



**HOJA DE CÁLCULO SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
LÍNEAS CAPIRÓN**



PRODING CIA. LTDA

$$R_{c-e} = r / (2\pi L_a (1-E_c)) \left[ \ln \left( \frac{4L_a^2 + 4L_a \left( \frac{(2ht)^2 + L_a^2}{2} \right)^{1/2}}{dt} \right) + \ln \left( \frac{L_a}{ht} \right) + 2h/L_a - \left( \frac{(2ht)^2 + L_a^2}{2} \right)^{1/2} / L_a - 1 \right]$$

	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Línea 5	Unidades
$\rho$ = Resistividad del suelo	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21	(Ohm)
	26,76	26,76	26,76	26,76	26,76	(Ohm-m)
$L_a$ = Longitud total del cátodo horizontal	8.200,00	8.200,00	7.460,00	7.460,00	7.460,00	(m)
$d_a$ = Diámetro del cátodo	0,406	0,356	0,324	0,324	0,273	(m)
$h_t$ = Profundidad a la que el cátodo está enterrado	1,606	1,556	1,524	1,524	1,473	(m)
$E_c$ = Eficiencia de revestimiento, 95 % al final de vida del sistema	95%	95%	95%	95%	95%	

**Resistencia total en el lado negativo,  $R_{TN}$**

	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Línea 5	Unidades
$R_{lado\ negativo} = R_{ca} + R_{c-e}$	0,23	0,23	0,25	0,25	0,25	(Ohm)
$1/R_{lado\ negativo}$	4,30	4,29	4,00	4,00	3,98	(Ohm)
$R_{TN} = (1/\sum (1/R_{linea1} + \dots + 1/R_{linea4}))$					0,05	(Ohm)

**06.04 Resistencia total  $R_T$**

$R_T = R_{lado\ positivo} + R_{lado\ negativo} = R_{TP} + R_{TN}$  0,47 (Ohm)

**06.05 Voltaje Equipo Rectificador**

Incrementamos la corriente en un 10% adicional, la corriente calculada máxima sería: 46,69 (A)

$V_{rectificador} = Corriente\ Max. \times Resistencia\ Total (R_T) + Voltaje\ de\ Retorno$

Corriente <sub>max</sub>	46,69	(A)
Resistencia Total	0,47	(Ohm)
Voltaje de Retorno	2	(V)
$V_{rectificador}$	24,06	(V)

Requerimos un Rectificador de 30 Voltios 50 Amperios

**06.06 Resistencia Nominal del Rectificador, ( $R_n$ )**

$R_n = V_n / A_n$	0,60	(Ohm)
$V_n$ = Voltaje Nominal del Rectificador	30,0	(V)
$A_n$ = Amperaje Nominal del Rectificador	50,0	(A)

**07 Atenuación**

a) Resistencia lineal de la tubería por unidad de longitud 100 m:  $r = \rho \cdot L / A$

DESCRIPCIÓN	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Línea 5	Unidades
$r_l$ = Resistencia lineal de la tubería	0,0013548	0,0014116	0,0017359	0,0017359	0,0020683	(Ohm/100 m)
$\rho_{ac}$ = Resistividad del Acero al carbono, $1,344 \times 10^{-5}$ (Ohm-cm)	0,0000134	0,0000134	0,0000134	0,0000134	0,0000134	(Ohm-m)
$L$ = Unidad de longitud de la tubería	100,0000000	100,0000000	100,0000000	100,0000000	100,0000000	(m)
$A_{tr}$ = Área de la sección transversal	0,0099206	0,0095214	0,0077425	0,0077425	0,0064980	(m <sup>2</sup> )
Número de unidades	82,0000000	82,0000000	74,6000000	74,6000000	74,6000000	

b) Resistividad del suelo con 2675,92 (Ohm-cm) por unidad de longitud:

DESCRIPCIÓN	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Línea 5	Unidades
$g = G \cdot A \cdot 1000$ W-cm/2675,92 W-cm (g = Conductancia Unitaria a Tierra)	0,1949652	0,1705946	0,1553629	0,1553629	0,1309923	(S/Unidad)
$G$ = Fuga de Conductancia $G = 0,0040863$ (Siemens/m <sup>2</sup> ) para un revestimiento de protección de calidad pobre	0,0040863	0,0040863	0,0040863	0,0040863	0,0040863	(S/m <sup>2</sup> )
$A_{un}$ = Área por cada 100 m de unidad de longitud	127,6743254	111,7150348	101,7404781	101,7404781	85,7811874	(Ohm)
c) Atenuación: $a = (r/g)^{0,5}$	0,0162521	0,0155179	0,0164223	0,0164223	0,0164601	(Ohm)
d) Res. Característica: $R_G = (r/g)^{0,5}$	0,0833588	0,0909636	0,1057026	0,1057026	0,1256569	(cm <sup>2</sup> )



**HOJA DE CÁLCULO SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
LÍNEAS CAPIRÓN**



PRODING CIA. LTDA.

e) Resistencia mirando a cada lado del cetro de la tubería:  $R_{so} = R_G \coth(ax)$

DESCRIPCIÓN	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Línea 5	Unidades
Distancia desde el centro, x	82,0000000	82,0000000	74,6000000	74,6000000	74,6000000	Unid. Long.
ax	1,3326690	1,2724668	1,2251005	1,2251005	1,2279220	
$R_{so} =$	<b>0,0958257</b>	<b>0,1064568</b>	<b>0,1256640</b>	<b>0,1256640</b>	<b>0,1492406</b>	(Ohm)

Corriente en cada dirección desde el centro para producir una modificación de 1000l (mV) en el potencial estático en la fuente

	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Línea 5	Unidades
$I_s$	10,4356156	9,3934854	7,9577274	7,9577274	6,7005911	(A)
TOTAL CORRIENTE CALCULADA POR ATENUACIÓN:					42,45	(A)

CÁLCULO DE DENSIDAD DE CORRIENTE:  $i = I_s / (1 - E_c) * S$

20,00 (mA/m<sup>2</sup>)

	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Línea 5	Unidades
E (Voltaje en extremo x de tubería)	0,49323	0,51951	0,54080	0,54080	0,53952	(V)
I (Corriente en extremo x de tubería)	5,14714	4,88000	4,30353	4,30353	3,61507	(A)
TOTAL CORRIENTE EN EXTREMO x:					22,25	(A)



HOJA DE CÁLCULO SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
LÍNEAS GINTA A



PRODIG CIA. LTDA.

00 MÉTODO UTILIZADO CORRIENTE IMPRESA

01 CONDICIONES DE DISEÑO

01.01 RESISTIVIDAD DEL SUELO A LO LARGO DEL DDV (Información de Repsol-YPF) 5.877,40 (Ohm-cm)

01.02 INFORMACIÓN ACERCA DE LÍNEAS					
DESCRIPCIÓN	Línea 18" SPF - GINTA B	Línea 20" GINTA B - SPF	Línea 10" Ramales GINTA A	Línea 12" Ramales GINTA A	UNIDAD
NÚMERO DE LÍNEA:	1	2	3	4	(un)
DIÁMETRO NOMINAL:	18,00	20,00	10,00	12,00	(Pulgadas)
DIÁMETRO EXTERNO:	18,00	20,00	10,75	10,75	(Pulgadas)
ESPESOR DE PARED:	0,250	0,312	0,307	0,307	(Pulgadas)
MATERIAL API:	5LX-60	5LX-60	5LX-60	5LX-60	
LONGITUD:	13.100,00	13.100,00	800,00	6.000,00	(m)
ÁREA:	18.816,00	20.906,67	686,25	5.146,87	(m <sup>2</sup> )
PRODUCTO:	AGUA DE PRODUCCIÓN	CRUDO	AGUA DE PRODUCCIÓN Y CRUDO	AGUA DE PRODUCCIÓN Y CRUDO	
01.03 TEMPERATURA DE DISEÑO:	96	96	96	96	(°C)
01.04 TIPO DE REVESTIMIENTO:	3LPP	3LPP	3LPP	3LPP	
	3LPP = POLIPROPILENO TRICAPA				
01.05 MÉTODO DE PROTECCIÓN CATÓDICA (PC):	CORRIENTE IMPRESA				
01.06 DENSIDAD DE CORRIENTE DE PC:	0,02	0,02	0,02	0,02	(A/m <sup>2</sup> )
01.07 POTENCIAL NATURAL CÁTODO/ELECTROLITO, vs Cu/CuSO4 RE	591,00	591,00	591,00	591,00	(-mV)
01.08 VIDA ÚTIL ESPERADA, DISEÑO:	25,00	25,00	25,00	25,00	(Años)
01.09 CANTIDAD DE LÍNEAS	1,00	1,00	1,00	1,00	(un)

02 ÁREA A PROTEGER:

ÁREA EXTERNA TOTAL DE LA LÍNEA: 45.555,80 (m<sup>2</sup>)

FACTOR DE SEGURIDAD POR ACCESORIOS Y RAMALES, ÁREA: 3% 1.366,67 (m<sup>2</sup>)

ÁREA TOTAL 46.922,47 (m<sup>2</sup>)

03 CORRIENTE REQUERIDA DE PROTECCIÓN CATÓDICA,  $I_p$

$I_p = S \cdot d_i (1 - E_c)$  46,92 (A)

$S =$  Área a proteger 46.922,47 (m<sup>2</sup>)

$d_i =$  densidad de Corriente calculada 0,020 (mA/m<sup>2</sup>)

$E_c =$  Eficiencia de revestimiento, 95 % al final de vida del sistema 95%

04 CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE ÁNODOS, ( $N_A$ )

$N_A = I_p / i_a$  11,64 (un)

$I_p =$  Corriente requerida total 46,92 (A)

$i_a =$  Salida de corriente de un ánodo individual, Dimensiones Diámetro. 0.25 in.x 4 Ft LG. 4,03 (A)

Eficiencia del ánodo 40%

Tasa de drenaje de corriente en relleno de carbón, para 20 años 4.14 amperios

$N_A =$  Cantidad asumida de ánodos 12,00 (un)

Profundidad para la instalación de los ánodos horizontales 2,50 (m)

Tipo de ánodos seleccionados barras-Ti-MMO (Mixed Metal Oxide), cannister

05 PESO DEL RELLENO (BACKFILL) DE BAJA RESISTIVIDAD PARA LA CAMA ANÓDICA: LORESCO SW, 1.138,49 (Kg)

Densidad del relleno (d): 865,77 (Kg/m<sup>3</sup>)

Volumen de la cama: 1,40 (m<sup>3</sup>)

Donde:

Ancho de la zanja de la cama anódica 0,20 (m)

Profundidad de la zanja de la cama anódica 0,20 (m)

Largo total de la cama anódica 34,96 (m)

Cantidad de sacos de 50 lb: 50 (Sacos)

Volumen de ánodos: 0,08 (m<sup>3</sup>)

06 CÁLCULO DE RESISTENCIAS DEL CIRCUITO

$R_{lado\ positivo} = R_{ca} + R_{a-e}$



HOJA DE CÁLCULO SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
LÍNEAS GINTA A



PRODING CIA. LTDA.

$R_{ca}$  = Resistencia de cables, (Ohm)  
 $R_{a-e}$  = Resistencia ánodo/electrolito, (Ohm)

$$R_{lado\ negativo} = R_{ca} + R_{c-e}$$

$R_{ca}$  = Resistencia de cables, (Ohm)  
 $R_{c-e}$  = Resistencia Cátodo/Electrolito, (Ohm)

RESISTENCIA TOTAL,  $R_T$   
 $R_T = R_{lado\ positivo} + R_{lado\ negativo}$

**06.01 RESISTENCIA EN EL LADO POSITIVO**

**Resistencia del Cable,  $R_{ca}$**

$R_{ca} = r_{ca} * L_{ca}$  0,15 (Ohm)  
 $r_{ca}$  = resistencia del cable, HMWPE AWG 6 1,34 (Ohm/Km)  
 $L_{ca}$  = Longitud del cable 110,00 (m)

**Resistencia ánodos/Electrolitos en posición vertical ( $R_{a-e}$ ), Ohm**

(Ecuación de Sunde para un número de electrodos verticales conectados en paralelo)  
 $R_{a-e} = r/(2pL_a N)[\ln(8L_a/d_a) - 1 + 2L_a/S(\ln 0.656N)]$  0,68 (Ohm)

$\rho$  = Resistividad del suelo medida en sitio para la capa c 15,24 (Ohm-m)  
 $L_a$  = Longitud del ánodo individual 1,52 (m)  
 $d_a$  = Diámetro del ánodo pre-empacado, 0,23 (m)  
 $S$  = Espaciamiento entre ánodos en la cama enterrada, 3,00 (m)  
 $N$  = Número de electrodos (ánodos) en paralelo 12,00 (un)

**Resistencia ánodos/Electrolito en posición horizontal ( $R_{a-e}$ ), Ohm**

(Ecuación modificada de Dwight para electrodos horizontales o cama continua de ánodos)

$R_{a-e} = r/(2pL_a)[\ln(4L_a/d_a) + \ln(L_a/h) - 2h/L_a]$  0,50 (Ohm)

$\rho$  = Resistividad del suelo medida en sitio para la capa c 15,24 (Ohm-m)  
 $L_a$  = Longitud total del ánodo horizontal 34,96 (m)  
 $d_a$  = Diámetro del ánodo equivalente de la cama anódica 0,23 (m)  
 $h$  = Profundidad a la que el ánodo está enterrado, 2,50 (m)  
Separación entre ánodos 1.52 m.

Se selecciona la posición de ánodos horizontal para la cama de ánodos.

**Resistencia total en el lado positivo  $R_{TP}$ , Ohm**

$R_{lado\ positivo}$  0,65 (Ohm)

**06.02 RESISTENCIA EN EL LADO NEGATIVO**

$$R_{lado\ negativo} = R_{ca} + R_{c-e}$$

Resistencia de cables,  $R_{ca}$

$$R_{ca} = r_{ca} * L_{ca}$$

$r_{ca}$  = Resistencia de cable, HMWPE AWG 6

$L_{ca}$  = Longitud del cable

Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Unidades
0,08	0,08	0,08	0,08	(Ohm)
1,34	1,34	1,34	1,34	(Ohm/Km)
60	60	60	60	(m)

**06.03 Resistencia de contacto cátodo (tubería)/Electrolito,  $R_{c-e}$**

$$R_{c-e} = r/(2pL_a(1-Ec))[\ln((4L_a^2+4L_a((2ht)^2+L_a^2)^{1/2})/dt) + \ln(L_a/ht)+2h/L_a - ((2ht)^2+L_a^2)^{1/2}/L_a - 1]$$

$\rho$  = Resistividad del suelo 58,77 (Ohm-m)  
 $L_a$  = Longitud total del cátodo horizontal 13.100,00 (m)  
 $d_a$  = Diámetro del cátodo 0,457 (m)  
 $h_t$  = Profundidad a la que el cátodo está enterrado 1,657 (m)  
 $E_c$  = Eficiencia de revestimiento, 95% al final de vida del sistema 95%

Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Unidades
0,27	0,27	3,17	0,55	(Ohm)
58,77	58,77	58,77	58,77	(Ohm-m)
13.100,00	13.100,00	800,00	6.000,00	(m)
0,457	0,508	0,273	0,273	(m)
1,657	1,708	1,473	1,473	(m)
95%	95%	95%	95%	



HOJA DE CÁLCULO SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
LÍNEAS GINTA A



PRODING CIA. LTDA.

Resistencia total en el lado negativo,  $R_{TN}$

$$R_{\text{lado negativo}} = R_{ca} + R_{c-e}$$

$$1/R_{\text{lado negativo}}$$

$$R_{TN} = (1/\sum(1/R_{\text{línea } 1} \dots + 1/R_{\text{línea } n}))$$

Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Unidades
0,35	0,35	3,25	0,63	(Ohm)
2,86	2,87	0,31	1,59	(Ohm)
			0,13	(Ohm)

06.04 Resistencia total  $R_T$

$$R_T = R_{\text{lado positivo}} + R_{\text{lado negativo}} = R_{TP} + R_{TN}$$

0,78 (Ohm)

06.05 Voltaje Equipo Rectificador

Incrementamos la corriente en un 10% adicional, la corriente calculada máxima sería:

51,61 (A)

$$V_{\text{rectificador}} = \text{Corriente Max.} \times \text{Resistencia Total } (R_T) + \text{Voltaje de Retorno}$$

$$\text{Corriente}_{\text{max}}$$

51,61 (A)

$$\text{Resistencia Total}$$

0,78 (Ohm)

$$\text{Voltaje de Retorno}$$

2 (V)

$$V_{\text{rectificador}}$$

42,20 (V)

Requerimos un Rectificador de 50 Voltios 60 Amperios.

06.06 Resistencia Nominal del Rectificador, ( $R_n$ )

$$R_n = V_n / A_n$$

0,83 (Ohm)

$$V_n = \text{Voltaje Nominal del Rectificador}$$

50,0 (V)

$$A_n = \text{Amperaje Nominal del Rectificador}$$

60,0 (A)

07 Atenuación

a) Resistencia lineal de la tubería por unidad de longitud 100 m:  $r = \rho * L / A$

DESCRIPCIÓN	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Unidades
$r_l$ = Resistencia lineal de la tubería	0,0001494	0,0001080	0,0002068	0,0002068	(Ohm/Unidad m)
$\rho_{ac}$ = Resistividad del Acero al carbono, $1,344 \times 10^5$ (Ohm-cm)	0,00001344	0,00001344	0,00001344	0,00001344	(Ohm-m)
L = Unidad de longitud de la tubería	100,0000000	100,0000000	100,0000000	100,0000000	(m)
$A_{tr}$ = Área de la sección transversal	0,0089941	0,0124501	0,0064980	0,0064980	(m <sup>2</sup> )
Número de unidades	131,0000000	131,0000000	8,0000000	60,0000000	

b) Resistividad del suelo con 5877,4 (Ohm-cm) por unidad de longitud:

DESCRIPCIÓN	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Unidades
$g = G * A * 1000$ W-cm/5877,4 W-cm (g = Conductancia Unitaria a Tierra)	0,1639671	0,1821857	0,0979248	0,0979248	(S/Unidad)
G = Fuga de Conductancia G = 0,005452 (Siemens/m <sup>2</sup> ) para un revestimiento de protección de calidad pobre	0,0067094	0,0067094	0,0067094	0,0067094	(S/m <sup>2</sup> )
Aun. = Área por cada 100 m de unidad de longitud	143,6336161	159,5929068	85,7811874	85,7811874	(Ohm)
c) Atenuación: $\alpha = (r/g)^{0,5}$	0,0049499	0,0044348	0,0045004	0,0045004	(Ohm)
d) Res. Característica: $RG = (r/g)^{0,5}$	0,0301886	0,0243420	0,0459582	0,0459582	(cm <sup>2</sup> )

e) Resistencia mirando a cada lado del centro de la tubería:  $R_{50} = R_0 \coth(\alpha x)$

DESCRIPCIÓN	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Unidades
Distancia desde el centro, x	131,0000000	131,0000000	8,0000000	60,0000000	Unid. Long.
$\alpha x$	0,6484425	0,5809534	0,0360036	0,2700267	
$R_{50} =$	0,0529049	0,0465111	1,2770412	0,1743153	(Ohm)

Corriente en cada dirección desde el centro para producir una modificación de 1000I (mV) en el potencial estático en la fuente

Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Unidades
18,9018344	21,5002305	0,7830601	5,7367309	(A)
TOTAL CORRIENTE CALCULADA POR ATENUACIÓN:				46,92

$$\text{CÁLCULO DE DENSIDAD DE CORRIENTE: } i = I_5 / (1 - E_2) * S$$

20,00 (mA/m<sup>2</sup>)



**HOJA DE CÁLCULO SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
LÍNEAS NPF**



PRODING CIA. LTDA.

**00 MÉTODO UTILIZADO** CORRIENTE IMPRESA

**01 CONDICIONES DE DISEÑO**

**01.01** RESISTIVIDAD DEL SUELO A LO LARGO DEL DDV (Información de Repsol-YPF) 7.402,59 (Ohm-cm)

<b>01.02 INFORMACIÓN ACERCA DE LÍNEAS</b>			
DESCRIPCIÓN	Línea 16" SPF - NPF	Línea 4" SPF - NPF	UNIDAD
NÚMERO DE LÍNEA:	1	2	(un)
DIÁMETRO NOMINAL:	16,00	4,00	(Pulgadas)
DIÁMETRO EXTERNO:	16,00	4,50	(Pulgadas)
ESPESOR DE PARED:	0,312	0,236	(Pulgadas)
MATERIAL API:	5LX-60	5LX-42	
LONGITUD:	42.600,00	42.600,00	(m)
ÁREA:	54.389,26	15.296,98	(m <sup>2</sup> )
PRODUCTO:	CRUDO	DIESEL	
<b>01.03</b> TEMPERATURA DE DISEÑO:	96	96	(°C)
<b>01.04</b> TIPO DE REVESTIMIENTO:	FBE	FBE	
<b>01.05</b> MÉTODO DE PROTECCIÓN CATÓDICA (PC):	CORRIENTE IMPRESA		
<b>01.06</b> DENSIDAD DE CORRIENTE DE PC:	0,02	0,02	(A/m <sup>2</sup> )
<b>01.07</b> POTENCIAL NATURAL CÁTODO/ELECTROLITO, vs Cu/CuSO4 RE	659,00	614,00	(-mV)
<b>01.08</b> VIDA ÚTIL ESPERADA, DISEÑO:	25,00	25,00	(Años)
<b>01.09</b> CANTIDAD DE LÍNEAS	1,00	1,00	(un)

**02 ÁREA A PROTEGER:**

ÁREA EXTERNA TOTAL DE LA LÍNEA:	69.686,24	(m <sup>2</sup> )
FACTOR DE SEGURIDAD POR ACCESORIOS Y RAMALES, ÁREA:	3%	2.090,59 (m <sup>2</sup> )
<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>71.776,83</b>	<b>(m<sup>2</sup>)</b>

**03 CORRIENTE REQUERIDA DE PROTECCIÓN CATÓDICA, I<sub>p</sub>**

$I_p = S \cdot d_i (1 - E_c)$	21,68	(A)
S = Área a proteger	71.776,83	(m <sup>2</sup> )
d <sub>i</sub> = densidad de Corriente calculada	0,020	(mA/m <sup>2</sup> )
E <sub>c</sub> = Eficiencia de revestimiento, 98,49 % al final de vida del sistema	98%	

**04 CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE ÁNODOS, (N<sub>A</sub>)**

$N_A = I_p / i_a$	5,38	(un)
I <sub>p</sub> = Corriente requerida total	21,68	(A)
i <sub>a</sub> = Salida de corriente de un ánodo individual, Dimensiones Diámetro. 0.25 in. x 4 Ft LG. Eficiencia del ánodo 40% Tasa de drenaje de corriente en relleno de carbón, para 20 años 4.14 amperios	4,03	(A)
N <sub>A</sub> = Cantidad asumida de ánodos Se asume mayor cantidad de ánodos para disminuir la resistencia de la cama	12,00	(un)
Profundidad para la instalación de los ánodos horizontales	2,50	(m)

Tipo de ánodos seleccionados barras-Ti-MMO (Mixed Metal Oxide), canister

**05 PESO DEL RELLENO (BACKFILL) DE BAJA RESISTIVIDAD PARA LA CAMA ANÓDICA: LORESCO SW,**

<b>PESO DEL RELLENO (BACKFILL) DE BAJA RESISTIVIDAD PARA LA CAMA ANÓDICA: LORESCO SW,</b>	<b>1.138,49</b>	<b>(Kg)</b>
Densidad del relleno (d):	865,77	(Kg/m <sup>3</sup> )
Volumen de la cama:	1,40	(m <sup>3</sup> )





HOJA DE CÁLCULO SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
LÍNEAS NPF



PROINDIA CIA. LTDA.

Donde:		
Ancho de la zanja de la cama anódica	0,20	(m)
Profundidad de la zanja de la cama anódica	0,20	(m)
Largo total de la cama anódica	<b>34,96</b>	(m)

Cantidad de sacos de 50 lb:	50	(Sacos)
Volumen de ánodos:	0,08	(m <sup>3</sup> )

**06 CÁLCULO DE RESISTENCIAS DEL CIRCUITO**

$$R_{\text{lado positivo}} = R_{ca} + R_{a-e}$$

$R_{ca}$  = Resistencia de cables, (Ohm)

$R_{a-e}$  = Resistencia ánodo/electrolito, (Ohm)

$$R_{\text{lado negativo}} = R_{ca} + R_{c-e}$$

$R_{ca}$  = Resistencia de cables, (Ohm)

$R_{c-e}$  = Resistencia Cátodo/Electrolito, (Ohm)

RESISTENCIA TOTAL,  $R_T$

$$R_T = R_{\text{lado positivo}} + R_{\text{lado negativo}}$$

**06.01 RESISTENCIA EN EL LADO POSITIVO**

**Resistencia del Cable,  $R_{ca}$**

$$R_{ca} = r_{ca} * L_{ca} \quad 0,36 \quad (\text{Ohm})$$

$r_{ca}$  = resistencia del cable, HMWPE AWG 6 1,34 (Ohm/Km)

$L_{ca}$  = Longitud del cable 270,00 (m)

**Resistencia ánodos/Electrolitos en posición vertical ( $R_{a-e}$ ), Ohm**

(Ecuación de Sunde para un número de electrodos verticales conectados en paralelo)

$$R_{a-e} = r / (2pL_a N) [\ln(8L_a/d_a) - 1 + 2L_a/S(\ln 0.656N)] \quad 1,24 \quad (\text{Ohm})$$

$\rho$  = Resistividad del suelo medida in situ para la capa c 27,91 (Ohm-m)

$L_a$  = Longitud del ánodo individual 1,52 (m)

$d_a$  = Diámetro del ánodo pre-empacado, 0,23 (m)

$S$  = Espaciamiento entre ánodos en la cama enterrada, 3,00 (m)

$N$  = Número de electrodos (ánodos) en paralelo 12,00 (un)

**Resistencia ánodos/Electrolito en posición horizontal ( $R_{a-e}$ ), Ohm**

(Ecuación modificada de Dwight para electrodos horizontales o cama continua de ánodos)

$$R_{a-e} = r / (2pL_a) [\ln(4L_a/d_a) + \ln(L_a/h) - 2h/L_a] \quad 0,92 \quad (\text{Ohm})$$

$\rho$  = Resistividad del suelo medida in situ para la capa c 27,91 (Ohm-m)

$L_a$  = Longitud total del ánodo horizontal 34,96 (m)

$d_a$  = Diámetro del ánodo equivalente de la cama anódica 0,23 (m)

$h$  = Profundidad a la que el ánodo está enterrado, 2,50 (m)

Separación entre ánodos 1.52 m.

Se selecciona la posición de ánodos horizontal para la cama de ánodos.

**Resistencia total en el lado positivo  $R_{TP}$ , Ohm**

$$R_{\text{lado positivo}} \quad 1,28 \quad (\text{Ohm})$$

**06.02 RESISTENCIA EN EL LADO NEGATIVO**

$$R_{\text{lado negativo}} = R_{ca} + R_{c-e}$$

Resistencia de cables,  $R_{ca}$



**HOJA DE CÁLCULO SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
LÍNEAS NPF**



PRODIG CIA. LTDA

$$R_{ca} = r_{ca} \cdot L_{ca}$$

$r_{ca}$  = Resistencia de cable,  
HMWPE AWG 6

$L_{ca}$  = Longitud del cable

Línea 1	Línea 2	Unidades
0,03	0,03	(Ohm)
1,34	1,34	(Ohm/Km)
25	25	(m)

**06.03 Resistencia de contacto cátodo (tubería)/Electrolito,  $R_{c-e}$**

$$R_{c-e} = r / (2pLa(1-E_c)) \left[ \ln \left( \frac{4La^2 + 4La \left( \frac{(2ht)^2 + La^2}{1/2} \right)^{1/2}}{dt} \right) + \ln \left( \frac{La}{ht} \right) + 2h/La - \left( \frac{(2ht)^2 + La^2}{1/2} \right)^{1/2} / La - 1 \right]$$

$\rho$  = Resistividad del suelo

$L_a$  = Longitud total del cátodo  
horizontal

$d_a$  = Diámetro del cátodo

$h_i$  = Profundidad a la que el  
cátodo está enterrado

$E_c$  = Eficiencia de  
revestimiento, 98,49 % al final de  
vida del sistema

Línea 1	Línea 2	Unidades
<b>0,39</b>	<b>0,41</b>	<b>(Ohm)</b>
74,03	74,03	(Ohm-m)
42.600,00	42.600,00	(m)
0,406	0,114	(m)
1,606	1,314	(m)
98%	98%	

**Resistencia total en el lado negativo,  $R_{TN}$**

$$R_{lado\ negativo} = R_{ca} + R_{c-e}$$

$$1/R_{lado\ negativo}$$

$$R_{TN} = (1 / \sum (1/R_{linea1} + \dots + 1/R_{linea4}))$$

Línea 1	Línea 2	Unidades
0,42	0,44	(Ohm)
2,36	2,27	(Ohm)
	<b>0,22</b>	(Ohm)

**06.04 Resistencia total  $R_T$**

$$R_T = R_{lado\ positivo} + R_{lado\ negativo} = R_{TP} + R_{TN}$$

1,49 (Ohm)

**06.05 Voltaje Equipo Rectificador**

Incrementamos la corriente en un 1% adicional, la corriente calculada máxima sería:

21,89 (A)

$$V_{rectificador} = Corriente\ Max. \cdot Resistencia\ Total (R_T) + Voltaje\ de\ Retorno$$

Corriente<sub>max</sub>

21,89 (A)

Resistencia Total

1,49 (Ohm)

Voltaje de Retorno

2 (V)

$V_{rectificador}$

34,70 (V)

Requerimos un Rectificador de 35 Voltios 30 Amperios.

**06.06 Resistencia Nominal del Rectificador, ( $R_n$ )**

$$R_n = V_n / A_n$$

1,17 (Ohm)

$V_n$  = Voltaje Nominal del Rectificador

35,0 (V)

$A_n$  = Amperaje Nominal del Rectificador

30,0 (A)

**07 Atenuación:**

a) Resistencia lineal de la tubería por unidad de longitud 100 m:  $r = \rho \cdot L / A$

DESCRIPCIÓN	Línea 1	Línea 2	Unidades
$r_l$ = Resistencia lineal de la tubería	<b>0,00135</b>	<b>0,00659</b>	<b>(Ohm/Unidad)</b>
$\rho_{ac}$ = Resistividad del Acero al carbono, $1.344 \times 10^{-5}$ (Ohm-cm)	0,000013440	0,000013440	(Ohm-m)
L = Unidad de longitud de la tubería	100,00	100,00	(m)
$A_{tr}$ = Área de la sección transversal	0,00992	0,00204	(m <sup>2</sup> )
Número de unidades	426,00000	426,00000	



**HOJA DE CÁLCULO SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
LÍNEAS NPF**



PROINDIA CIA. LTDA.

b) Resistividad del suelo con 7402,59 (Ohm-cm) por unidad de longitud:

DESCRIPCIÓN	Línea 1	Línea 2	Unidades
$g = G \cdot A \cdot 1000$ W-cm/7402,59 W-cm (g = Conductancia Unitaria a Tierra)	0,45293	0,12739	(S/Unidad)
G = Fuga de Conductancia G = 0,014941 (Siemens/m2) para un revestimiento de protección de calidad pobre	0,02626	0,02626	(S/m <sup>2</sup> )
$A_{un.}$ = Área por cada 100 m de unidad de longitud	127,67433	35,90840	(cm <sup>2</sup> )
<b>c) Atenuación: <math>a = (r \cdot g)^{0,5}</math></b>	<b>0,02477</b>	<b>0,02897</b>	
<b>d) Res. Característica: <math>R_G = (r/g)^{0,5}</math></b>	<b>0,05469</b>	<b>0,22744</b>	<b>(Ohm/Unid L)</b>

e) Resistencia mirando a cada lado del cetro de la tubería:  $R_{so} = R_G \cdot \coth(ax)$

DESCRIPCIÓN	Línea 1	Línea 2	Unidades
Distancia desde el centro, x	426,0000	426,0000	Unid. Long.
ax	10,5525	12,3424	
$R_{so} =$	0,0547	0,2274	(Ohm)

*Corriente en cada dirección desde el centro para producir una modificación de 1000 (mV) en el potencial estático en la fuente*

	Línea 1	Línea 2	Unidades
$I_s$	18,28	4,40	(A)
TOTAL CORRIENTE CALCULADA POR ATENUACIÓN:		<b>22,68</b>	(A)

CÁLCULO DE DENSIDAD DE CORRIENTE:  $i = I_s / (1 - E_c) \cdot S$

21 (mA/m<sup>2</sup>)

E (Voltaje en extremo x de tubería)

Línea 1	Línea 2	Unidades
0,000052	0,000009	(V)
0,0010	0,000038	(A)
	0,000994	(A)

I (Corriente en extremo x de tubería)

TOTAL CORRIENTE EN EXTREMO x:

TOTAL CORRIENTE REQUERIDA:

22,68 (A)



HOJA DE CÁLCULO SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
LÍNEAS GINTA A



PRODIG CIA. LTDA.

	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Unidades
E (Voltaje en extremo x de tubería)	0,821	0,852	0,999	0,965	(V)
I (Corriente en extremo x de tubería)	1,2664	1,4667	27,7570	3,5723	(A)
TOTAL CORRIENTE EN EXTREMO x:				34,06	(A)



**HOJA DE CÁLCULO SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
LÍNEAS SPF**



PRODING CIA. LTDA.

**00 MÉTODO UTILIZADO** CORRIENTE IMPRESA

**01 CONDICIONES DE DISEÑO**

**01.01** RESISTIVIDAD DEL SUELO A LO LARGO DEL DDV (Información de Repsol-YPF) 4.903,45 (Ohm-cm)

01.02 INFORMACIÓN ACERCA DE LÍNEAS				
DESCRIPCIÓN	Línea 16" SPF - NPF	Línea 4" SPF - NPF	UNIDAD	
NÚMERO DE LÍNEA:	1	2	(un)	
DIÁMETRO NOMINAL:	16,00	4,00	(Pulgadas)	
DIÁMETRO EXTERNO:	16,00	4,50	(Pulgadas)	
ESPESOR DE PARED:	0,312	0,236	(Pulgadas)	
MATERIAL API:	5LX-60	5LX-42		
LONGITUD:	67.300,00	67.300,00	(m)	
ÁREA:	85.924,82	24.166,36	(m <sup>2</sup> )	
PRODUCTO:	CRUDO	DIESEL		
<b>01.03</b> TEMPERATURA DE DISEÑO:	96	96	(°C)	
<b>01.04</b> TIPO DE REVESTIMIENTO:	FBE	FBE		
<b>01.05</b> MÉTODO DE PROTECCIÓN CATÓDICA (PC):	FBE=FUSION BONDED EPOXY			
	CORRIENTE IMPRESA			
<b>01.06</b> DENSIDAD DE CORRIENTE DE PC:	0,02	0,02	(A/m <sup>2</sup> )	
<b>01.07</b> POTENCIAL NATURAL CÁTODO/ELECTROLITO, vs Cu/CuSO4 RE	659,00	614,00	(-mV)	
<b>01.08</b> VIDA ÚTIL ESPERADA, DISEÑO:	25,00	25,00	(Años)	
<b>01.09</b> CANTIDAD DE LÍNEAS	1,00	1,00	(un)	

**02 ÁREA A PROTEGER:**

ÁREA EXTERNA TOTAL DE LA LÍNEA:	110.091,18	(m <sup>2</sup> )
FACTOR DE SEGURIDAD POR ACCESORIOS Y RAMALES, ÁREA:	3%	3.302,74 (m <sup>2</sup> )
ÁREA TOTAL	<b>113.393,91</b>	(m <sup>2</sup> )

**03 CORRIENTE REQUERIDA DE PROTECCIÓN CATÓDICA, I<sub>p</sub>**

I <sub>p</sub> = S*di(1-Ec)	40,82	(A)
S = Área a proteger	113.393,91	(m <sup>2</sup> )
d <sub>i</sub> = densidad de Corriente calculada	0,020	(mA/m <sup>2</sup> )
E <sub>c</sub> = Eficiencia de revestimiento, 98,2 % al final de vida del sistema	98%	

**04 CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE ÁNODOS, (N<sub>A</sub>)**

N <sub>A</sub> = I <sub>p</sub> /i <sub>a</sub>	10,12	(un)
I <sub>p</sub> = Corriente requerida total	40,82	(A)
i <sub>a</sub> = Salida de corriente de un ánodo individual, Dimensiones Diámetro. 0.25 in.x 4 Ft LG. Eficiencia del ánodo 40% Tasa de drenaje de corriente en relleno de carbón, para 20 años 4.14 amperios	4,03	(A)
N <sub>A</sub> = Cantidad asumida de ánodos Se asume mayor cantidad de ánodos para disminuir la resistencia de la cama	12,00	(un)
Profundidad para la instalación de los ánodos horizontales	2,50	(m)

*Tipo de ánodos seleccionados barras-Ti-MMO (Mixed Metal Oxide), canister*



**HOJA DE CÁLCULO SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
LÍNEAS SPF**



PROINDIA CIA. LTDA.

<b>PESO DEL RELLENO (BACKFILL) DE BAJA</b>		
<b>05 RESISTIVIDAD PARA LA CAMA ANÓDICA: LORESCO SW,</b>	<b>1.138,49</b>	(Kg)
Densidad del relleno (d):	865,77	(Kg/m <sup>3</sup> )
Volumen de la cama:	1,40	(m <sup>3</sup> )
Donde:		
Ancho de la zanja de la cama anódica	0,20	(m)
Profundidad de la zanja de la cama anódica	0,20	(m)
Largo total de la cama anódica	<b>34,96</b>	(m)
Cantidad de sacos de 50 lb:	50	(Sacos)
Volumen de ánodos:	0,08	(m <sup>3</sup> )

**06 CÁLCULO DE RESISTENCIAS DEL CIRCUITO**

$R_{\text{lado positivo}} = R_{ca} + R_{a-e}$

$R_{ca}$  = Resistencia de cables, (Ohm)

$R_{a-e}$  = Resistencia ánodo/electrolito, (Ohm)

$R_{\text{lado negativo}} = R_{ca} + R_{c-e}$

$R_{ca}$  = Resistencia de cables, (Ohm)

$R_{c-e}$  = Resistencia Cátodo/Electrolito, (Ohm)

RESISTENCIA TOTAL,  $R_T$

$R_T = R_{\text{lado positivo}} + R_{\text{lado negativo}}$

**06.01 RESISTENCIA EN EL LADO POSITIVO**

**Resistencia del Cable,  $R_{ca}$**

$R_{ca} = r_{ca} * L_{ca}$  0,29 (Ohm)

$r_{ca}$  = resistencia del cable, HMWPE AWG 6 1,34 (Ohm/Km)

$L_{ca}$  = Longitud del cable 220,00 (m)

**Resistencia ánodos/Electrolitos en posición vertical ( $R_{a-e}$ ), Ohm**

(Ecuación de Sunde para un número de electrodos verticales conectados en paralelo)

$R_{a-e} = r / (2pL_a N) [ \ln(8L_a / d_a) - 1 + 2L_a / S (\ln 0.656N) ]$  0,37 (Ohm)

$\rho$  = Resistividad del suelo medida in sitio para la capa c 8,32 (Ohm-m)

$L_a$  = Longitud del ánodo individual 1,52 (m)

$d_a$  = Diámetro del ánodo pre-empacado, 0,23 (m)

$S$  = Espaciamiento entre ánodos en la cama enterrada, 3,00 (m)

$N$  = Número de electrodos (ánodos) en paralelo 12,00 (un)

**Resistencia ánodos/Electrolito en posición horizontal ( $R_{a-e}$ ), Ohm**

(Ecuación modificada de Dwight para electrodos horizontales o cama continua de ánodos)

$R_{a-e} = r / (2pL_a) [ \ln(4L_a / d_a) + \ln(L_a / h) - 2h / L_a ]$  0,27 (Ohm)

$\rho$  = Resistividad del suelo medida in sitio para la capa c 8,32 (Ohm-m)

$L_a$  = Longitud total del ánodo horizontal 34,96 (m)

$d_a$  = Diámetro del ánodo equivalente de la cama anódica 0,23 (m)

$h$  = Profundidad a la que el ánodo está enterrado, 2,50 (m)

Separación entre ánodos 1.52 m.

Se selecciona la posición de ánodos horizontal para la cama de ánodos.

**Resistencia total en el lado positivo  $R_{Tp}$ , Ohm**

$R_{\text{lado positivo}}$  0,57 (Ohm)



**HOJA DE CÁLCULO SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
LÍNEAS SPF**



PRODIGIA CIA. LTDA.

**06.02 RESISTENCIA EN EL LADO NEGATIVO**

$$R_{\text{lado negativo}} = R_{ca} + R_{c-e}$$

Resistencia de cables,  $R_{ca}$

$$R_{ca} = r_{ca} \cdot L_{ca}$$

$r_{ca}$  = Resistencia de cable, HMWPE AWG 6

$L_{ca}$  = Longitud del cable

Línea 1	Línea 2	Unidades
0,09	0,09	(Ohm)
1,34	1,34	(Ohm/Km)
70	70	(m)

**06.03 Resistencia de contacto cátodo (tubería)/Electrolito,  $R_{c-e}$**

$$R_{c-e} = r / (2pLa(1-Ec)) [\ln((4La^2 + 4La((2ht)^2 + La^2)^{1/2}) / dt) + \ln(La/ht) + 2h/La - ((2ht)^2 + La^2)^{1/2} / La - 1]$$

$\rho$  = Resistividad del suelo

$L_a$  = Longitud total del cátodo horizontal

$d_a$  = Diámetro del cátodo

$h_t$  = Profundidad a la que el cátodo está enterrado

$E_c$  = Eficiencia de revestimiento, 98,2 % al final de vida del sistema

Línea 1	Línea 2	Unidades
0,14	0,15	(Ohm)
49,03	49,03	(Ohm-m)
67.300,00	67.300,00	(m)
0,406	0,114	(m)
1,606	1,314	(m)
98%	98%	

**Resistencia total en el lado negativo,  $R_{TN}$**

$$R_{\text{lado negativo}} = R_{ca} + R_{c-e}$$

$1/R_{\text{lado negativo}}$

$$R_{TN} = (1 / \sum (1/R_{\text{línea } 1} + \dots + 1/R_{\text{línea } 4}))$$

Línea 1	Línea 2	Unidades
0,24	0,24	(Ohm)
4,22	4,12	(Ohm)
	0,12	(Ohm)

**06.04 Resistencia total  $R_T$**

$$R_T = R_{\text{lado positivo}} + R_{\text{lado negativo}} = R_{TP} + R_{TN}$$

0,69 (Ohm)

**06.05 Voltaje Equipo Rectificador**

Incrementamos la corriente en un 10% adicional, la corriente calculada máxima sería:

44,90 (A)

$$V_{\text{rectificador}} = \text{Corriente Max.} \cdot \text{Resistencia Total } (R_T) + \text{Voltaje de Retorno}$$

Corriente<sub>max</sub>

44,90 (A)

Resistencia Total

0,69 (Ohm)

Voltaje de Retorno

2 (V)

$V_{\text{rectificador}}$

32,89 (V)

Requerimos un Rectificador de 60 Voltios 50 Amperios.

**06.06 Resistencia Nominal del Rectificador, ( $R_n$ )**

$$R_n = V_n / A_n$$

1,20 (Ohm)

$V_n$  = Voltaje Nominal del Rectificador

60,0 (V)

$A_n$  = Amperaje Nominal del Rectificador

50,0 (A)

**07 Atenuación**

a) Resistencia lineal de la tubería por unidad de longitud 100 m:  $r = \rho \cdot L / A$



**HOJA DE CÁLCULO SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
LÍNEAS SPF**



PRODIG CIA. LTDA.

DESCRIPCIÓN	Línea 1	Línea 2	Unidades
<b>rl = Resistencia lineal de la tubería</b>	<b>0,0014</b>	<b>0,0066</b>	<b>(Ohm/Unidad)</b>
$\rho_{ac}$ = Resistividad del Acero al carbono, $1.344 \times 10^{-5}$ (Ohm-cm)	0,0000134	0,0000134	(Ohm-m)
L = Unidad de longitud de la tubería	100,0000	100,0000	(m)
$A_{tr}$ = Área de la sección transversal	0,0099	0,0020	(m <sup>2</sup> )
Número de unidades	673,0000	673,0000	

b) Resistividad del suelo con 4903,45 (Ohm-cm) por unidad de longitud:

DESCRIPCIÓN	Línea 1	Línea 2	Unidades
$g = G \cdot A \cdot 1000$ W-cm/4903,45 W-cm (g = Conductancia Unitaria a Tierra)	1,46714	0,41263	(S/Unidad)
G = Fuga de Conductancia G = 0.014941 (Siemens/m <sup>2</sup> ) para un revestimiento de protección de calidad pobre	0,05635	0,05635	(S/m <sup>2</sup> )
$A_{un.}$ = Área por cada 100 m de unidad de longitud	127,67433	35,90840	(cm <sup>2</sup> )
<b>c) Atenuación: <math>a = (rl \cdot g)^{0.5}</math></b>	<b>0,04458</b>	<b>0,05214</b>	
<b>d) Res. Característica: <math>R_G = (rl/g)^{0.5}</math></b>	<b>0,03039</b>	<b>0,12637</b>	<b>(Ohm/Unid L)</b>

e) Resistencia mirando a cada lado del centro de la tubería:  $R_{so} = R_G \cdot \coth(ax)$

DESCRIPCIÓN	Línea 1	Línea 2	Unidades
Distancia desde el centro, x	673,0000	673,0000	Unid. Long.
ax	30,0041	35,0933	
$R_{so}$ =	0,0304	0,1264	(Ohm)

*Corriente en cada dirección desde el centro para producir una modificación de 1000 (mV) en el potencial estático en la fuente*

	Línea 1	Línea 2	Unidades
$I_s$	32,91	7,91	(A)
TOTAL CORRIENTE CALCULADA POR ATENUACIÓN:		<b>40,82</b>	(A)
CÁLCULO DE DENSIDAD DE CORRIENTE: $i = I_s / (1 - E_c) \cdot S$		20	(mA/m <sup>2</sup> )

E (Voltaje en extremo x de tubería)  
I (Corriente en extremo x de tubería)  
TOTAL CORRIENTE EN EXTREMO x:

Línea 1	Línea 2	Unidades
0,00E+00	0,00E+00	(V)
0,00E+00	0,00E+00	(A)
	0,000000	(A)

TOTAL CORRIENTE REQUERIDA:

40,82 (A)



**00 MÉTODO UTILIZADO** CORRIENTE IMPRESA

**01 CONDICIONES DE DISEÑO**

**01.01** RESISTIVIDAD DEL SUELO A LO LARGO DEL DDV (Información de Repsol-YPF) 5.255,26 (Ohm-cm)

01.02 INFORMACIÓN ACERCA DE LÍNEAS				
DESCRIPCIÓN	Línea 14" TIVACUNO - NPF	LÍNEA DE 10" NPF - TIVACUNO	Línea 18" INYECCIÓN	UNIDAD
NÚMERO DE LÍNEA:	1	2	3	(un)
DIÁMETRO NOMINAL:	14,00	10,00	8,00	(Pulgadas)
DIÁMETRO EXTERNO:	14,00	10,75	8,63	(Pulgadas)
ESPESOR DE PARED:	0,250	0,307	0,277	(Pulgadas)
MATERIAL API:	5LX-60	5LX-60	5LX-60	
LONGITUD:	13.160,00	13.260,00	5.300,00	(m)
ÁREA:	14.701,70	11.374,59	3.647,70	(m <sup>2</sup> )
PRODUCTO:	CRUDO	AGUA DE PRODUCCIÓN	AGUA DE PRODUCCIÓN	
<b>01.03</b> TEMPERATURA DE DISEÑO:	96	96	96	(°C)
<b>01.04</b> TIPO DE REVESTIMIENTO:	3LPP	3LPP	3LPP	
	3LPP = POLIPROPILENO TRICAPA			
<b>01.05</b> MÉTODO DE PROTECCIÓN <input type="checkbox"/> CATÓDICA (PC):	CORRIENTE IMPRESA			
<b>01.06</b> DENSIDAD DE CORRIENTE <input type="checkbox"/> DE PC:	0,02	0,02	0,02	(A/m <sup>2</sup> )
<b>01.07</b> POTENCIAL NATURAL CÁTODO/ELECTROLITO, vs Cu/CuSO4 RE	507,00	489,00	507,00	(-mV)
<b>01.08</b> VIDA ÚTIL ESPERADA, DISEÑO:	25,00	25,00	25,00	(Años)
<b>01.09</b> CANTIDAD DE LÍNEAS	1,00	1,00	1,00	(un)

**02 ÁREA A PROTEGER:**

ÁREA EXTERNA TOTAL DE LA LÍNEA:	29.723,98	(m <sup>2</sup> )
FACTOR DE SEGURIDAD POR ACCESORIOS Y RAMALES, ÁREA:	3%	891,72 (m <sup>2</sup> )
<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>30.615,70</b>	<b>(m<sup>2</sup>)</b>

**03 CORRIENTE REQUERIDA DE PROTECCIÓN CATÓDICA, I<sub>p</sub>**

$I_p = S \cdot d_i (1 - E_c)$	30,62	(A)
S = Área a proteger	30.615,70	(m <sup>2</sup> )
d <sub>i</sub> = densidad de Corriente calculada	0,020	(A/m <sup>2</sup> )
E <sub>c</sub> = Eficiencia de revestimiento, 95 % al final de vida del sistema	95%	

**04 CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE ÁNODOS, (N<sub>A</sub>)**

$N_A = I_p / i_a$	7,59	(un)
I <sub>p</sub> = Corriente requerida total	30,62	(A)
i <sub>a</sub> = Salida de corriente de un ánodo individual, Dimensiones Diámetro. 0.25 in.x 4 Ft LG. Eficiencia del ánodo 40% Tasa de drenaje de corriente en relleno de carbón, para 20 años 4.14 amperios	4,03	(A)
N <sub>A</sub> = Cantidad asumida de ánodos	10,00	(un)
Profundidad para la instalación de los ánodos horizontales	2,50	(m)

Tipo de ánodos seleccionados barras-TI-MMO (Mixed Metal Oxide), cannister

**05 PESO DEL RELLENO (BACKFILL) DE BAJA RESISTIVIDAD  
PARA LA CAMA ANÓDICA: LORESCO SW,**

Densidad del relleno (d):	939,97	(Kg)
Volumen de la cama:	865,77	(Kg/m <sup>3</sup> )
Donde:	1,16	(m <sup>3</sup> )
Ancho de la zanja de la cama anódica	0,20	(m)
Profundidad de la zanja de la cama anódica	0,20	(m)
Largo total de la cama anódica	<b>28,88</b>	<b>(m)</b>

Cantidad de sacos de 50 lb: 41 (Sacos)  
 Volumen de ánodos: 0,07 (m<sup>3</sup>)

**06 CÁLCULO DE RESISTENCIAS DEL CIRCUITO**

$R_{lado\ positivo} = R_{ca} + R_{a-e}$

$R_{ca}$  = Resistencia de cables, (Ohm)  
 $R_{a-e}$  = Resistencia ánodo/electrolito, (Ohm)

$R_{lado\ negativo} = R_{ca} + R_{c-e}$

$R_{ca}$  = Resistencia de cables, (Ohm)  
 $R_{c-e}$  = Resistencia Cátodo/Electrolito, (Ohm)

RESISTENCIA TOTAL,  $R_T$

$R_T = R_{lado\ positivo} + R_{lado\ negativo}$

**06.01 RESISTENCIA EN EL LADO POSITIVO**

**Resistencia del Cable,  $R_{ca}$**

$R_{ca} = r_{ca} * L_{ca}$  0,13 (Ohm)

$r_{ca}$  = resistencia del cable, HMWPE AWG 6 1,34 (Ohm/Km)  
 $L_{ca}$  = Longitud del cable 100,00 (m)

**Resistencia ánodos/Electrolitos en posición vertical ( $R_{a-e}$ ), Ohm**

(Ecuación de Sunde para un número de electrodos verticales conectados en paralelo)

$R_{a-e} = r / (2pL_a N) [ \ln(8L_a/d_a) - 1 + 2L_a/S(\ln 0.656N) ]$  2,32 (Ohm)

$\rho$  = Resistividad del suelo medida en sitio para la capa c 45,22 (Ohm-m)  
 $L_a$  = Longitud del ánodo individual 1,52 (m)  
 $d_a$  = Diámetro del ánodo pre-empacado, 0,23 (m)  
 $S$  = Espaciamiento entre ánodos en la cama enterrada, 3,00 (m)  
 $N$  = Número de electrodos (ánodos) en paralelo 10,00 (un)

**Resistencia ánodos/Electrolito en posición horizontal ( $R_{a-e}$ ), Ohm**

(Ecuación modificada de Dwight para electrodos horizontales o cama continua de ánodos)

$R_{a-e} = r / (2pL_a) [ \ln(4L_a/d_a) + \ln(L_a/h) - 2h/L_a ]$  1,71 (Ohm)

$\rho$  = Resistividad del suelo medida en sitio para la capa c 45,22 (Ohm-m)  
 $L_a$  = Longitud total del ánodo horizontal 28,88 (m)  
 $d_a$  = Diámetro del ánodo equivalente de la cama anódica 0,23 (m)  
 $h$  = Profundidad a la que el ánodo está enterrado, 2,50 (m)  
 Separación entre ánodos 1.52 m.

Se selecciona la posición de ánodos horizontal para la cama de ánodos.

**Resistencia total en el lado positivo  $R_{TP}$ , Ohm**

$R_{lado\ positivo}$  1,84 (Ohm)

**06.02 RESISTENCIA EN EL LADO NEGATIVO**

$R_{lado\ negativo} = R_{ca} + R_{c-e}$

Resistencia de cables,  $R_{ca}$

$R_{ca} = r_{ca} * L_{ca}$

$r_{ca}$  = Resistencia de cable, HMWPE AWG 6

$L_{ca}$  = Longitud del cable

Línea 1	Línea 2	Línea 3	Unidades
0,08	0,08	0,08	(Ohm)
1,34	1,34	1,34	(Ohm/Km)
60	60	60	(m)

**06.03 Resistencia de contacto cátodo (tubería)/Electrolito,  $R_{c-e}$**

$R_{c-e} = r / (2pLa(1-Ec)) [ \ln((4La^2+4La(((2ht)^2+La^2)^{1/2})/dt) + \ln(La/ht)+2h/La - ((2ht)^2+La^2)^{1/2}/La - 1) ]$

$\rho$  = Resistividad del suelo  
 $L_h$  = Longitud total del cátodo horizontal  
 $d_c$  = Diámetro del cátodo  
 $h_c$  = Profundidad a la que el cátodo está enterrado  
 $E_c$  = Eficiencia de revestimiento, 95 % al final de vida del sistema

Línea 1	Línea 2	Línea 3	Unidades
0,24	0,24	0,55	(Ohm)
52,55	52,55	52,55	(Ohm-m)
13.160,00	13.260,00	5.300,00	(m)
0,356	0,273	0,219	(m)
1,556	1,473	1,419	(m)
95%	95%	95%	

**Resistencia total en el lado negativo,  $R_{TN}$**

$R_{lado\ negativo} = R_{ca} + R_{c-e}$   
 $1/R_{lado\ negativo}$   
 $R_{TN} = (1/\sum(1/R_{línea1} + \dots + 1/R_{línea\ n}))$

Línea 1	Línea 2	Línea 3	Unidades
0,32	0,32	0,63	(Ohm)
3,11	3,10	1,58	(Ohm)
		0,13	(Ohm)

**06.04 Resistencia total  $R_T$**

$R_T = R_{lado\ positivo} + R_{lado\ negativo} = R_{TP} + R_{TN}$  1,97 (Ohm)

**06.05 Voltaje Equipo Rectificador**

Incrementamos la corriente en un 10% adicional, la corriente calculada máxima sería: 33,68 (A)

$V_{rectificador} = Corriente\ Max. \times Resistencia\ Total (R_T) + Voltaje\ de\ Retorno$

Corriente<sub>max</sub> 33,68 (A)  
 Resistencia Total 1,97 (Ohm)  
 Voltaje de Retorno 2 (V)  
  
 $V_{rectificador}$  68,39 (V)

Requerimos un Rectificador de 70 Voltios 40 Amperios

**06.06 Resistencia Nominal del Rectificador, ( $R_n$ )**

$R_n = V_n / A_n$  1,75 (Ohm)

$V_n$  = Voltaje Nominal del Rectificador 70,0 (V)

$A_n$  = Amperaje Nominal del Rectificador 40,0 (A)

**07 Atenuación**

a) Resistencia lineal de la tubería por unidad de longitud 100 m:  $r = \rho * L / A$

DESCRIPCIÓN	LÍNEA 1	LÍNEA 2	LÍNEA 3	Unidades
<b><math>r_l</math> = Resistencia lineal de la tubería</b>	<b>0,00193</b>	<b>0,00207</b>	<b>0,00287</b>	<b>(Ohm/Unidad)</b>
$\rho_{ac}$ = Resistividad del Acero al carbono, $1.344 \times 10^{-5}$ (Ohm-cm)	0,000013440	0,000013440	0,000013440	(Ohm-m)
L = Unidad de longitud de la tubería	100,00	100,00	100,00	(m)
$A_{tr}$ = Área de la sección transversal	0,00697	0,00650	0,00469	(m <sup>2</sup> )
Número de unidades	131,60000	132,60000	53,00000	

b) Resistividad del suelo con 5255,26 (Ohm-cm) por unidad de longitud:

DESCRIPCIÓN	LÍNEA 1	LÍNEA 2	LÍNEA 3	Unidades
$g = G * A * 1000$ W-cm/5255,26 W-cm (g = Conductancia Unitaria a Tierra)	0,317606	0,24388	0,19567	(S/Unidad)
G = Fuga de Conductancia G = 0.014941 (Siemens/m <sup>2</sup> ) para un revestimiento de protección de calidad pobre	0,014941	0,014941	0,014941	(S/m <sup>2</sup> )
$A_{un.}$ = Área por cada 100 m de unidad de longitud	111,7150	85,7812	68,8244	(cm <sup>2</sup> )
<b>c) Atenuación: <math>\alpha = (r_l * g)^{0.5}</math></b>	<b>0,024752</b>	<b>0,022459</b>	<b>0,023688</b>	
<b>d) Res. Característica: <math>R_G = (r_l / g)^{0.5}</math></b>	<b>0,077934</b>	<b>0,092093</b>	<b>0,121060</b>	<b>(Ohm/Unid L)</b>

e) Resistencia mirando a cada lado del centro de la tubería:  $R_{so} = R_G \coth(ax)$

DESCRIPCIÓN	LÍNEA 1	LÍNEA 2	LÍNEA 3	Unidades
Distancia desde el centro, x	131,6000	132,6000	53,0000	Unid. Long.
$\alpha x$	3,2574	2,9781	1,2554	
$R_{so} =$	0,0782	0,0926	0,1425	(Ohm)

*Corriente en cada dirección desde el centro para producir una modificación de 1000 (mV) en el potencial estático en la fuente*

	<b>LÍNEA 1</b>	<b>LÍNEA 2</b>	<b>LÍNEA 3</b>	<b>Unidades</b>
$I_s$	12,79347	10,80255	7,01969	(A)
TOTAL CORRIENTE CALCULADA POR ATENUACIÓN:			<b>30,62</b>	(A)

CÁLCULO DE DENSIDAD DE CORRIENTE:  $i = I_s / (1 - E_c) * S$  20,00 (mA/m<sup>2</sup>)

	<b>LÍNEA 1</b>	<b>LÍNEA 2</b>	<b>LÍNEA 3</b>	<b>Unidades</b>
E (Voltaje en extremo x de tubería)	0,077	0,102	0,527	(V)
I (Corriente en extremo x de tubería)	0,9833	1,0966	3,7001	(A)
TOTAL CORRIENTE EN EXTREMO x:			<b>5,78</b>	(A)

## **ANEXO C**

## **ANEXO D**

# Flexible Anode Systems

## By Covalence

A system of impressed current, flexible cable anodes for cathodic protection systems of buried structures.



1. **AnodeFlex 850** - Flexible anode for impressed-current cathodic protection of above ground and buried storage tanks. Four-element construction: central copper conductor, conductive polymer jacket, coke breeze, fabric jacket.
2. **AnodeFlex 1500** - Flexible anode for impressed-current cathodic protection for directional drill applications. Five-element construction: central copper conductor, conductive polymer jacket, coke breeze, fabric jacket, outer protective braid.
3. **AnodeFlex 3000** - Flexible anode for impressed-current cathodic protection of buried pipelines and on-grade and buried storage tanks. Five-element construction: central copper conductor, copper-cored, mixed metal oxide (MMO) anode, coke breeze, fabric jacket, outer protective braid.
4. **AnodeFlex Splice Kits** - In-line splice, Tee splice, or end-cap splice kits for AnodeFlex 1500 system.

## What is AnodeFlex™?

**AnodeFlex** is an impressed current, flexible cable anode system for use in cathodic protection of buried structures. Placed alongside a pipe or other buried metal structure, AnodeFlex provides uniform cathodic protection to every point, with a minimum of interference from adjacent structures.



**The four basic elements in the AnodeFlex system:**

- **A high performance coke breeze** serving as the active matrix in which the anodic reactions take place.
- **A copper conductor** serving as a low resistance busbar to deliver the required current over considerable distance without incurring substantial longitudinal voltage drop.
- **A special conductive polymer** that seal the conductor from chemical attack, yet allows current to flow from the conductor to the environment all along its length.
- **A fabric jacket** to hold the coke breeze in place around the anode cable. This jacket is designed to resist electrochemical attack, but to allow current flow from the anode to the surrounding soil.

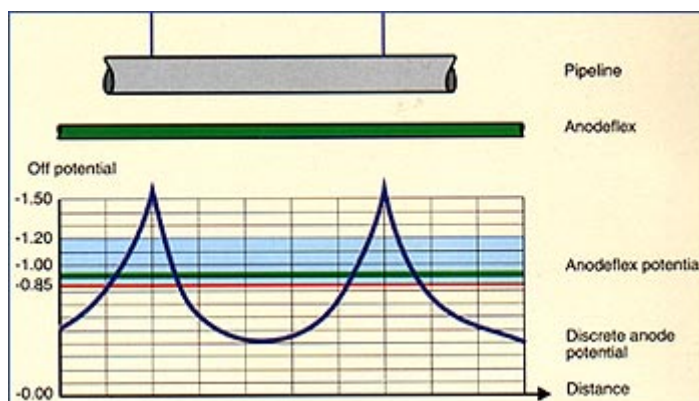


## Installation

Installation of AnodeFlex is done using standard cable laying equipment, such as a hydraulic backhoe equipped with reel pay off equipment. A typical trench is only about 1 foot deep, and 6" wide. No special backfill is required. Typical installation rates of 2 miles per day can be achieved. AnodeFlex is supplied on a reel. A set of specially designed splice kits is available to handle in-line splices, branch off, and end terminations.



## Why use AnodeFlex systems?



**AnodeFlex continuous anode vs. discrete anode potential distribution along a pipeline.**

AnodeFlex is used to achieve effective and homogeneous cathodic protection over the entire surface of the buried structure. Cathodic protection current should not be supplied to high demand areas at the expense of remote parts of the structure. Homogeneous distribution therefore is more important than current output. AnodeFlex is a unique and cost-effective way to keep the operation of a pipeline in compliance with cathodic protection DOT or other regulations.

The use of AnodeFlex on pipelines will eliminate many of the problems found with conventional grounded anodes:

- It equalizes cathodic protection at consistent levels all along the line.
- Its low overall current output will stop further coating degradation caused by cathodic disbonding when higher current output anodes are used.
- Since AnodeFlex is installed adjacent to the pipelines and its current output per feet is low, interference problems are significantly reduced.
- In most cases, AnodeFlex can be installed in the pipeline ROW. Environmental and other ROW-related problems are therefore kept to a minimum.

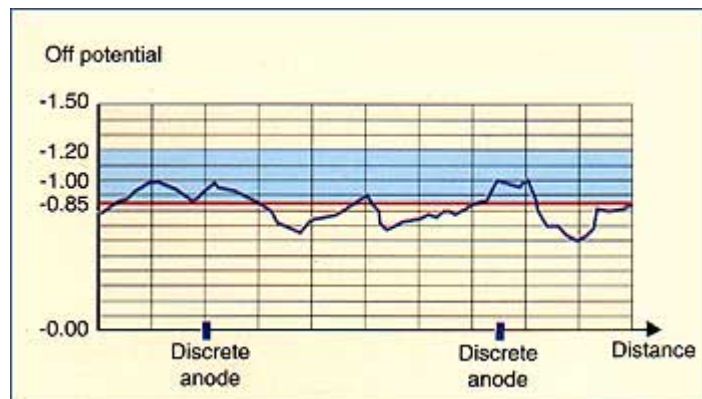


## Where are AnodeFlex systems used?

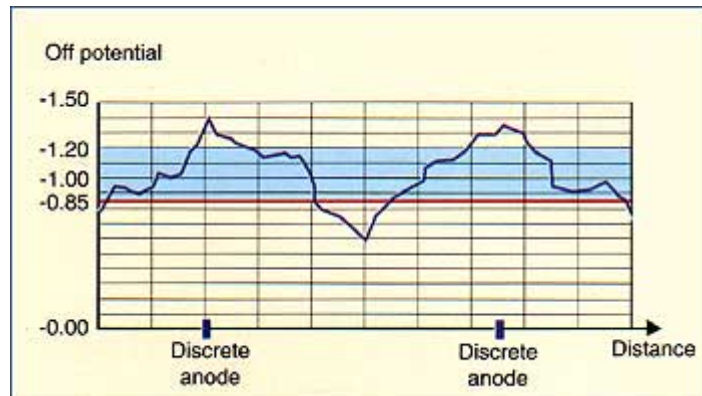
One of the major uses of AnodeFlex is in rehabilitation of pipelines, where aging and degrading coatings no longer provide adequate corrosion protection. Re-coating the pipe is a very expensive solution, often requiring to shut down the pipeline over an extended period of time. In addition, the pipeline operator is facing major problems of obtaining environmental permits and disposal of toxic materials.

### Solving Potential Problems along a Pipeline:

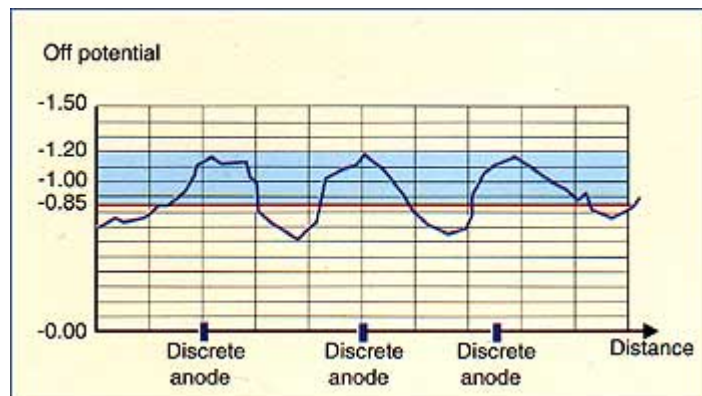
A close interval survey shows the underprotected areas, caused by deteriorating pipeline coating.



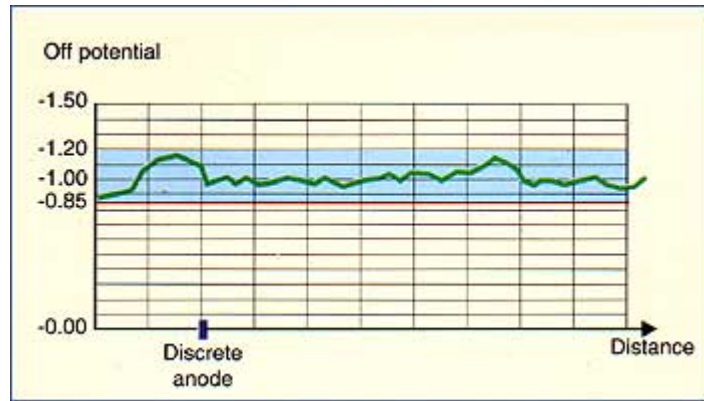
Increasing current output of existing grounded anodes is no longer an option, since this will aggravate the problem by further disbonding of the pipe coating.



Installation of an additional grounded does not solve the problem, as underprotected areas remain.



The AnodeFlex systems offers a better, more cost effective, and environmental friendly approach to pipe rehabilitation. It is typically installed in the same right of way as the pipe, adjacent to the pipe, with only minimal disturbance of the environment. AnodeFlex provides cathodic protection on every point without causing any under or overprotection.



## **ANEXO E**

## **NORMAS PARA EL ANÁLISIS DE FLUIDOS AGUA, DIESEL, CRUDO**

### **ASTM D93-00**

Standard Test Methods for Flash-Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester

### **ASTM D1298**

Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method

### **ASTM D86**

Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure

### **ASTM D976**

Standard Test Methods for Calculated Cetane Index of Distillate Fuels

### **ASTM D88**

Standard Test Method for Saybolt Viscosity

### **ASTM D1500**

Standard Test Method for ASTM Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale)

### **ASTM D473**

Standard Test Method for Sediment in Crude Oils and Fuel Oils by the Extraction Method

### **ASTM D189**

Standard Test Method for Conradson Carbon Residue of Petroleum Products

### **ASTM D482**

Standard Test Method for Ash from Petroleum Products

### **ASTM D4045**

Standard Test Method for Sulfur in Petroleum Products by Hydrogenolysis and Rateometric Colorimetry

### **ASTM D130**

Standard Test Method for Corrosiveness to Copper from Petroleum Products by Copper Strip Test

### **ASTM D97**

Standard Test Method for Pour Point of Petroleum Products

### **ASTM D611**

Standard Test Methods for Aniline Point and Mixed Aniline Point of Petroleum Products and Hydrocarbon Solvents

### **ASTM D4868**

Standard Test Method for Estimation of Net and Gross Heat of Combustion of  
Burner and Diesel Fuels

**ASTM B418**

Standard Specification for Cast and Wrought Galvanic Zinc Anodes

## **ANEXO F**



## NEMA Enclosure Types

The purpose of this document is to provide general information on the definitions of NEMA Enclosure Types to architects, engineers, installers, inspectors and other interested parties. [For more detailed and complete information, NEMA Standards Publication 250-2003, "*Enclosures for Electrical Equipment (1000 Volts Maximum)*" should be consulted. This Standards Publication as well as all other NEMA publications are available from IHS @ 800 854-7179 or <http://www.global.ih.com>]

### Definitions

[from NEMA 250-2003]

In Non-Hazardous Locations, the specific enclosure Types, their applications, and the environmental conditions they are designed to protect against, **when completely and properly installed**, are as follows:

**Type 1** Enclosures constructed for indoor use to provide a degree of protection to personnel against access to hazardous parts and to provide a degree of protection of the equipment inside the enclosure against ingress of solid foreign objects (falling dirt).

**Type 2** Enclosures constructed for indoor use to provide a degree of protection to personnel against access to hazardous parts; to provide a degree of protection of the equipment inside the enclosure against ingress of solid foreign objects (falling dirt); and to provide a degree of protection with respect to harmful effects on the equipment due to the ingress of water (dripping and light splashing).

**Type 3** Enclosures constructed for either indoor or outdoor use to provide a degree of protection to personnel against access to hazardous parts; to provide a degree of protection of the equipment inside the enclosure against ingress of solid foreign objects (falling dirt and windblown dust); to provide a degree of protection with respect to harmful effects on the equipment due to the ingress of water (rain, sleet, snow); and that will be undamaged by the external formation of ice on the enclosure.

**Type 3R** Enclosures constructed for either indoor or outdoor use to provide a degree of protection to personnel against access to hazardous parts; to provide a degree of protection of the equipment inside the enclosure against ingress of solid foreign objects (falling dirt); to provide a degree of protection with respect to harmful effects on the equipment due to the ingress of water (rain, sleet, snow); and that will be undamaged by the external formation of ice on the enclosure.

**Type 3S** Enclosures constructed for either indoor or outdoor use to provide a degree of protection to personnel against access to hazardous parts; to provide a degree of protection of the equipment inside the enclosure against ingress of solid foreign objects (falling dirt and windblown dust); to provide a degree of protection with respect to harmful effects on the equipment due to the ingress of water (rain, sleet, snow); and for which the external mechanism(s) remain operable when ice laden.

**Type 3X** Enclosures constructed for either indoor or outdoor use to provide a degree of protection to personnel against access to hazardous parts; to provide a degree of protection of the equipment inside the enclosure against ingress of solid foreign objects (falling dirt and windblown dust); to provide a degree of protection with respect to harmful effects on the equipment due to the ingress of water (rain, sleet, snow); that provides an additional level of protection against corrosion and that will be undamaged by the external formation of ice on the enclosure.

**Type 3RX** Enclosures constructed for either indoor or outdoor use to provide a degree of protection to personnel against access to hazardous parts; to provide a degree of protection of the equipment inside the enclosure against ingress of solid foreign objects (falling dirt); to provide a degree of protection with respect to harmful effects on the equipment due to the ingress of water (rain, sleet, snow); that will be undamaged by the external formation of ice on the enclosure that provides an additional level of protection against corrosion; and that will be undamaged by the external formation of ice on the enclosure.

**Type 3SX** Enclosures constructed for either indoor or outdoor use to provide a degree of protection to personnel against access to hazardous parts; to provide a degree of protection of the equipment inside the enclosure against ingress of solid foreign objects (falling dirt and windblown dust); to provide a degree of protection with respect to harmful effects on the equipment due to the ingress of water (rain, sleet, snow); that provides an additional level of protection against corrosion; and for which the external mechanism(s) remain operable when ice laden.

**Type 4** Enclosures constructed for either indoor or outdoor use to provide a degree of protection to personnel against access to hazardous parts; to provide a degree of protection of the equipment inside the enclosure against ingress of solid foreign objects (falling dirt and windblown dust); to provide a degree of protection with respect to harmful effects on the equipment due to the ingress of water (rain, sleet, snow, splashing water, and hose directed water); and that will be undamaged by the external formation of ice on the enclosure.



**Type 4X** Enclosures constructed for either indoor or outdoor use to provide a degree of protection to personnel against access to hazardous parts; to provide a degree of protection of the equipment inside the enclosure against ingress of solid foreign objects (windblown dust); to provide a degree of protection with respect to harmful effects on the equipment due to the ingress of water (rain, sleet, snow, splashing water, and hose directed water); that provides an additional level of protection against corrosion; and that will be undamaged by the external formation of ice on the enclosure.

**Type 5** Enclosures constructed for indoor use to provide a degree of protection to personnel against access to hazardous parts; to provide a degree of protection of the equipment inside the enclosure against ingress of solid foreign objects (falling dirt and settling airborne dust, lint, fibers, and flyings); and to provide a degree of protection with respect to harmful effects on the equipment due to the ingress of water (dripping and light splashing).

**Type 6** Enclosures constructed for either indoor or outdoor use to provide a degree of protection to personnel against access to hazardous parts; to provide a degree of protection of the equipment inside the enclosure against ingress of solid foreign objects (falling dirt); to provide a degree of protection with respect to harmful effects on the equipment due to the ingress of water (hose directed water and the entry of water during occasional temporary submersion at a limited depth); and that will be undamaged by the external formation of ice on the enclosure.

**Type 6P** Enclosures constructed for either indoor or outdoor use to provide a degree of protection to personnel against access to hazardous parts; to provide a degree of protection of the equipment inside the enclosure against ingress of solid foreign objects (falling dirt); to provide a degree of protection with respect to harmful effects on the equipment due to the ingress of water (hose directed water and the entry of water during prolonged submersion at a limited depth); that provides an additional level of protection against corrosion and that will be undamaged by the external formation of ice on the enclosure.

**Type 12** Enclosures constructed (without knockouts) for indoor use to provide a degree of protection to personnel against access to hazardous parts; to provide a degree of protection of the equipment inside the enclosure against ingress of solid foreign objects (falling dirt and circulating dust, lint, fibers, and flyings); and to provide a degree of protection with respect to harmful effects on the equipment due to the ingress of water (dripping and light splashing).

**Type 12K** Enclosures constructed (with knockouts) for indoor use to provide a degree of protection to personnel against access to hazardous parts; to provide a degree of protection of the equipment inside the enclosure against ingress of solid foreign objects (falling dirt and circulating dust, lint, fibers, and flyings); and to provide a degree of protection with respect to harmful effects on the equipment due to the ingress of water (dripping and light splashing).

**Type 13** Enclosures constructed for indoor use to provide a degree of protection to personnel against access to hazardous parts; to provide a degree of protection of the equipment inside the enclosure against ingress of solid foreign objects (falling dirt and circulating dust, lint, fibers, and flyings); to provide a degree of protection with respect to harmful effects on the equipment due to the ingress of water (dripping and light splashing); and to provide a degree of protection against the spraying, splashing, and seepage of oil and non-corrosive coolants.

## REFERENCIAS

- CORDEIRO, A y DE PAULA, L. *Proteção Catódica Técnica de Combate à Corrosão*. 2da. ed. Rio de Janeiro. McKlausen. 1991. 207 p.
- NACE INTERNATIONAL. CP-1 Training & Certification – *Protection Tester Course Manual*. Houston Texas. February 2005.
- NACE INTERNATIONAL. CP-2 Training & Certification – *Cathodic Protection Technician*. Houston Texas. June 2006.
- NACE INTERNATIONAL. CP-3 Training & Certification – *Cathodic Protection Technologist*. Houston Texas. June 2006.
- CP 1.0.0 Specification for Cathodic Protection System, Repsol-YPF.
- CP 1.0.2 Specification for Cathodic Protection Constant Voltage Rectifier, Repsol-YPF.
- SPR-1.0.0 Specification for Soil Resistivity Measurement, Repsol-YPF.
- PC 1.0.0 Specification for Protective Coating, Repsol-YPF.
- NACE Standard RP0169-2002 Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems.
- NACE Standard RP0286-2002 Electrical Isolation of Cathodically Protected Pipelines.
- NACE Standard RP0274 Standard Recommended Practice High-Voltage Electrical Inspection of Pipelines Coating.
- A.W. Peabody. NACE Peabody's Control of Pipeline Corrosion. Second Edition Edited by Ronald L. Bianchetti.
- ASTM Standard G 57 Standard Test Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four –Electrodes Method.
- NEMA National Electrical Manufactures Association Standard Recommended Practice. NACE Standard RP0169-92, Item No. 53002

- NEC National Electrical Code Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems.

### **Páginas Web**

- [http://www.energiasostenible.net/materiales\\_hidrogeno.htm](http://www.energiasostenible.net/materiales_hidrogeno.htm). *Migración de hidrógeno.2003*
- <http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/revista/PerfilUTNSANNICOLASvol3N1.pdf>  
*Migración de hidrogeno.2004*
- <http://www.zemos.es/corrosio.htm>. *SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN.2005*
- [www.corrosion-doctors.org/Biographies/PourbaixBio.htm](http://www.corrosion-doctors.org/Biographies/PourbaixBio.htm). *Diagrama de Pourbaix. 2004.*
- [www.radiodetection.ca/docs/pcm-man.pdf](http://www.radiodetection.ca/docs/pcm-man.pdf). *Pipeline Current Mapper User Guide. Revision 7. 2002/11/04. 96 p.*
- <http://www.tu-darmstadt.de/fb/ms/student/fs/german/lab/w10/mse10-3.htm>. *Ley de Faraday. 2002*
- [http://www.bredero.com/about/about\\_corp\\_info.htm](http://www.bredero.com/about/about_corp_info.htm). *Recubrimientos externos para tuberías enterradas. Junio 2005.*