UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

E.A.P. DE INGENIERÍA METALÚRGICA

Sistemas de protección catódica para tuberías enterradas de transmisión de gas natural

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico

AUTOR

Carlo César Clavijo Cáceres

ASESOR

Samuel Rosario Francia

Lima – Perú

2014

A Dios, a mi familia,
Padres, hermano
Mi Esposa Luz e hijos Cesar y Chiara
y a todas las personas que
Me apoyaron y
Creyeron en mí.

INDICE DE TEXTO

CARATULA.....1
DEDICATORIA.....2
INDICE DE TEXTO.....3
INDICE DE FIGURAS.....18
INDICE DE TABLAS.....23
I. INTRODUCCION.....18
I. ALCANCE.....18
II. OBJETIVOS.....19
A) GENERALES.....19
B) ESPECIFICOS.....19
II. ANTECEDENTES DEL GAS DE CAMISEA.....19
I. RESERVAS.....20
II. ESQUEMA DEL PROYECTO.....20
III. CAMISEA EN LIMA Y CALLAO.....20
RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL LÍNEA PRINCIPAL 20" Y PRIMEROS CLIENTES.....22
PLAN DE DESARROLLO GENERAL 2004 - 2005.....23
USOS COMO COMBUSTIBLE DIRECTO.....23
1. CAPITULO I FUNDAMENTOS BÁSICOS SOBRE CORROSION......25
1.1. ASPECTOS GENERALES DE LA CORROSIÓN.....25
1.2. FORMAS DE CORROSIÓN.....26
1.2.1.CORROSION GALVANICA Y UNIFORME.....27
1.2.2.CORROSION POR EROSION.....27
1.2.3.CORROSION POR AGRIETAMIENTO.....27
1.2.4.CORROSION POR PICADURA.....28
1.2.5.CORROSION POR EXFOLIACION Y DISOLUCION SELECTIVA.....28
1.2.6.CORROSION INTERGRANULAR O INTERCRISTALINA.....28
1.2.7.CORROSION DE FRACTURA POR TENSIÓN.....29
1.3. QUÍMICA Y ELECTROQUÌMICA DE LA CORROSIÓN.....30
1.3.1.CORROSIÓN EN ÁCIDOS.....30
1.3.2.CORROSIÓN EN SOLUCIONES NEUTRAS Y ALCALINAS.....30
1.3.3.CORROSIÓN EN OTROS SISTEMAS.....31
1.4. PRODUCTOS DE LA CORROSIÓN.....31
1.5. ELECTROQUÍMICA DE LA CORROSIÓN.....31
1.6. REACCIONES ANÓDICAS.....32
1.7. REACCIONES CATÓDICAS.....33
1.8. FENÓMENOS DE POLARIZACIÓN.....34
1.9. POTENCIAL DE CORROSIÓN.....35
1.10. POTENCIALES DE OXIDO REDUCCIÓN.....36
1.11. CRITERIO PARA CORROSIÓN.....36
1.12. DIAGRAMAS DE POTENCIAL ION PH.....37
1.13. CORROSIÓN GALVÁNICA.....38
1.14. RECONOCIMIENTO DE LA CORROSIÓN GALVÁNICA.....39
1.15. PREVENCIÓN DE LA CORROSIÓN GALVÁNICA.....39
1.16. COMPARACIÓN DE LA SERIE GALVÁNICA CON LOS POTENCIALES REDOX.....41
1.17. PREVENCIÓN DE LA CORROSIÓN POR MÉTODOS ELECTROQUÍMICOS.....41
2. CAPITULO II FUNDAMENTOS DE LA PROTECCIÓN CATODICA......42
2.1. DEFINICIÓN DE PROTECCIÓN CATÓDICA.....42
2.2. LA PROTECCIÓN CATÓDICA ¿COMO TRABAJA?.....42
2.3. LIMITACIÓN DE LA ANALOGÍA ELÉCTRICA.....45

2.4. MEDIDA DE POTENCIALES. 46
2.5. CRITERIOS DE PROTECCIÓN CATÓDICA 47
2.5.1.CRITERIO DE -850 MV CON PROTECCIÓN CATÓDICA APLICADA 47
2.5.1.1.APLICACIONES 48
2.5.1.2.LIMITACIONES 48
2.5.2.CRITERIO DEL POTENCIAL DE POLARIZACIÓN DE - 850 MV 49
2.5.2.1.APLICACIONES 49
2.5.2.2.LIMITACIONES 50
2.5.3.CRITERIO DE POLARIZACIÓN DE 100 MV 50
2.5.3.1.APLICACIONES 51
2.5.3.2.LIMITACIONES 52
2.6. EFECTO DEL REVESTIMIENTO EN LA PROTECCIÓN CATÓDICA 53
2.7. SOBRE-PROTECCIÓN DE LÍNEAS REVESTIDAS 54
2.8. CAMAS ENTERRADAS CERCANAS VS. REMOTAS 54
2.8.1.CAMA ENTERRADA REMOTA (ALEJADAS) 54
2.8.2.CAMAS ENTERRADAS CERCANAS 56
2.9. EFICIENCIA DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA 57
2.9.1.DETENIENDO EL DESARROLLO DE DAÑOS DE TUBERÍAS 57
2.9.2.PRESENCIA DE CORRIENTE PARASITAS (STRAY CURRENT) 58
2.10. EFECTO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA EN OTRAS ESTRUCTURAS 58
2.10.1. TUBERÍAS FORÁNEAS CERCANAS A LAS CAMAS ENTERRADAS PARA LA PROTECCIÓN CATÓDICA 59
2.10.1.1.CASO 1 59
2.10.1.2.CASO 2 59
3. CAPITULO III REVESTIMIENTOS PROTECTORES AISLANTES PARA ESTRUCTURAS SUMERGIDAS O ENTERRADAS 63
3.1. TIPOS DE REVESTIMIENTOS PARA ESTRUCTURAS ENTERRADAS. 63
3.1.1.ESMALTES BITUMINOSOS 63
3.1.2.FUSION BONDED EPOXY (FBE) 63
3.1.3.PRIMERS. 63
3.1.4.POLIOLEFIN Y POLIETILENO EXTRUIDO 64
3.1.5.SISTEMAS DE REVESTIMIENTO MILL-APPLIED 65
3.1.6.EPÓXICO MULTICAPA/SISTEMAS POLIOLEFIN EXTRUIDO 65
3.1.7.CINTAS DE REVESTIMIENTO 66
3.1.8.REVESTIMIENTOS DE RESINA LÍQUIDA DE DOS-COMPONENTES. 66
3.1.9.INTERMEDIOS O CUERPO REVESTIDO. 66
3.1.10.REVESTIMIENTOS SUPERIORES O EXTERNOS (TOPCOAT) 66
3.2. COMPONENTES BÁSICOS DE LOS REVESTIMIENTOS. 67
3.2.1.AGLUTINANTES. 67
3.2.2.AGLUTINANTES REACTIVOS AL OXÍGENO. 67
3.2.3.CONVERSIÓN DE AGLUTINANTES POR EL CALOR 68
3.2.4.AGLUTINANTES CO-REACTIVOS. 68
3.2.5.AGLUTINANTES CONDENSADOS 68
3.2.6.AGLUTINANTES COALESCENTE 68
3.2.7.AGLUTINANTES INORGÁNICOS; 69
3.3. PREPARACIÓN DE SUPERFICIE. 70
3.3.1.APLICACIÓN 70
3.4. PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN 71
3.4.1.INSPECCIÓN INICIAL. 71
3.4.2.INSPECCIONES DE MANTENIMIENTO 71
3.5. INSPECCION HOLIDAY DETECTOR 71
3.5.1.GENERAL 71

3.5.2.OPERACIÓN DEL HOLIDAY DETECTOR....72
3.5.3.INSPECCIÓN HOLIDAY DETECTOR EN CAMPO....72
3.5.4.AISLAMIENTO ELÉCTRICO....73
3.5.5.CONTROL AMBIENTAL....73
3.5.6.INHIBIDORES....73
3.5.7.AJUSTES DE PH....73
3.5.8.MANTENIMIENTO DE CONTROL AMBIENTAL....73
3.6. SELECCIÓN DE REVESTIMIENTO....74
3.7. EFICIENCIA DE REVESTIMIENTOS COMO UN SIGNIFICADO DE CONTROL DE CORROSIÓN75
3.7.1.EFECTIVO AISLANTE ELÉCTRICO.....75
3.7.2.BARRERA EFICAZ DE HUMEDAD....75
3.7.3.APLICABILIDAD.....75
3.7.4.LA HABILIDAD DE RESISTIR EL DESARROLLO DE HOLIDAYS CON EL TIEMPO.....75
3.7.5.BUENA ADHERENCIA PARA LA SUPERFICIE DEL TUBO.....76
3.7.6.HABILIDAD DE RESISTIR EL MANIPULEO, ALMACENAMIENTO (DEGRADACIÓN UV), Y LA INSTALACIÓN.. 76
3.7.7.LA HABILIDAD DE MANTENER SUBSTANCIALMENTE CONSTANTE LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA CON EL TIEMPO. 76
3.7.8.RESISTENCIA AL DESPRENDIMIENTO (DISBONDING). 76
3.7.9.FACILIDAD DE LA REPARACIÓN.. 77
3.7.10.INTERACCIÓN CON AMBIENTES NO TÓXICOS....77
4. CAPITULO IV ESTRUCTURAS QUE PUEDEN SER PROTEGIDAS CATÓDICAMENTE 78
4.1. SELECCIÓN DEL TIPO, TAMAÑO, Y ESPACIAMIENTO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA. 78
4.2. SISTEMAS DE ÁNODOS GALVÁNICOS 79
4.2.1.ÁNODOS UTILIZADOS EN SISTEMAS GALVÁNICOS 80
4.2.2.COMO TRABAJAN LOS ÁNODOS GALVÁNICOS 80
4.2.3.CARACTERÍSTICAS DE ÁNODOS DE MAGNESIO Y ZINC 80
4.2.4.APLICACIONES DE SISTEMAS DE ÁNODOS GALVÁNICOS.....85
4.2.5.VENTAJAS DE LOS ÁNODOS GALVÁNICOS 86
4.2.6.LIMITACIONES DE LOS ÁNODOS GALVÁNICOS 86
4.2.7.COMPONENTES DE SISTEMAS GALVÁNICOS.....86
4.2.7.1.ÁNODOS 86
4.2.7.1.1.MAGNESIO 86
4.2.7.1.2.ZINC.....87
4.2.7.1.3.ALUMINIO 88
4.3. EFICIENCIA DE LOS ÁNODOS GALVANICOS 88
4.3.1.REQUERIMIENTOS DE ÁNODOS 88
4.4. ESPECIFICACIONES DE SISTEMAS DE ÁNODOS GALVÁNICOS.....89
4.4.1.TAMAÑO Y FORMA. 89
4.4.2.BACKFILL.....89
4.5. ACCESORIOS A LAS ESTRUCTURAS 90
4.6. MATERIALES Y DESEMPEÑO DE ÁNODOS. 90
4.6.1.CARACTERÍSTICAS 90
4.7. CÁLCULO DE LA VIDA DEL ÁNODO 91
4.7.1.CALCULANDO LA VIDA DEL ÁNODO.....91
4.7.2.INSTALACIÓN Y DISEÑOS DE SISTEMAS. 92
4.7.2.1.ESTRUCTURAS ENTERRADAS.....92
4.7.2.2.ESTRUCTURAS SUMERGIDAS. 94
4.7.2.3.CONSIDERACIONES Y BENEFICIOS DE DISEÑO.....94
4.7.3.DESEMPEÑO DE ÁNODO.....96
4.7.3.1.REGULACIÓN DEL SISTEMA.....96

4.7.3.2.VARIACIONES EN RESISTIVIDAD DEL SUELO 97
4.7.4.DETALLES DE INSTALACIÓN DE ÁNODO GALVÁNICOS....98
4.8. SISTEMAS DE CORRIENTE IMPRESA....101
4.8.1.APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA....103
4.8.2.VENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE CORRIENTE IMPRESA. 103
4.8.3.LIMITACIONES DE LOS SISTEMAS DE CORRIENTE IMPRESA. 103
4.8.4.COMPONENTES DE LAS PARTES DEL SISTEMA DE CORRIENTE IMPRESA 103
4.8.4.1ÁNODOS 103
4.8.5.ÁNODOS DE CORRIENTE IMPRESA PARA USOS ENTERRADOS 105
4.8.5.1.ÁNODOS DE GRAFITO....105
4.8.5.2.ÁNODOS PLATINADOS. 106
4.8.5.3.ÁNODOS DE MEZCLAS DE ÓXIDOS METÁLICOS (MMO). 107
4.8.5.4.ÁNODOS DE HIERRO FUNDIDO ALTO-SILICIO CROMO 109
4.8.5.5.ÁNODOS POLIMÉRICOS....109
4.8.5.6.BACKFILL....110
4.8.5.6.1.MATERIALES DE RELLENO (BACKFILL) 110
4.8.6.FUENTES DE ENERGÍA 111
4.8.7.RECTIFICADORES 111
4.8.7.1.TIPOS DE RECTIFICADOR 112
4.8.7.2.SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL RECTIFICADOR 114
4.8.7.3.ESPECIFICACIONES DEL RECTIFICADOR....115
4.8.7.4.EFICIENCIA DEL RECTIFICADOR 116
4.8.7.5.DETALLES DE LA INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR 117
4.8.8.PANELES SOLARES....119
4.8.9.UNIDADES MOTO GENERADORAS 119
4.8.10.GENERADORES ACCIONADOS VIENTO....119
4.8.11.GENERADORES TERMOELÉCTRICOS....119
4.9. CONEXIONES ELÉCTRICAS....119
4.9.1.TIPOS DE CABLE....119
4.9.2.CONEXIONES 120
4.10. CAMAS ENTERRADAS PARA ESTRUCTURAS SUBTERRÁNEAS....121
4.10.1.DISEÑO DEL SISTEMA....121
5. CAPITULO V MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA EFICIENCIA Y REGISTROS..123
5.1 INTRODUCCIÓN 123
5.2 RAZONES DE MONITOREO....123
5.3 REQUISITOS DE MONITOREO 123
5.4 MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA 124
5.4.1 MANTENIMIENTO DE REGISTROS....124
5.4.2 TÉCNICO....124
5.4.3 LEGAL....124
5.4.4 HOJAS DE DATOS (DATA SHEET)....125
5.4.5 FECHA, TIEMPO, Y TIEMPO,....125
5.4.6 PLANOS....125
5.4.7 CONDICIONES DEL SITIO....125
5.4.8 LEGIBILIDAD....125
5.4.9 REGISTROS COMPUTARIZADOS Y HOJAS DE BALANCE 125
5.4.10FACILIDAD DE MAPAS Y DOCUMENTACIÓN DE TRABAJO 125
5.5 ELECTRODO DE REFERENCIA PORTATILES....126
5.5.1 ELECTRODO DE REFERENCIA CALOMEL....126
5.5.2 ELECTRODO DE REFERENCIA DE ZINC....126
5.5.3 DIÓXIDO DE MANGANESO....126
5.5.4 ELECTRODO DE GRAFITO....126

5.6 COMPARACIÓN DE VALORES DE POTENCIAL DE ELECTRODOS DE REFERENCIA TÍPICOS VS. ELECTRODO DE REFERENCIA COBRE-SULFATO DE COBRE 126
5.7 ELECTRODOS DE REFERENCIA PERMANENTES 127
5.7.1 APLICACIONES TÍPICAS 127
5.7.1.1POTENCIAL ESTRUCTURA-ELECTROLITO 127
A) BASE DE MEDICIÓN....127
B) RANGOS DEL VOLTÍMETRO....127
C) LOCALIZACIÓN DEL ELECTRODO DE REFERENCIA....128
5.8 CLOSE INTERVAL POTENTIAL SURVEY....128
5.9 MEDIDAS DEL FLUJO DE CORRIENTE DE TIERRA Y POTENCIAL DE SUPERFICIE. 129
5.9.1 CAÍDA DE VOLTAJE (IR) EN DATOS DE POTENCIALES 130
5.9.2 VOLTÍMETROS DE GRABACIÓN....130
5.9.3 DATA LOGRES 130
5.9.4 X-Y PLOTTERS....130
6. CAPITULO VI ELECCIÓN - DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA....132
6.1. GENERAL....132
6.2. CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO....132
6.2.1.RESISTIVIDAD DE SUELOS....132
6.2.1.1.ESTÁNDARES DE REFERENCIA 132
6.1.1.1.CALIBRACIÓN DEL EQUIPO....132
6.1.1.2.VERIFICACIÓN DE FRECUENCIA DE CALIBRACIÓN....132
6.1.1.3.PROCEDIMIENTO....133
6.1.1.4.RESULTADOS 134
6.1.1.5.ANÁLISIS DE RESULTADOS....134
6.3. PERFIL DE RESISTIVIDAD 134
6.4. CLASIFICACIÓN DE SUELO ESTRUCTURA CORROSIVIDAD, RESISTIVIDAD 137
6.4.1.CLASIFICACION DE CORROSIVIDAD POR MUESTRAS DE SUELO 137
6.1.1.6.STANDARS DE REFERENCIA....137
6.1.1.7.PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS....137
6.1.1.8.CLASIFICACIÓN DE SUELOS 137
6.1.1.8.1.DESCRIPCIÓN....137
6.1.1.8.2.RESULTADOS 137
6.1.1.8.3.TIPO DE SUELO 138
6.1.1.8.4.RESISTIVIDAD 138
6.1.1.8.5.ACIDEZ Y PH....138
6.1.1.8.6.POTENCIAL REDOX 138
6.1.1.8.7.CARBONATOS....138
6.1.1.8.8.CLORUROS....139
6.1.1.8.9.SULFATOS....139
6.1.2.CONCLUSIONES....139
6.2. REVESTIMIENTO DE TUBERIA 141
6.3. DISPOSITIVOS DE AISLAMIENTO ELECTRICO. 141
6.4. ESTRUCTURAS METÁLICAS CERCANAS ENTERRADAS....141
6.5. DISEÑO DE PROTECCIÓN CATÓDICA CON ÁNODOS GALVÁNICOS....141
6.5.1.DOCUMENTOS DE REFERENCIA 141
6.5.2.DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO 142
6.5.3.RESULTADOS DE LA PRUEBA....142
6.5.4.RESISTIVIDAD. 142
6.5.5.RESULTADOS DE LA PRUEBA CON ÁNODO DE 4 LBS. 142
6.5.6.CORRIENTE REQUERIDA PARA LA PC TEMPORAL 142
6.5.7.FLUJO DE CORRIENTE Y CANTIDAD DE ÁNODOS. 143
6.5.8 CARACTERÍSTICAS DEL ÁNODO....144

6.6. DISEÑO DE UNA SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA.....144
6.6.1. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE DE DISEÑO (DESIGN CURRENT DENSITY – DCD).....144
6.6.1.1.DESCRIPCIÓN DE TRABAJO.....144
6.6.1.2.RESULTADOS.....145
6.6.2.DENSIDAD DE CORRIENTE REQUERIDA.....151
6.6.2.1.ÁREA DE LA ESTRUCTURA.....152
6.6.2.2.CANTIDAD DE ÁNODOS EN PARALELO.....152
6.6.2.3.ESPACIAMIENTO DE ÁNODOS.....152
6.6.2.4.LONGITUD DE PROTECCIÓN.....152
6.1.1.RESISTIVIDAD.....152
6.6.2.5.VOLTAJE CONDUCIDO (DRIVING VOLTAGE).....152
6.6.2.6.RESISTENCIA DEL CIRCUITO.....152
6.6.2.6.1.RESISTENCIA DE LA TUBERÍA A TIERRA.....153
6.6.2.6.2.RESISTENCIA DE LA CAMA ANÓDICA.....153
6.6.2.6.3.RESISTENCIA INTERNA DE LOS ÁNODOS HORIZONTALES HACIA EL BACKFILL.....153
6.6.2.6.4.RESISTENCIA DE ÁNODOS HORIZONTALES MÚLTIPLES A TIERRA.....154
6.6.2.7SALIDAS PRINCIPALES DE DISEÑO.....154
6.6.2.8.CAPACIDAD DEL RECTIFICADOR.....154
6.6.2.9.RESISTENCIA DEL CABLE.....155
6.6.2.10.EXPECTATIVA DE VIDA DE LA CAMA ANÓDICA.....156
6.6.3.CALCULO DE DISEÑO.....157
6.6.4.PARÁMETROS DE DISEÑO.....157
6.6.4.1.PARA EL RECTIFICADOR 1 EN CITY GATE LURIN.....157
6.6.4.2.PARA EL RECTIFICADOR 2 EN EL TERMINAL STATION VENTANILLA.....159
7. CAPITULO VII CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA.....161
7.1. PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION.....161
7.1.1.APLICACIÓN DE LA SOLDADURA EXOTÉRMICA.....161
7.1.1.1.ESTÁNDARES.....161
7.1.1.2.ALCANCE.....161
7.1.2.PROCEDIMIENTO.....161
7.1.2.1.CABLE AWG NO 4 O MENORES A LA TUBERÍA.....161
FIGURA 7.1. ARREGLO DE SOLDADURA EXOTÉRMICA.....162
7.1.2.2.AWG NO 2 CABLE A TUBERÍAS MAYORES.....162
FIGURA 7.2. ARREGLO DE SOLDADURA PARA CABLE AWG 2 O MAYORES.....162
7.1.3.PRUEBAS DE UNIÓN.....162
7.1.4.INSTALACIÓN DEL PROTECTOR MECÁNICO.....163
7.1.4.1.PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN.....163
7.1.5.INSTALACIÓN SPLICE KIT.....163
7.1.5.1.ALCANCE:.....163
7.1.1.1PROCESO.....164
A) EMPALMES.....164
B) DERIVACIONES:.....164
7.1.5.2.PRUEBA DE EMPALME.....165
7.2. SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR ÁNODOS GALVÁNICOS.....165
7.2.1.NORMAS DE REFERENCIA Y DOCUMENTOS TÉCNICOS.....165
7.2.2.PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN.....165
7.2.2.1.PROCEDIMIENTO.....165
7.2.2.2.REGISTRO DE INSTALACIÓN.....167
7.2.2.3.RECURSOS.....167
7.2.2.4.EQUIPO.....167
7.2.2.5.MATERIALES.....167

7.2.2.6.SEGURIDAD 167
7.2.2.7.PROTECCIÓN AMBIENTAL 167
7.2.3.PROCESO CONSTRUCTIVO.....168
7.2.3.1.INSTALACIÓN DE LOS ÁNODOS 169
TABLA 7.2 171
7.3. SISTEMA DE PROTECCION CATODICA POR CORRIENTE IMPRESA 171
7.3.1.NORMAS DE REFERENCIA Y DOCUMENTOS TECNICOS.....171
7.3.2.INSTALACIÓN DE LA CAMA ANÓDICA 171
7.3.2.1.CONFIGURACIÓN DE INSTALACIÓN. 171
TABLA 7.3 DIMENSIONES DE INSTALACIÓN DE LOS ÁNODOS. 171
7.3.2.2.PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN.....171
7.3.2.2.1.INSTALACIÓN DE CAMA ANÓDICA 171
7.3.2.2.2.INSTALACIÓN CABLE PRINCIPAL DE LA CAMA ANÓDICA AL RECTIFICADOR.....173
7.3.2.3.MATERIALES 173
7.3.2.4.RECURSOS 173
7.3.2.5.EQUIPAMIENTO.....173
7.3.2.6.RESULTADOS 174
7.3.2.7.SEGURIDAD 174
7.3.2.8.PROTECCIÓN AMBIENTAL 174
7.3.2.9.PRUEBA 174
7.3.3.INSTALACION DEL RECTIFICADOR 174
7.3.3.1.DOCUMENTOS DE REFERENCIA: 174
7.3.3.2.INSTALACIÓN.....175
7.3.3.2.1.EQUIPO.....175
7.3.3.2.2.DESEMPAQUE Y MONTAJE.....175
7.3.3.2.3.CHEQUEOS PRELIMINARES 175
7.3.3.2.4.CONEXION 175
7.3.3.2.5.APLICACIÓN DE CARGA. 176
7.3.3.2.6.PRUEBA 176
7.3.3.2.7.RESULTADOS 176
7.3.3.2.8.EQUIPO.....176
7.3.3.2.9.MATERIALES 177
7.3.3.2.10.RECURSOS 177
7.3.3.2.11.SEGURIDAD 177
7.3.3.2.12.PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE.....177
7.3.3.2.13.INSPECCIONES Y MANTENIMIENTO 177
7.3.4.INSTALACIÓN DE UNIDADES DE MONITOREO 179
7.3.4.1.SEÑALES DE UNIDAD DE MONITOREO.....180
7.3.4.1.1.SEÑALES DE INGRESO.....180
7.3.4.1.2.SEÑALES DE SALIDA.....180
7.3.4.1.3.SEÑALES A SER MANEJADAS EN CADA LOCACIÓN.....181
7.3.4.2.CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES DE MONITOREO.- COMPONENTES 182
7.3.4.3.ESPECIFICACIONES DE UNIDADES PRINCIPALES 182
7.3.4.3.1.CONDICIONES DE SEÑALES 182
7.3.4.3.2RELAY.....182
7.3.4.3.3.PROTECCIONES SOBRE VOLTAJE 183
7.3.5.PROCESO CONSTRUCTIVO.....184
7.3.5.1.CONSTRUCCIÓN CAMA ANÓDICA 1 184
DETALLES DE CONSTRUCCION CAMA ANODICA CITY GATE LURIN.....186
7.3.5.2.CONSTRUCCIÓN CAMA ANÓDICA 2 187
7.3.5.3.PROCESO CONSTRUCTIVO EN LA INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR #1 CITY GATE LURÍN 190
7.3.5.3.1.CONSTRUCCIÓN LOZA DE CONCRETO.....190

7.3.5.3.2.MONTAJE DEL RECTIFICADOR – ELECTRODO DE REFERENCIA AG/AGCL. 194
7.3.5.4.INSTALACIÓN DE RECTIFICADOR #2 TERMINAL STATION VENTANILLA.....199
7.3.5.4.1.CONSTRUCCIÓN LOZA DE CONCRETO.....199
7.3.5.4.2.INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR Y ELECTRODO DE REFERENCIA.....199
7.3.6. INSTALACION DE UNIDADES DE MONITOREO EN ESTACIONES CITY GATE, TERMINAL STATION Y CAMARAS DE VÁLVULAS #4 Y #7 202
8. CAPITULO VIII MATERIALES UTILIZADOS EN LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA 205
8.1. SOLDADURA EXOTERMICA 205
8.1.1 ALCANCE 205
8.1.2 EQUIPAMIENTO. 205
8.1.3.MATERIALES 205
8.1.3.1.ROYSTON HANDY CAP 205
8.1.3.1.1.USO.....206
8.1.3.2.SPLICE KIT 206
8.1.3.2.1.USO.....206
8.1.3.2.2.HOJA TECNICA DEL SCOTCH 90 B1 SPLICE KIT. PAGINA 1 OF 2.....207
8.1.4.EQUIPO.....208
8.1.5.MATERIALES 208
8.2. SISTEMA DE PROTECCION CÁTODICA CON ÁNODO DE MAGNESIO PRE – EMPACADO 208
8.2.1.ÁNODO DE MAGNESIO PRE EMPACADO 208
8.2.2.ESPECIFICACIONES: 209
8.2.3.EQUIPO.....209
8.2.4.MATERIALES 209
8.3. SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA.....210
8.3.1.RECTIFICADORES DE PROTECCIÓN CATÓDICA.....210
8.3.1.1.CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.....210
8.3.1.2.ESTANDARDS APLICABLES.....211
8.3.1.3.GENERAL 211
8.3.1.4.RECINTO 211
8.3.1.5.TRANSFORMADOR 211
8.3.1.6.ELEMENTOS DEL RECTIFICADOR 211
8.3.1.7.DISPOSITIVOS PROTECTORES.....212
8.3.1.8.MEDIDORES DC. 212
8.3.1.9.TERMINALES D.C 212
8.3.1.10.CABLEADO Y CONDUCTORES 212
8.3.1.11.DATOS DEL RECTIFICADOR.....212
8.3.1.12.TABLERO DE INSTRUMENTOS: 213
8.3.2.ÁNODOS 213
8.3.3.CABLE.214
8.3.3.1.ESPECIFICACIONES APLICABLES 214
8.3.3.2.AISLAMIENTO.....214
8.3.3.3.IDENTIFICACIÓN 215
8.3.3.4.ENVÍO 215
8.3.4.ELECTRODOS DE REFERENCIA PARA SUELOS DE ALTO CONTENIDO DE CLORUROS. 215
8.3.4.1.CARACTERÍSTICAS: 215
8.3.5.COKE (BACKFILL).....215
8.3.5.1.ESPECIFICACIONES: 215
8.3.6.SPLICE KIT 216
8.3.7.JUNCTION BOX (CAJA DE UNION) 216
8.3.7.1.CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.....216
8.3.7.2.ESTÁNDARES APLICABLES 217

8.3.7.3.RECINTO 217
8.3.7.4.PANEL BAR 217
8.3.7.5.CONECTORES....217
8.3.7.6.RESISTENCIA VARIABLE 217
8.3.7.7.DIODO 217
8.3.7.8.COPPER BUS 217
8.3.7.9.TERMINALES....217
8.3.8.UNIDADES DE MONITOREO DE PROTECCIÓN CATÓDICA PARA LAS ESTACIONES....218
8.3.9.UNIDADES DE MONITOREO DE PROTECCIÓN CATÓDICA PARA LAS VÁLVULAS DEL BLOQUEO.218
8.3.10.INTERRUPTORES DE CORRIENTE GPS....218
8.3.10.1.CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.....218
9. CAPITULO IX MONITOREO Y PUESTA EN MARCHA....219
9.1. MONITOREO Y PUESTA EN MARCHA PROTECCION CATÓDICA TEMPORAL CON ÁNODOS DE MAGNESIO....219
9.1.1.RESULTADO DE MEDICIÓN DE POTENCIALES 219
9.2. MONITOREO Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE PROTECCION CATÓDICA PERMANENTE POR CORRIENTE IMPRESA....224
10. CAPITULO X: COSTOS DE PROTECCION CATÓDICA 240
10.1. ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS CONSTRUCCION PROTECCION CATÓDICA TEMPORAL POR ÁNODOS DE SACRIFICIO GASODUCTO LIMA- CALLAO 61 KMS , DIAMETRO 20" ...240
10.1.1.ANÁLISIS DE COSTOS INGENIERÍA DE PROTECCIÓN CATÓDICA TEMPORAL CON ÁNODOS DE SACRIFICO 240
10.1.2. ANÁLISIS DE COSTOS CONSTRUCCIÓN DE PROTECCIÓN CATÓDICA TEMPORAL CON ÁNODOS DE SACRIFICIO 241
10.1.3.ANÁLISIS DE PRECIOS CALIBRACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA TEMPORAL CON ÁNODOS DE SACRIFICIO 242
10.2. ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS CONSTRUCCION PROTECCION CATÓDICA PERMANENTE POR CORRIENTE IMPRESA GASODUCTO LIMA- CALLAO 61 KMS , DIAMETRO 20".....244
10.2.1.ANALISIS DE COSTOS INGENIERIA DE PROTECCION CATÓDICA PERMANENTE POR CORRIENTE IMPRESA 244
10.3. ANÁLISIS DE COSTOS MATERIALES PARA PROTECCION CATÓDICA PERMANENTE POR CORRIENTE IMPRESA....245
10.3.1.MATERIALES Y EQUIPOS PARA CONSTRUCCION SISTEMA DE PC PERMANENTE 245
10.3.2.MATERIALES Y HERRAMIENTAS PARA CONSTRUCCION EN CITY GATE 246
DESCRIPCIÓN....246
10.3.3.MATERIALES PARA CONSTRUCCIÓN TERMINAL STATION 246
DESCRIPCIÓN....246
10.3.4. MATERIAL PARA INSTALACIÓN DE UNIDADES DE MONITOREO DE PC EN VALVULAS XV 10004 Y XV 10007. 247
10.3.5. MATERIALES PARA POSTES DE POTENCIAL DE PROTECCIÓN CATÓDICA, (INCLUYE MATERIALES PARA MOJÓN INDICADOR TIPO 1A (CON PALOMERA) Y MOJÓN INDICADOR TIPO 1B (SIN PALOMERA). 248
10.3.6. MATERIALES CAJA DE MEDICIÓN DE POTENCIAL CON DESCARGADOR EN JUNTA MONOLITICA. 248
10.3.7.MATERIALES CAJA DE MEDICIÓN DE POTENCIAL CON DESCARGADOR EN CAMARA DE VALVULAS DE BLOQUEO Y ESTACION REDUCTORA. 249
10.3.8.ANÁLISIS DE COSTOS CONSTRUCCIÓN DE PROTECCIÓN CATÓDICA PERMANENTE POR CORRIENTE IMPRESA....249
10.4. ANÁLISIS DE PRECIOS CALIBRACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA 251
10.5. CUADRO RESUMEN DE PRECIOS UNITARIOS PROTECCION CATODICA CON ANODOS DE SACRIFICIO LIMA - CALLAO 252

10.6. CUADRO RESUMEN DE PRECIOS UNITARIOS PROTECCION CATODICA POR CORRIENTE IMPRESA LIMA - CALLAO....252
11. CAPITULO XI CONCLUSIONES....253
12. CAPITULO XII RECOMENDACIONES....255
ANEXO 1. DATA SHEETS CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR SEVERIDAD DE CORROSIÓN....257
ANEXO 2 RESISTIVIDAD GEOELECTRICA PARA EL LUGAR DE LAS CAMAS ENTERRADAS EN LURIN CITY GATE Y TERMINAL STATION....267
1. DESCRIPCION....267
2. RESULTADOS....268
2.1 LURIN STATION....268
2.2 TERMINAL STATION....270
ANEXO 3 PLANOS DE RESISTIVIDAD DE LA TUBERÍA DE GAS....274
ANEXO 4 ESQUEMAS DE MONTAJE Y ELECTRICOS....277
BIBLIOGRAFÍA....289

INDICE DE FIGURAS

II. ESQUEMA DEL PROYECTO 20
III. CAMISEA EN LIMA Y CALLAO 20
RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL LÍNEA PRINCIPAL 20" Y PRIMEROS CLIENTES 22
PLAN DE DESARROLLO GENERAL 2004 - 2005 23
USOS COMO COMBUSTIBLE DIRECTO 23
1. CAPITULO I FUNDAMENTOS BÁSICOS SOBRE CORROSION. 25
FIGURA Nº1.1 LAS DIFERENTES FORMAS DE CORROSIÓN 27
FIGURA N° 1.2.- CORROSIÓN DE METALES Y ALEACIONES 29
FIGURA Nº 1.3.- REACCIONES ELECTROQUÍMICAS DE LA CORROSIÓN DEL ZINC EN HCL AIREADO 34
FIGURA N 1.4.- POLARIZACIÓN POR CONCENTRACIÓN DURANTE LA REDUCCIÓN CATÓDICA DE IONES HIDRÓGENO 35
FIGURA Nº 1.5 MEDICIÓN EXPERIMENTAL DEL POTENCIAL DE CORROSIÓN 36
FIGURA Nº1.6 DIAGRAMA DE POURBAIX PARA EL SISTEMA FIERRO-AGUA PEABODY'S CONTROL OF PIPELINE CORROSION SECOND EDITION CAP 8 38
2. CAPITULO II FUNDAMENTOS DE LA PROTECCIÓN CATODICA. 42
FIGURA N° 2.1 CORROSIÓN Y PROTECCIÓN CATÓDICA 42
FIGURA Nº. 2.2 PROTECCIÓN CATÓDICA CON ÁNODO DE SACRIFICIO 43
FIGURA Nº. 2.3 PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA 43
FIGURA N°2.4. CIRCUITO EQUIVALENTE PARA UNA CELDA DE CORROSIÓN 44
FIGURA Nº 2.5 CIRCUITO EQUIVALENTE PARA UNA CELDA DE CORROSIÓN CON CORRIENTE DE PROTECCIÓN 44
FIGURA Nº 2.6 45
FIGURA 2.7 DATOS CLOSE INTERVAL SURVEY MOSTRANDO ON, OFF Y POTENCIAL NATURAL 49
FIGURA Nº 2.8 DIAGRAMA DE EVANS (POTENCIAL VS. LOGARITMO DE DENSIDAD DE CORRIENTE PARA UN METAL M EN UNA SOLUCIÓN ACIDA DES AIREADA 51
FIGURA Nº 2.9 DIAGRAMA DE EVANS PARA METAL M EN SOLUCIÓN ÁCIDA DES AIREADA, MOSTRANDO LAS CORRIENTES NETAS ANÓDICAS Y CATÓDICAS 51
FIGURA Nº 2.11 PROTECCIÓN CATÓDICA DE UNA TUBERÍA REVESTIDA 53
FIGURA N° 2.12 INSTALACIÓN BÁSICA DE PC 55
FIGURA N° 2.13 CIRCUITO SIMPLE EQUIVALENTE DE UNA TUBERÍA CON CAMA ENTERRADA REMOTA 56
FIGURE N°.19 EFICIENCIA DE LA PC EN DETENER EL DESARROLLO DE FUGAS. 58
FIGURA Nº 2.16 TUBERÍA EXTRAÑA DAÑADA POR LA INSTALACIÓN DE PC –CASO 1 PEABODY'S CONTROL OF PIPELINE CORROSION SECOND EDITION CAP 3 59
FIGURA N°2.17. TUBERÍAS EXTRAÑAS DAÑADAS CAUSADO POR LA INSTALACIÓN DE PC – CASO 2 60
FIGURA Nº 2.18 GRADIENTES DE POTENCIAL EN TIERRA ALREDEDOR DE UNA TUBERÍA PROTEGIDA CATÓDICAMENTE 61
FIGURA Nº 2.19 EFECTO SOBRE TUBERÍAS FORÁNEAS QUE PASAN A TRAVÉS DE LA TIERRA, GRADIENTES DE POTENCIAL ALREDEDOR DE UNA TUBERÍA PROTEGIDA CATÓDICAMENTE 61
FIGURA Nº 2.20 POTENCIALES TUBERÍA – SUELO EN TUBERÍAS FORÁNEAS QUE PASAN A TRAVÉS DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE UNA TUBERÍA DESNUDA PROTEGIDA CATÓDICAMENTE 62
3. CAPITULO III REVESTIMIENTOS PROTECTORES AISLANTES PARA ESTRUCTURAS SUMERGIDAS O ENTERRADAS 63
FIGURA 3.1 ESQUEMA DE APLICACIÓN FUSION BONDED EPOXY EN POLVO 64
FIGURA 3.2 ESQUEMA DE APLICACIÓN DEL POLIOLEFIN DE LADO EXTRUIDO SOBRE ADHESIVO BUTÍLICO EXTRUIDO 64
FIGURA 3.3 ESQUEMA DE APLICACIÓN DE POLIOLEFIN CRUZADO EXTRUIDO SOBRE PEGAMENTO ASFÁLTICO 65
4. CAPITULO IV ESTRUCTURAS QUE PUEDEN SER PROTEGIDAS CATÓDICAMENTE 78

4.1. SELECCIÓN DEL TIPO, TAMAÑO, Y ESPACIAMIENTO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA. 78
FIGURA 4.1 PROTECCIÓN CATÓDICA POR ÁNODOS DE SACRIFICIO 79
FIGURA 4.2 PRINCIPIOS DE PROTECCIÓN CATÓDICA CON ÁNODOS DE SACRIFICIO 79
FIGURA 4.3 ÁNODO TÍPICO DE MAGNESIO (CORRPRO COMPANIES INC.) 87
FIGURA 4.4 ÁNODOS TÍPICOS DE ZINC (CORRPRO COMPANIES INC.) 87
FIGURA 4.5 ESTACIONES DE PRUEBA ENTERRADA USADO EN ÁREAS URBANAS 93
FIGURA 4.6 DISEÑO DE CURVAS PARA ÁNODOS DE MAGNESIO (CORRPRO COMPANIES INC.) 96
FIGURA 4.7 INSTALACIÓN DE ÁNODO PRE EMPACADO 98
FIGURA 4.8 INSTALACIÓN DE MÚLTIPLES ÁNODOS PRE EMPACADOS 99
FIGURA 4.9 INSTALACIÓN DE ÁNODO GALVÁNICO DEBAJO DE LA TUBERÍA 100
FIGURE 4.10 INSTALACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE PRUEBA PARA ÁNODOS GALVÁNICOS 101
FIGURA 4.11 SISTEMA TÍPICO DE CORRIENTE IMPRESA PARA PROTECCIÓN CATÓDICA. 102
FIGURA 4.12 PRINCIPIO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA CON CORRIENTE IMPRESA (ESQUEMA) 102
FIGURA 4.15 DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DE RECTIFICADORES 113
FIGURA 4.16 DIAGRAMA TÍPICO DE UN RECTIFICADOR DE POTENCIAL CONSTANTE 115
FIGURA 4.17 EFICIENCIAS DEL RECTIFICADO. TOP: SELENIO – TÍPICO 117
FIGURA 4.18 RECTIFICADOR MONTADO EN POSTE. 118
FIGURA 4.19 RECTIFICADOR MONTADO EN CONCRETO. 118
FIGURA 4.20 UNIDAD MOTO GENERADORA. 119
FIGURA 4.21 INSTALACIÓN DEL GENERADOR MOVIDO POR VIENTO 119
FIGURA 4.22 PRUEBA DE DRENAJE DE CORRIENTE 122
5. CAPITULO V MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA EFICIENCIA Y REGISTROS. 123
FIGURA 5.1 MEDICIÓN DE POTENCIALES 129
FIGURE 5.2 PERFIL DE POTENCIAL TUBERÍA-A-SUELO. 129
FIGURA 5.3 MEDICIÓN DE POTENCIAL ENTRE DOS ELECTRODOS DE REFERENCIA 129
6. CAPITULO VI ELECCIÓN - DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA 132
FIGURA 6.1 MEDIDOR DE RESISTIVIDAD 134
TABLA 6.4. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR SEVERIDAD DE CORROSIÓN 139
FIGURA 6.2. PERFIL DE CORROSIVIDAD 141
FIGURA 6.3GRAFICO DE PRUEBA 1 149
FIGURA 6.4 GRÁFICO DE PRUEBA 2 150
7. CAPITULO VII CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA 161
FIGURA 7.1. ARREGLO DE SOLDADURA EXOTÉRMICA. 162
FIGURA 7.2. ARREGLO DE SOLDADURA PARA CABLE AWG 2 O MAYORES. 162
FIGURA 7.3 PASO 1 163
FIGURA 7.4 PASO 2 163
FIGURA 7.5 PASO 3 163
FIGURA 7.6 CONEXIÓN TEMPORAL CABLE ÁNODO - CABLE DE LA TUBERÍA 168
FIGURA 7.7 INSTALACIÓN SIN ESTACIÓN DE PRUEBA 169
FIGURA 7.8 UBICACIÓN CAMA ANÓDICA CITY GATE LURIN 185
FIGURA 7.10 UBICACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA CITY GATE 187
FIGURA 7.11 DISPOSICIÓN CAMA ANÓDICA TERMINAL STATION VENTANILLA 189
FIGURA 7.12 DETALLES DE CONSTRUCCIÓN DE CAJA DE ÁNODO 190
FIGURA 7.14 CIMENTACIÓN PARA RECTIFICADOR CAJA DE MONITOREO Y CAJA DE UNION (VISTA FRONTAL) 192
FIGURA 7.15 CIMENTACIÓN PARA RECTIFICADOR CAJA DE MONITOREO Y CAJA DE UNIÓN (VISTA DE PLANTA) 193
FIGURA 7.16 CONEXIONES DE TUBERÍA Y ELECTRODO DE REFERENCIA 194
FIGURA 7.17 TUBERÍA DE ACTIVACIÓN DEL ELECTRODO 195
FIGURA 7.18 CONEXIÓN DE SOLDADURA EXOTERMICA CON HANDYCAP ROYSTON, SÍLICE KIT Y UNION CON SPLIT BOLT KS 20 195

FIGURA 7.19 UBICACIÓN DE RECTIFICADOR, CAJA DE UNIÓN UNIDAD DE MONITOREO (VISTA DE PLANTA) 196
FIGURA 7.20 UBIACIÓN DE AREA DE PROTECCIÓN CATODICA Y CONEXIONES A TUBERIA 198
FIGURA 7.21 RECTIFICADOR, UNIDAD DE MONITOREO Y CAJA DE UNIÓN TERMINAL STATION 199
FIGURA 7.22 AREA DE PROTECCIÓN CATÓDICA Y CONEXIONEA A LA TUBERÍA TERMINAL STATION VENTANILLA(VISTA PLANTA) 200
FIGURA 7.23 ALIMENTACIÓN AC PARA EL RECTIFICADOR 203
FIGURA 7.24 RECTIFICADOR UNIDAD DE MONITOREO Y CAJA DE UNION VISTA FRONTAL 204
8. CAPITULO VIII MATERIALES UTILIZADOS EN LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA 205
FIGURA 8.1. CONFIGURACIÓN PARA INSTALACIÓN DE SOLDADURA 205
FIGURA 8.2BSCOTCH 90 B1 SPLICE KIT. PAGE 2 OF 2 207
FIGURA 8.3 ANODOS DE MAGNESIO PRE EMPACADOS 209
FIGURA 8.4 VISTA DEL RECITIFICADOR DE PROTECCIÓN CATÓDICA 210
FIGURA 8.5 ANODOS DE TITANIO MMO 213
FIGURA 8.6 CABLE 214
FIGURA 8.7 ELECTRODO DE REFERENCIA DE AG/AGCL 215
FIGURA 8.8 VERTIDO DE EPÓXICO EN EL SÍLICE KIT 216
9. CAPITULO IX MONITOREO Y PUESTA EN MARCHA 219
FIGURA 9.1 PERFILES DE POTENCIALES PK 00+000 AL 10+000 221
FIGURA 9.2 PERFILES DE POTENCIALES PK 13+000 AL 33+508 222
FIGURA 9.3 PERFIL DE POTENCIALES PK 36+500 AL 38+000 223
FIGURA 9.4 PERFILES DE POTENCIALES PK 00+000 AL 15+016 231
FIGURA 9.5 PERFILES DE POTENCIALES PK 15+510 AL 24+003 232
FIGURA 9.6 PERFILES DE POTENCIALES PK 24+523 AL 33+523 233
FIGURA 9.7 PERFILES DE POTENCIALES PK 34+052 AL 43+088 235
FIGURA 9.8 PERFILES DE POTENCIALES PK 43+088 AL 52+083 235
FIGURA 9.9 PERFILES DE POTENCIALES PK 52+560 AL 61+000 236
FIGURA 9.10 PERFILES DE POTENCIALES RAMAL CERAMICA LIMA 1 PK 0+000 AL 3+366 237
FIGURA 9.11 PERFILES DE POTENCIALES RAMAL CERAMICA LIMA 2 PK 0+000 AL 05+927 238
FIGURA 9.12 PERFILES DE POTENCIALES RAMAL VIDRIOS NACIONALES PK 0+000 AL 04+075 239
10. CAPITULO X: COSTOS DE PROTECCION CATÓDICA 240
ANEXO 1. DATA SHEETS CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR SEVERIDAD DE CORROSIÓN 257
ANEXO 2 RESISTIVIDAD GEOELECTRICA PARA EL LUGAR DE LAS CAMAS ENTERRADAS EN LURIN CITY GATE Y TERMINAL STATION 267
FIGURA 1. ESQUEMA DEL ARREGLO DE PRUEBAS 267
FIGURA 2. VISTA AEREA DE UN TIPICO ARREGLO DE PRUEBA 268
FIGURA 3. ISORESISTIVIDAD A 2 M EN CITY GATE LURIN, OHM CM 269
FIGURA 4. ISORESITIVIDAD A 2 M EN TERMINAL STATION, OHM-CM 271
ANEXO 3 PLANOS DE RESISTIVIDAD DE LA TUBERÍA DE GAS 274
ANEXO 4 ESQUEMAS DE MONTAJE Y ELECTRICOS 277

INDICE DE TABLAS

1. CAPITULO I FUNDAMENTOS BÁSICOS SOBRE CORROSION. 25
TABLA Nº 1.1 POTENCIALES STANDARD DE ÓXIDO - REDUCCIÓN (REDOX) A 25º 37
TABLA NO. 1.2 SERIE GALVANICA EN AGUA DE MAR, DE ALGUNOS MATERIALES METALICOS COMERCIALES. 39
TABLA Nº 1.3 SERIE GALVANICA PARA MATERIALES EN SUELOS NEUTROS Y AGUA 40
2. CAPITULO II FUNDAMENTOS DE LA PROTECCIÓN CATODICA. 42
TABLA Nº 2.1 POTENCIALES CALCULADOS PARA FIERRO, COBRE, ZINC Y PLOMO. 47
TABLA Nº 2.2 RANGO DE CORRIENTE REQUERIDA PARA PROTEGER UNA TUBERÍA DE 10 MILLAS DE LONGITUD Y 36 PULGADAS DE DIÁMETRO 54
3. CAPITULO III REVESTIMIENTOS PROTECTORES AISLANTES PARA ESTRUCTURAS SUMERGIDAS O ENTERRADAS 63
TABLA 3.1 TIPOS DE REVESTIMIENTOS 70
4. CAPITULO IV ESTRUCTURAS QUE PUEDEN SER PROTEGIDAS CATÓDICAMENTE 78
TABLA 4.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS ÁNODOS DE MAGNESIO 80
TABLA 4.2 TIPOS DE ÁNODOS DE MAGNESIO (CORRPRO COMPANIE INC.) 81
TABLA 4.2 CONTINUACIÓN 82
TABLA 4.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS ÁNODOS DE ZINC. 83
TABLA 4.4 TIPOS DE ÁNODOS DE ZINC 85
TABLA 4.5 DATOS DE BACKFILL PARA ÁNODOS DE MAGNESIO Y ZINC 89
TABLA 4.6 COMPOSICION QUIMICA DE MATERIAL DE ÁNODO PARA UNA TUBERÍA MAR ADENTRO 94
TABLA 4.7 COMPARACIÓN DE ÁNODOS DE ZINC Y MAGNESIO EN VARIACIÓN DE RESISTIVIDADES 97
TABLA 4.8 EJEMPLO DE ÁNODOS DE CORRIENTE IMPRESA EN USOS DIFERENTES. 105
TABLA 4.9 DATOS DE TAMAÑO Y RANGO DE OPERACIÓN DE CORRIENTE DE ÁNODOS DE MEZCLAS DE ÓXIDOS METÁLICOS TUBULARES 108
TABLA 4.10 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE BACKFILL COQUE DE PETRÓLEO Y METALÚRGICO 109
TABLA 4.11 TAMAÑO TÍPICO Y RANGO DE DATOS DE OPERACIÓN DE CORRIENTE.ÁNODOS SÓLIDOS DE MEZCLAS DE ÓXIDOS METÁLICOS 110
TABLA 4.12 PESOS DEL BACKFILL CARBONOSO 111
FIGURA 4.16 DIAGRAMA TÍPICO DE UN RECTIFICADOR DE POTENCIAL CONSTANTE 115
5. CAPITULO V MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA EFICIENCIA Y REGISTROS. 123
TABLA 5.1 VALORES RELATIVOS DE ELECTRODO DE REFERENCIA TÍPICOS PARA EL ELECTRODO DE REFERENCIA COBRE – SULFATO DE COBRE *ELECTRODO USADO BAJO CONDICIONES ESTÁNDAR (DEL RP0169-99) 126
6. CAPITULO VI ELECCIÓN - DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA 132
TABLA 6.1 CLASIFICACION DE RESISTIVIDAD DE TERRENOS 134
TABLA 6.2 PRUEBA DE RESISTIVIDAD 137
TABLA 6.3 137
TABLA 6.4. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR SEVERIDAD DE CORROSIÓN 139
TABLA 6.5.LOCALIZACIÓN DE LAS JUNTAS MONOLÍTICAS 141
TABLA 6.6 PRUEBA 1 145
TABLA 6.7 PRUEBA 2 145
TABLA 6.8 PRUEBA DE CORRIENTE 1 146
TABLA 6.9 PRUEBA DE CORRIENTE 2 147
TABLA 6.10 CAPACIDAD DE RECTIFICADOR 155
TABLA 6.11 RESISTENCIA DE CABLE SEGÚN EL CALIBRE DE DIAMETRO 155
TABLA 6.12 FACTORES DE CORRECCIÓN PARA OTRAS TEMPERATURAS 156
7. CAPITULO VII CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA 161
TABLA 7.1 UBICACIÓN DE ÁNODOS INSTALADOS 168
TABLA 7.2 171
TABLA 7.3 DIMENSIONES DE INSTALACIÓN DE LOS ÁNODOS. 171

TABLA 7.4. SEÑALES DE INGRESO DE LAUNIDAD RECTIFICADORA. 180
TABLA 7.5. SEÑALES DE INGRESO PAR A LAS VÁLVULAS DE BLOQUEO 180
TABLA 7.6. SEÑALES DE SALIDA 181
TABLA 7.7. SEÑALES A SER MANEJADAS EN CADA LOCACIÓN 182
TABLA 7.8. ESPECIFICACIONES DE CONDICIONES DE SEÑAL 182
TABLA 7.9 AC RELAY 183
TABLE 7.10 PROTECTOR SOBRE VOLTAJE FUENTE DE PODER AC 183
TABLA 7.11. CABLES DE SEÑAL DE SOBRE VOLTAJE 183
TABLA 7.12. LOOPS DE CORRIENTE DE SIOBRE VOLTAJE 184
TABLA 7.11 COMPONENTES PRINCIPALES 186
TABLA 7.12 COMPONENTES PRINCIPALES 190
TABLA 7.13 CABLES CODIGO DE CONSTRUCCION Y LONGITUD 197
TABLA 7.14 INFORMACION DE ARRANQUE 197
TABLA 7.15 CABLES 201
TABLA 7.16 DATOS DE ARRANQUE 201
TABLA 7.17 COMPONENTES PRINCIPALES DE LA UNIDAD DE MONITOREO REMOTO 202
8. CAPITULO VIII MATERIALES UTILIZADOS EN LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA 205
9. CAPITULO IX MONITOREO Y PUESTA EN MARCHA 219
TABLA 9.1 RESULTADO DE MEDICIÓN DE POTENCIALES 224
10. CAPITULO X: COSTOS DE PROTECCION CATÓDICA 240
ANEXO 1. DATA SHEETS CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR SEVERIDAD DE CORROSIÓN 257
ANEXO 2 266**RESISTIVIDAD GEOELECTRICA PARA EL LUGAR DE LAS CAMAS ENTERRADAS EN LURIN CITY GATE Y TERMINAL STATION** 267
TABLA 1 PRUEBAS DE RESISTIVIDAD EN ESTACIÓN CITY GATE LURÍN 268
TABLA 2 ANÁLISIS DE BARNES EN CITY GATE LURIN 269
TABLA 3 RESISTIVIDAD DE PRUEBA EN TERMINAL STATION 270
TABLA 4 ANALISIS BARNES EN TERMINAL STATION 270
TABLA 6 ANÁLISIS BARNES EN TERMINAL STATION (SITIO DEFINIDO) 272
TABLA 7. DATOS PRELIMINARES EN LA ZONA DEL TERMINAL STATION 272

I. INTRODUCCION

La corrosión en estructuras enterradas y la forma de cómo protegerlas es el tema principal de esta tesis, debido a que una estructura metálica que es enterrada y tener contacto directo con el suelo, tiende a degradarse, sobre todo si el material es Acero, el Fierro que lo compone tiende a regresar al estado natural de Oxido de Fierro al encontrar Oxigeno en el suelo donde se encuentre enterrado.

La corrosión de las estructuras es un hecho que no se podrá evitar, porque de una u otra manera existirá corrosión, debido a que es un fenómeno químico inevitable, lo que puede hacerse y de lo que existen muchos estudios, prácticas y normas internacionales es CONTROLAR Y/O MITIGAR este efecto con una variedad de procedimientos, resaltando entre ellos: LA PROTECCION CATÓDICA

La protección catódica se describió por primera vez por Sir Humphry Davy en una serie de documentos presentados a la Royal Society de Londres en 1824 - La primera aplicación fue la Samarang HMS en 1824 - Ánodos hechos de hierro unidas a la vaina de cobre del casco por debajo de la línea de flotación reduce drásticamente la velocidad de corrosión del cobre. Sin embargo, un efecto secundario de la protección catódica era para aumentar el crecimiento marino. Cobre, cuando se corroe, libera iones de cobre que tienen un efecto anti-fouling. Dado que el crecimiento marino exceso afectó el desempeño de la nave, la Royal Navy decidió que era mejor dejar que el cobre se oxide y tienen el beneficio de la reducción del crecimiento de organismos marinos, la protección catódica por lo que no se usa más.

Davy fue asistido en sus experimentos por su discípulo Michael Faraday, quien continuó su investigación tras la muerte de Davy. En 1834, Faraday descubrió la relación cuantitativa entre la pérdida de peso a la corrosión y la corriente eléctrica y así sentó las bases para la futura aplicación de la protección catódica.

Thomas Edison experimentó con impresionó la protección catódica de corriente en los buques en 1890, pero no tuvo éxito debido a la falta de una fuente de corriente adecuada y materiales de ánodo. Sería 100 años después del experimento de Davy antes de que se utiliza ampliamente en la protección catódica de oleoductos en Estados Unidos - la protección catódica se aplica a las tuberías de gas de acero a partir de 1928 y más ampliamente desde la década de 1930.

Desde allí el estudio de la electroquímica de los metales mediante el Diagrama de Pourbaix, se logró, controlar la corrosión de varios metales. Este sistema actualmente es muy usado a nivel internacional, es más en la mayoría de países es de uso obligatorio por la diversidad de estructuras tanto enterrada o sumergida que han sido construidas y aquí en el Perú se está tomando con mucho más fuerza su uso.

Como dato de importancia, por contrato con la empresa constructora se ejecutó la instalación de Protección Catódica galvánica en 03 tramos para la tubería con más de 06 meses de construcción (33+800 Km). Al finalizar la construcción del ducto se implementará la construcción de PC por corriente impresa

i. ALCANCE

El estudio abarca los diferentes tipos de Protección catódica, los cuales no llevarán a lograr la protección de la estructura enterrada.

Los sistemas de Protección Catódica no solamente se pueden usar en ambientes industriales como ya comentamos en tanques o tuberías enterradas, sino también en construcciones en donde actualmente a las estructuras de acero antes de ser embebidas en concreto se le suelda un ánodo de magnesio o zinc para mantenerlo protegido, también se puede utilizar en estructuras sumergidas, sea en ambiente marino o fluvial

ii. OBJETIVOS

a) GENERALES

Las estructuras enterradas y/o sumergidas, en su totalidad son siempre recubiertas con un "REVESTIMIENTO" este revestimiento da una protección mecánicas a la estructura, pero no electroquímica, a partir de este concepto ingres la Protección catódica. La protección catódica tiene dos tipos de técnicas; la primera con el uso de ánodos galvánicos (Protección Catódica por Ánodos Galvánicos) y el de corriente Impresa. El tipo de técnica al que hace materia este estudio de Tesis es el uso de ambos sistemas para la protección catódica de la tubería de Gas en Lima y Callao

b) ESPECIFICOS

- Tuberías de acero, que cumplirán con los requerimientos señalados en la Norma para el Sistema de Tuberías para Transmisión y Distribución de Gas de la American National Standards Institute / American Society Mechanical Engineer (ANSI/ASME B31.8) y el Reglamento de Distribución de Gas Natural por Red de Ductos.
- Esta tubería atraviesa Lima en casi su totalidad territorial y por ende una diversidad de suelos desde terrenos arenosos secos, pasando por terrenos agrícolas, suelos rocosos hasta terrenos arenosos con napa freática a 1 mts de profundidad, los resultados obtenidos de los análisis de suelos para determinar la corrosividad del suelo en Lima, se obtiene que del 100% por donde el ducto habría que atravesar, el 90% es Corrosivo y el otro 10% es medianamente corrosivo.
- Los data sheet se encuentran en la sección Anexos.
- Desde el punto de vista económico, es muy conveniente la inversión en un sistema de protección catódica, puesto que al invertir en un sistema, previene en gran medida cualquier daño estructural, lo que permite disminuir gastos de mantenimiento, reparación, pérdidas económicas de producción, y lo más importante disminuir posibles pérdidas de vidas humanas.
- Como resultado obtenemos una estructura protegida mecánicamente por la aplicación de revestimientos (lo cual se detallará ampliamente), y con una protección electroquímica.
- Ninguno de estas protecciones son discriminatorias, es mas todo lo contrario, son totalmente amigables y dependen una de la otra

II. ANTECEDENTES DEL GAS DE CAMISEA

Durante la década de los 80's, la empresa SHELL en un Lote de 2 millones de hectáreas, en la parte sur de la Cuenca Ucayali, mediante la ejecución de 3000 kilómetros de líneas sísmicas y la perforación de 5 pozos exploratorios permitió que dos yacimientos fueran descubiertos en los anticlinales San Martín y Cashiriari del Lote 88 (Camisea). Ambos yacimientos fueron probados en reservorios de formaciones pertenecientes al Cretácico y Pérmico, confirmando reservas de gas no asociado y condensados. Sin llegar a un acuerdo para la explotación entre PETROPERÚ y la compañía SHELL en 1988 se da por concluida la negociación.

Una segunda campaña exploratoria realizada por el consorcio SHELL/MOBIL, se inició en 1996 perforándose 3 pozos de evaluación y luego se llevaron a cabo los estudios necesarios para desarrollar un proyecto de explotación y comercialización del gas de Camisea. En 1998 el consorcio SHELL/MOBIL comunica su decisión de no continuar con el Segundo Periodo del Contrato, por consiguiente el Contrato queda resuelto. Como resultado, la Comisión de Promoción de la Inversión Privada (COPRI) acuerda llevar adelante un proceso de promoción para desarrollar el Proyecto Camisea mediante un esquema segmentado, que comprende módulos independientes de negocios. El 31 de mayo de 1999, el Comité Especial del Proyecto Camisea (CECAM) convocó a Concurso Público Internacional para otorgar el Contrato de Licencia para la Explotación de Camisea, y para las Concesiones de Transporte por Ductos de Líquidos y de Gas Natural desde Camisea hasta la costa y de Distribución de Gas Natural en Lima y Callao.

Es así, que en el proceso de Licitación en Diciembre del año 2000 el Consorcio compuesto por Pluspetrol Perú Corp. (36 %, Operador), Hunt Oil Company (36%), SK Corp. (18%) y Tecpetrol del Perú (10%) se hicieron adjudicatarios del módulo de Explotación de Hidrocarburos en el Lote 88 – Yacimientos de Gas Natural de Camisea. El módulo de Transporte por Ductos y de los Líquidos del Gas Natural desde Camisea hasta la costa y la Distribución del Gas Natural en Lima y Callao fue adjudicado al Consorcio formado por las empresas Techint (Argentina), Pluspetrol (Argentina), Hunt Oil Co. (USA), SK Corp. (Corea), Sonatrach (Argelia) y Graña y Montero (Perú).

i. RESERVAS

Las reservas de estos campos se encuentran en evaluación ya que dependen básicamente del mercado, El Gas Original Insitu (GOIP) en los yacimientos de Camisea, expresadas en TCF (*Trillon of cubic feet*) para el gas natural y en MMBls (*Millones de Barriles*) para los líquidos del gas natural son las siguientes:

Yacimientos	**GOIP**	
	Gas, TCF	**Líquidos, MM Bls***
Cashiriari	5.0	353
San Martín	3.1	214
TOTAL	**8.1**	**567**

ii. ESQUEMA DEL PROYECTO

Debido a que el proyecto tiene como objetivo la recuperación máxima posible de líquidos a partir del gas natural producido, así como de suministrar gas al mercado interno, el plan de desarrollo de los yacimientos San Martín y Cashiriari contempla la perforación de pozos productores de gas húmedo y pozos inyectores de gas seco. El programa consistió en comenzar la producción en el año 2004 con un total de 5 pozos, 4 productores y 1 inyector en el yacimiento San Martín. Posteriormente, fueron incorporándose en forma secuencial los pozos productores e inyectores que cubran la demanda de gas, hasta completarse un total estimado de 21 pozos en el Lote (17 productores y 4 inyectores) El proyecto consiste en captar y conducir el gas natural proveniente de los yacimientos San Martín y Cashiriari hacia una planta de separación de líquidos ubicada en Malvinas, localizada a orillas del río Urubamba. En esta planta los hidrocarburos líquidos contenidos en el gas natural y se acondiciona este último para que pueda ser transportado por un gasoducto hasta los mercados en la costa, mientras que el gas excedente se reinyecta a los reservorios productivos.

Por otro lado, los líquidos del gas obtenidos en la planta de separación conducidos hasta la costa mediante un ducto de líquidos y recibidos en una planta ubicada en Pisco, donde se fraccionan en productos de calidad comercial (GLP, Gasolina y Condensados) y luego se despachan al mercado a través de buques y/o camiones cisterna. Para acceder al mercado los hidrocarburos de Camisea deberán transportarse desde Camisea hasta la Costa Central para lo cual se construyeron dos ductos paralelos: uno para el transporte del gas natural y el otro para el transporte de los líquidos del gas natural. Estos ductos, cuyo trazado significa retos técnicos y constructivos importantes, tienen una longitud alrededor de 730 Km. el primero, hasta Lima, y de 560 Km. el segundo; hasta Pisco, y atravesaron zonas de selva, luego transponer los Andes superando alturas de más de 4800 metros para finalmente descender por los terrenos desérticos de la costa.

iii. CAMISEA EN LIMA Y CALLAO

En Lima y Callao se tendió una red de ductos para la distribución del gas natural, la que en primera instancia se orientó principalmente al suministro de gas a la industria y a las plantas de generación de electricidad y más adelante se amplió esta red para suministro residencial y comercial.
La primera parte de este importante proyecto de producción y suministro de hidrocarburos comprende las actividades de diseño y construcción de las instalaciones e infraestructura productiva y de transporte que se llevaron a cabo en un plazo máximo de 44 meses a partir de la fecha de suscripción del Contrato. De acuerdo a ello para agosto del año 2004 se dispuso de gas natural combustible en la costa peruana y en las ciudades de Lima y Callao; así como de importantes volúmenes de combustibles líquidos para consumo en el mercado interno.

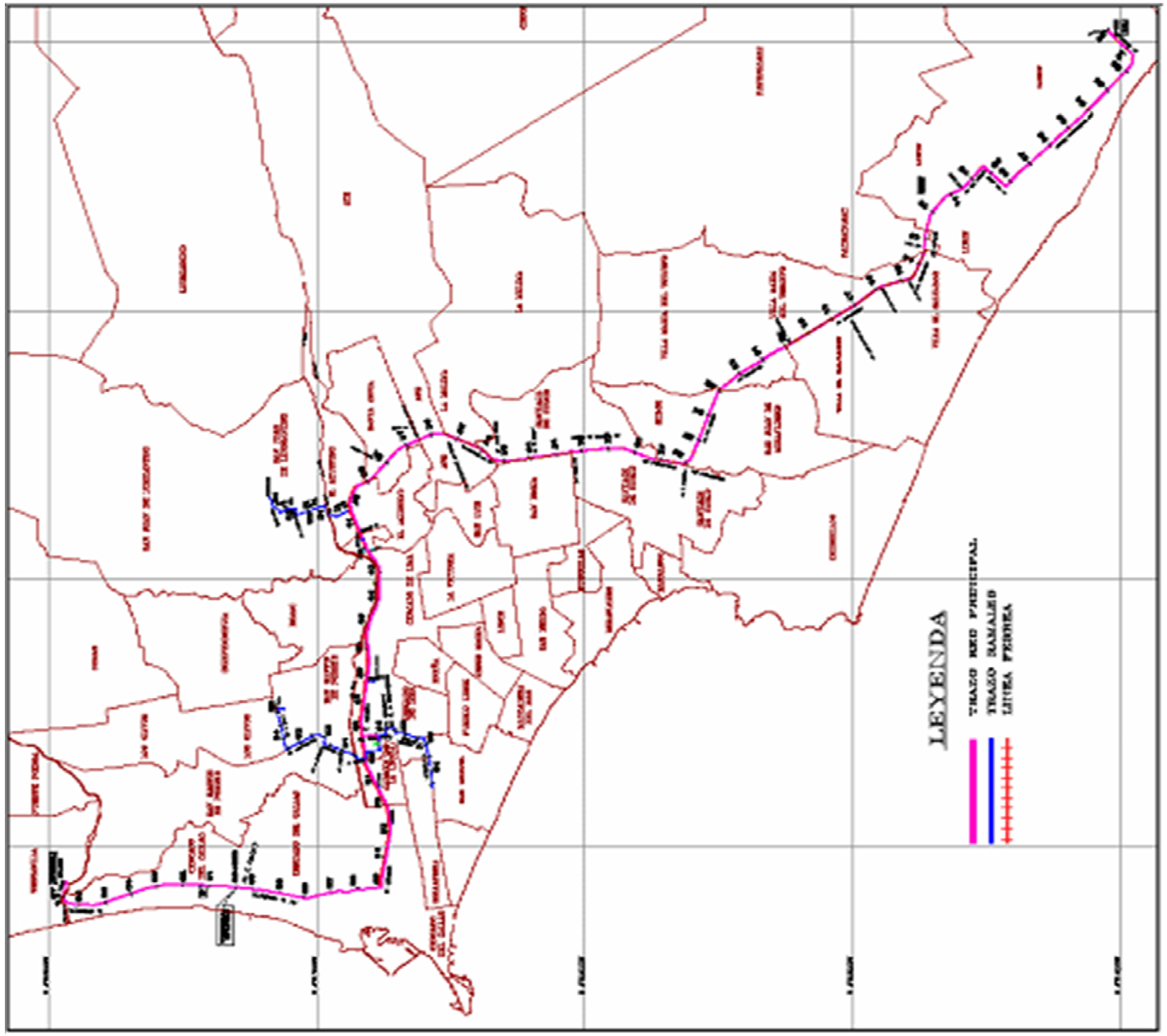
GAS NATURAL DE LIMA Y CALLAO	
- Construir una tubería principal de 60,6 km de longitud y 20 pulgadas de diámetro de gas natural. - 25 km de ramales o tuberías secundarias.	- El avance global del proyecto incluyendo la ingeniería y los suministros es de 100%. Trabajos de construidos: - Inst. del ducto principal (alta presión).....100% - Ramal ETEVENSA..... 100% - City Gate y terminal de Ventanilla..... ... .100% - **Inversión:** - US$ 170,63 millones comprometidos hasta la puesta en operación comercial.

Fuente: www.calidda.com

Luego de casi 20 meses de trabajo profesional y con sumo respeto por las personas y las actividades de la ciudad, el gasoducto principal de distribución que recorre la ciudad por 61 Km., desde Lurín al sur hasta Ventanilla por el Norte, ha sido llenada con Gas Natural proveniente de Camisea.
La tubería de acero de 20 pulgadas de diámetro y 1.13 centímetros de espesor, se encuentra enterrada a una profundidad no menor de 1.2 metros, con un relleno compactado y, predominantemente, debajo de una superficie afirmada o asfaltada. Las válvulas de bloqueo, que garantizan la seguridad del sistema, se ubican en cámaras tipo "bunker", reforzadas y selladas con hormigón, cada 5 ó 6 Km.
El proyecto de distribución involucró la contratación de unos mil trabajadores como promedio (entre directos e indirectos) en sus diferentes etapas: ingeniería, suministro de materiales y construcción, siendo el total de horas hombre trabajadas de un millón y medio aproximadamente.
El proceso de distribución del gas de Camisea para Lima y Callao ha tenido una inversión - a la fecha - de unos 60 millones de dólares, proyectándose hasta finales del 2004 unos 70 millones de dólares. Asimismo, su uso permitirá a la industria un ahorro en gastos de energía entre el 25 y 35 por ciento y, en el caso residencial, entre un 40 a 45 por ciento.
DESCRIPCION GENERAL DE LA DISTRIBUCION DE GAS LIMA - CALLAO

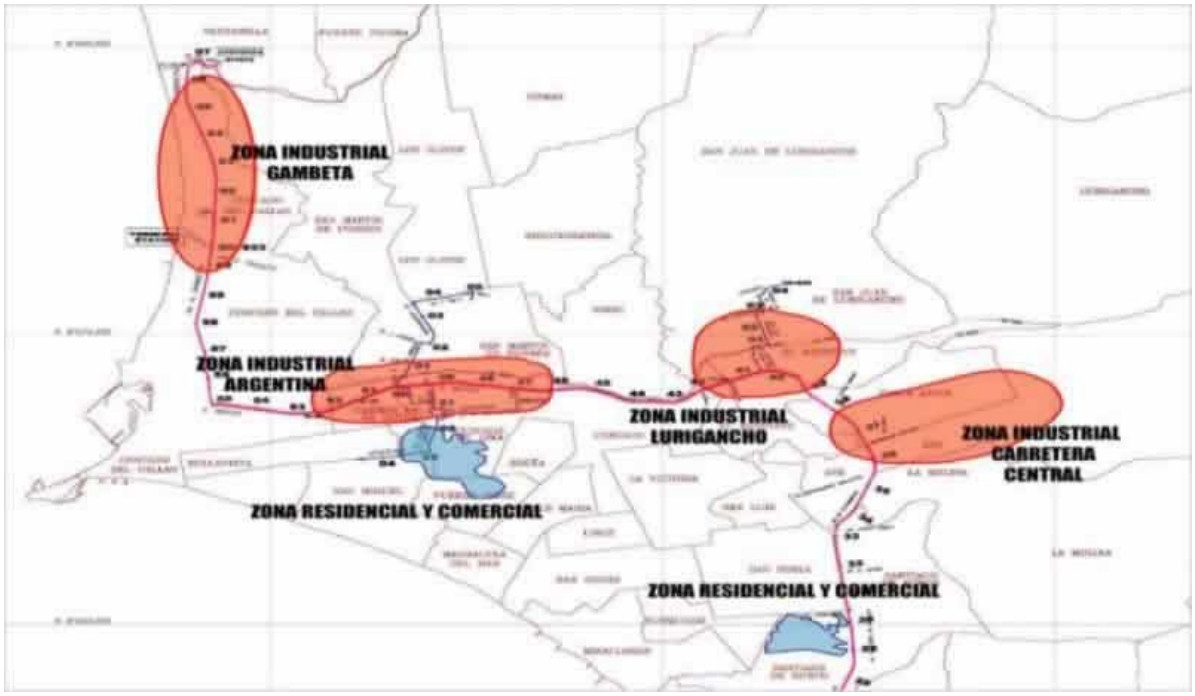
- Concesión y Operación: Tractebel 100% - Inicio Operaciones (Contractual): ago. 2004 - Inversión total: 170 MMUSD -	- Ventas 1er. Año: 30 MMUSD - - Ventas Años 2 a 30: 40 a 170 MMUSD -

RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL LÍNEA PRINCIPAL 20" Y PRIMEROS CLIENTES.



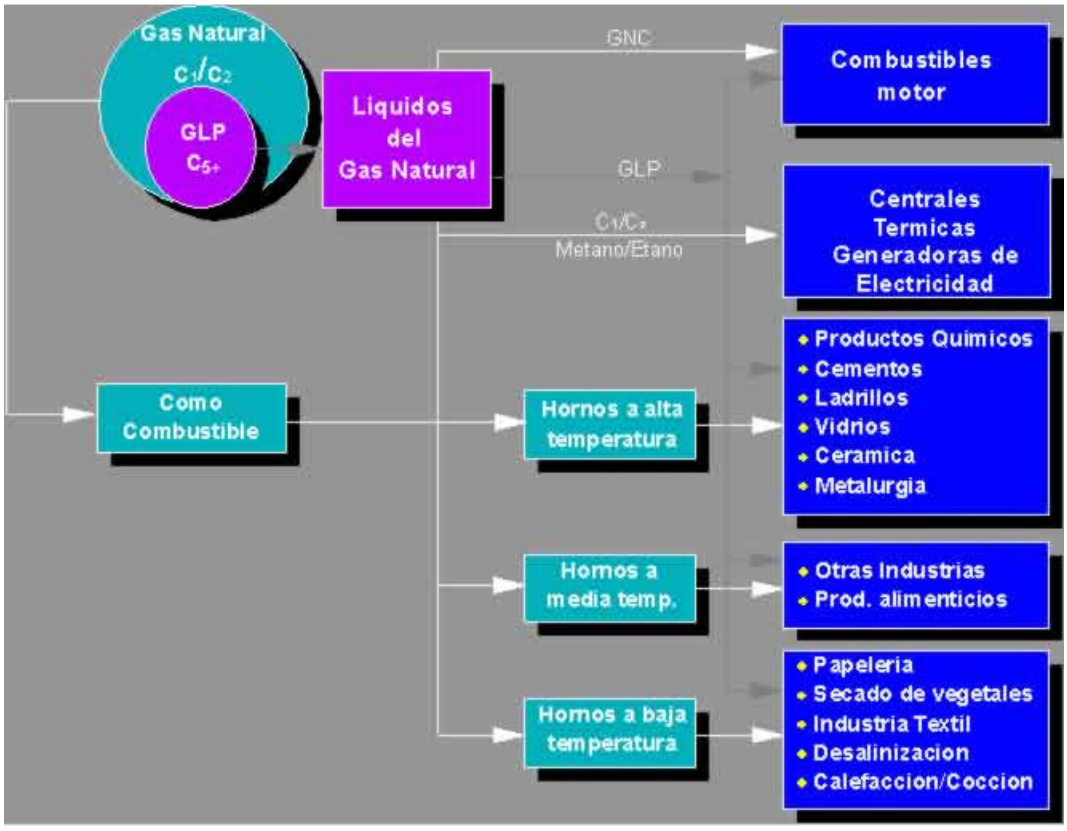
Fuente: CALIDDA 2008.

PLAN DE DESARROLLO GENERAL 2004 - 2005



Fuente IV Conferencia Internacional LA Hora del Gas 2005, exposición del Vice Ministro de Energía Juan Miguel Cayo M.

USOS COMO COMBUSTIBLE DIRECTO



Fuente IV Conferencia Internacional LA Hora del Gas 2005, exposición del Vice Ministro de Energía Juan Miguel Cayo M.

LIBRO 1 PARTE TEORICA

1. CAPITULO I FUNDAMENTOS BÁSICOS SOBRE CORROSION.

1.1. ASPECTOS GENERALES DE LA CORROSIÓN.

La vida útil del equipo en la industria se acorta a menudo como un resultado de la corrosión y en los últimos 10 años se ha tenido grandes adelantos en la detección y remedios aplicados para controlarlo

En términos técnicos simplificados, la corrosión ha sido definida como la destrucción de un metal por reacción química o electroquímica por el medio ambiente y representa la diferencia entre una operación libre de problemas con gastos de operación muy elevados.

Para efectos prácticos, es casi imposible eliminar la corrosión y el secreto efectivo de la ingeniería en este campo radica más en su control, que en su eliminación siendo necesario tomar en cuenta el fenómeno corrosivo desde el diseño de las instalaciones y no después de ponerlas en operación.

El ingeniero que trabaja en problemas de corrosión necesita saber dónde empezar y tener un conocimiento básico para reconocer la corrosión, cómo se produce, cómo impedir su severidad, qué herramientas son necesarias, técnicas de inspección, variables de diseño que afectan a la corrosión, selección de materiales y la forma de interpretar y aplicar la información del problema corrosivo, así como saber dónde obtener ayuda.

Todos los metales y aleaciones son susceptibles al fenómeno de corrosión, no habiendo material útil para todas las aplicaciones. Por ejemplo el oro, conocido por su excelente resistencia a la atmósfera, se corroe si se pone en contacto con mercurio a temperatura ambiente. Por otra parte el acero no se corroe en contacto con el mercurio, pero rápidamente se oxida expuesto a la atmósfera.

Afortunadamente se tienen bastantes metales que pueden comportarse satisfactoriamente en medios específicos y también se tienen métodos de control de la corrosión que reducen el problema.

Los paros de las plantas pueden ocurrir y ocurren como un resultado de la corrosión, provocando gastos directos e indirectos de aspecto económico y humano.

Dentro de los aspectos económicos tenemos:

a) Reposición del equipo corroído.

b) Coeficiente de seguridad y sobre diseño para soportar la corrosión.

c) Mantenimiento preventivo como la aplicación de recubrimientos.

d) Paros de producción debido a fallas por corrosión.

e) Contaminación de productos.

f) Pérdida de eficiencia ya que los coeficientes de seguridad, sobre diseño de equipo y productos de corrosión por ejemplo, decrecen la velocidad de transmisión de calor en cambiadores de calor.

g) Pérdida de productos valiosos.

h) Daño de equipo adyacente a aquel en el cual se tuvo la falla de corrosión.

Dentro de los aspectos humanos y sociales tenemos:

a) La seguridad, ya que fallas violentas pueden producir incendios, explosiones y liberación de productos tóxicos.

b) Condiciones insalubres por ejemplo, contaminaciones debido a productos del equipo corroído o bien un producto de la corrosión misma.

c) Agotamiento de los recursos naturales, tanto en metales como en combustibles usados para su manufacturera.

d) Apariencia, ya que los materiales corroídos generalmente son desagradables a la vista.

Naturalmente, estos aspectos sociales y humanos también tienen sus aspectos económicos y podemos ver claramente que hay muchas razones para controlar la corrosión.

1.2. FORMAS DE CORROSIÓN.

La corrosión ocurre en muy variadas formas, pero su clasificación generalmente se basa en uno de los tres siguientes factores:

a) Naturaleza de la sustancia corrosiva. La corrosión puede ser clasificada como húmeda o seca, para la primera se requiere un líquido o humedad mientras que para la segunda, las reacciones se desarrollan con gases a alta temperatura.

b) Mecanismo de corrosión. Este comprende las reacciones electroquímicas o bien, las reacciones químicas.

c) Apariencia del metal corroído. La corrosión puede ser uniforme y entonces el metal se corroe a la misma velocidad en toda su superficie, o bien, puede ser localizada, en cuyo caso solamente resultan afectadas áreas pequeñas.

La clasificación por apariencia, uniforme o localizada, es muy útil para una discusión preliminar que en caso de requerirse en forma más completa, necesita del establecimiento de las diferencias entre la corrosión localizada de tipo macroscópico y el ataque microscópico local.

En el ataque microscópico, la cantidad de metal disuelto es mínimo y puede conducir a daños muy considerables antes de que el problema sea visible.

Los diferentes tipos de corrosión se presentan en la Figura N°. 1.1, a continuación se enuncia cada una de estas formas.

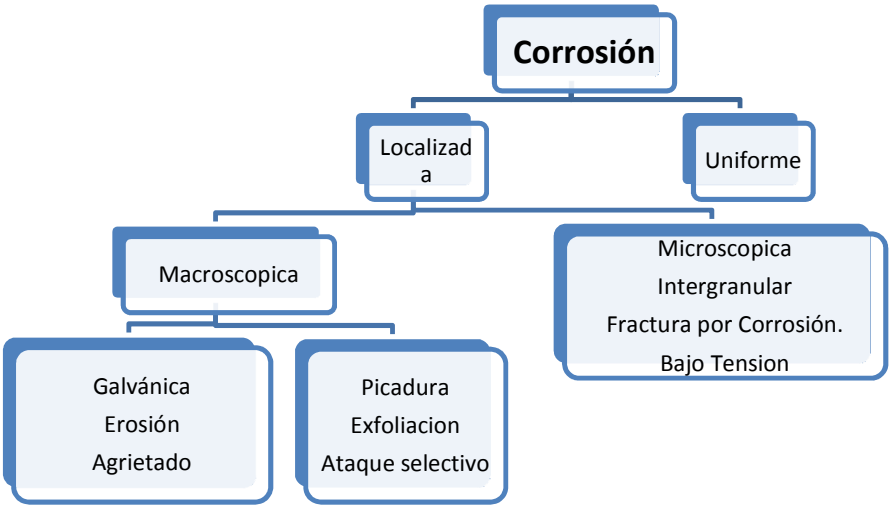


Figura Nº1.1 Las diferentes formas de corrosión

1.2.1. CORROSION GALVANICA Y UNIFORME

El ataque uniforme sobre grandes áreas de una superficie metálica (Fig. No. 1.2b) es la forma más común de la corrosión y puede ser húmeda o seca, electroquímica o química, siendo necesario seleccionar los materiales de construcción y los métodos de protección como pintura, para controlarla.

Por otra parte, la corrosión uniforme es la forma más fácil de medir, por lo que las fallas inesperadas pueden ser evitadas simplemente por inspección regular.

La corrosión galvánica se presenta, cuando dos metales diferentes en contacto o conectados por medio de un conductor eléctrico, son expuestos a una solución conductora. En este caso, existe una diferencia en potencial eléctrico entre los metales diferentes y sirve como fuerza directriz para el paso de la corriente eléctrica a través del agente corrosivo, de tal forma que el flujo de corriente corroe uno de los metales del par formado.

1.2.2. CORROSION POR EROSION

Cuando el movimiento del medio corrosivo sobre la superficie metálica incrementa la velocidad de ataque debido a desgaste mecánico, este recibe el nombre de corrosión por erosión. La importancia relativa del desgaste mecánico y la corrosión, es a menudo difícil de establecer y varia grandemente de una situación a otra, y el mecanismo de la erosión generalmente se atribuye a la remoción de películas superficiales protectoras, como por ejemplo, películas de óxido formadas por el aire, o bien, productos adherentes de la corrosión.

La corrosión por erosión, generalmente tiene la apariencia de picaduras poco profundas de fondo terso, como se ve en la figura No. 1.2d, y el ataque puede presentar también una distribución direccional debido al camino seguido por el agente agresivo cuando se mueve sobre la superficie del metal, tal y como se muestra en la figura No. 1.2d.

La corrosión por erosión puede ser evitada por cambios de diseño o por selección de materiales más resistentes.

1.2.3. CORROSION POR AGRIETAMIENTO

Las condiciones ambientales en una grieta, pueden con el tiempo volverse muy diferentes de las existentes en una superficie limpia y abierta, por lo que un medio ambiente muy agresivo puede desarrollar y causar corrosión en las grietas (figura No.1.2f).

Las grietas o hendeduras generalmente se encuentran en los empaques, traslapes, tornillos, remaches, etc., y también pueden formarse por depósitos de suciedad, productos de la corrosión y raspaduras en las películas de recubrimiento.

La corrosión por agrietamiento, generalmente se atribuye a los siguientes factores:

a).- Cambios de acidez en la grieta o hendidura.

b).- Escasez de oxígeno en la grieta.

c).- Desarrollo de iones diferentes en la hendidura.

d).- Agotamiento de Inhibidor en la grieta.

1.2.4. CORROSION POR PICADURA

La corrosión por picadura se presenta por la formación de orificios en una superficie relativamente in atacada y las picaduras pueden tener varias formas (figura No. 1.2g). La forma de una picadura es a menudo responsable de su propio avance, por las mismas razones mencionadas en la corrosión por agrietamiento, es decir, una picadura puede ser considerada como una grieta o hendidura formada por si misma.

Para reducir la corrosión por picadura se necesita una superficie limpia y homogénea, por ejemplo, un metal homogéneo y puro con una superficie muy pulida deberá ser generalmente, mucho más resistente que una superficie que tenga incrustaciones, defectos o rugosidad.

1.2.5. CORROSION POR EXFOLIACION Y DISOLUCION SELECTIVA

La corrosión por exfoliación es una corrosión sub superficial que comienza sobre una superficie limpia, pero se esparce debajo de ella y difiere de la corrosión por picadura en que el ataque tiene una apariencia laminar.

Capas completas de material son corroídas (figura No. 1.2h) y el ataque es generalmente reconocido por el aspecto escamoso y en ocasiones ampollado de la superficie.

Al final del ataque, una muestra tiene la apariencia de un mazo de barajas en el cual algunas de las cartas han sido extraídas. Este mecanismo es bien conocido en las aleaciones de aluminio y se combate utilizando aleaciones y tratamientos térmicos

Este fenómeno corrosivo produce un metal poroso (figura 1.2i) que tiene propiedades mecánicas muy pobres y obviamente el remedio a este caso es el empleo de aleaciones que no sean susceptibles a este proceso.

1.2.6. CORROSION INTERGRANULAR O INTERCRISTALINA

Para entender este tipo de ataque es necesario considerar que cuando un metal fundido se cuela en un molde, su solidificación comenzó con la formación de núcleos al azar, cada uno de los cuales crece en un arreglo atómico regular para formar lo que se conoce con el nombre de granos o cristales.

Los límites de grano son a veces atacados preferencialmente por un agente corrosivo y el ataque se relaciona con la segregación de elementos específicos o por la formación de un

compuesto en el límite. La corrosión generalmente ocurre, porque el agente corrosivo ataca preferencialmente el límite de grano o una zona adyacente a él, que ha perdido un elemento necesario para tener una resistencia a la corrosión adecuada.

En un caso severo de corrosión ínter cristalina, granos enteros se desprenden debido a la deterioración completa de sus límites (figura No. 1.2j), en cuyo caso, la superficie aparecerá rugosa al ojo desnudo y se sentirá rasposa debido a la pérdida de los granos.

1.2.7. CORROSION DE FRACTURA POR TENSIÓN

La acción conjunta de un esfuerzo de tensión y un medio ambiente corrosivo, dará como resultado en algunos casos, la fractura de una aleación metálica. La mayoría de las aleaciones son susceptibles a este ataque, pero afortunadamente el número de combinaciones aleación – corrosivo que causan este problema, son relativamente pocas. Sin embargo, hasta la fecha, este es uno de los problemas metalúrgicos más serios.

Las fracturas pueden seguir caminos Ínter cristalinos o trans-cristalinos (figura No. 1.2k) que a menudo presentan una tendencia a la ramificación.

Para combatir la corrosión de fracturas por tensión, es necesario realizar el relevado de esfuerzo o seleccionar un material más resistente.

La corrosión por fatiga, se incrementa naturalmente con la presencia de un medio agresivo, de tal forma que el esfuerzo necesario para producir la corrosión por fatiga, se reduce en algunas ocasiones hasta la mitad del necesario, para producir la falla en aire seco (figura No. 1.2 l).

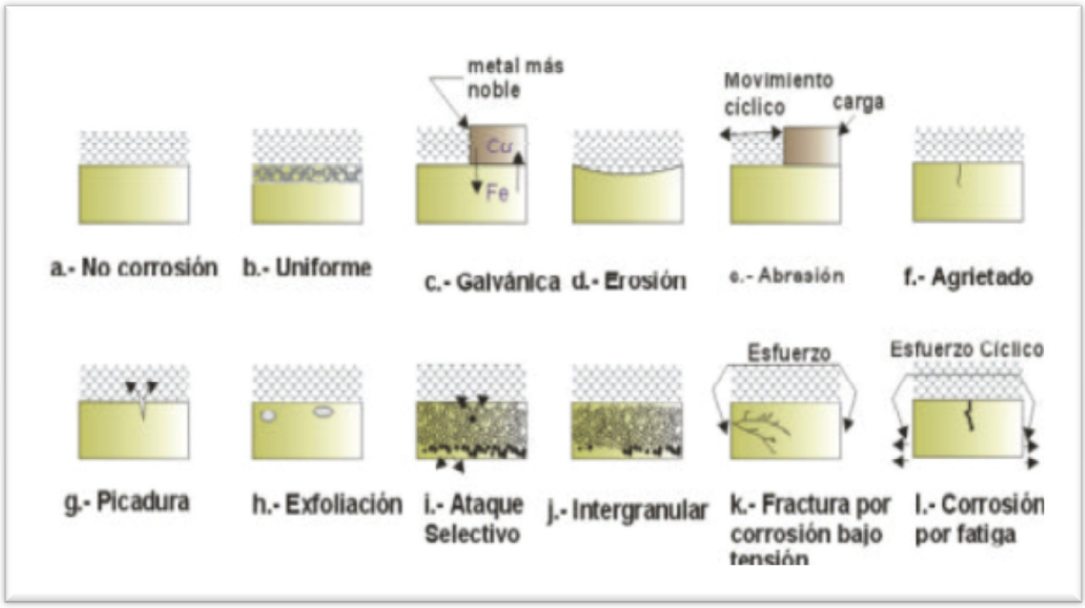


Figura N° 1.2.- Corrosión de metales y aleaciones

Los métodos para evitar la corrosión por fatiga, necesitan prevenir la fractura producida por ésta desde el principio, ya que es muy difícil detener la propagación de las fracturas, una vez que se inician.

1.3. QUÍMICA Y ELECTROQUÌMICA DE LA CORROSIÓN.

La corrosión como una reacción química, para poder comprender el fenómeno corrosivo como el resultado de una reacción química, es necesario disponer de algunos principios elementales de química, los cuales se enunciarán brevemente a continuación.

1.3.1. CORROSIÓN EN ÁCIDOS.

Es de todo conocido que una de las formas de obtener hidrógeno en el laboratorio, es colocar un pedazo de zinc metálico dentro de un vaso conteniendo un ácido diluido, tal como el clorhídrico o el sulfúrico.

Al depositarse el zinc en la solución ácida, el zinc se ataca rápidamente desprendiéndose el hidrógeno, tal y como se indica en las reacciones 1 y 2.

$$Zn + 2H^{+} = Zn^{++} + H_2 \qquad (1)$$

$$Zn + H^{+} + SO_4^{--} = Zn^{++}\ SO_4^{--} + H_2 \qquad (2)$$

Otros metales también son corroídos o disueltos por medio de ácidos liberando hidrógeno.

$$Fe + 2H^{+} = Fe^{++} + H_2 \qquad (3)$$

$$2Al + 6H^{+} = 2Al^{+++} + 3H_2 \qquad (4)$$

Las reacciones 3 y 4 muestran que el fierro y aluminio también son corroídos por el ácido clorhídrico.

1.3.2. CORROSIÓN EN SOLUCIONES NEUTRAS Y ALCALINAS.

La corrosión de los metales también puede presentarse en agua limpia, agua de mar, soluciones salinas y soluciones alcalinas o básicas. En la mayoría de estos sistemas, la corrosión solamente ocurre cuando éstas contienen oxígeno disuelto. Las soluciones acuosas disuelven rápidamente el oxígeno del aire, siendo éste la fuente de oxígeno requerida en los procesos corrosivos. La corrosión más familiar de este tipo, es la oxidación del fierro cuando se expone a una atmósfera húmeda o bien en agua.

$$4Fe + 6H_2O + 3O_2 = 4Fe\ (OH)_3 \qquad (5)$$

Esta reacción muestra que el fierro se combina con el agua y el oxígeno para darnos la sustancia insoluble de color café rojizo que es el hidróxido férrico.

Durante la oxidación en la atmósfera, existe la oportunidad de que el producto de la reacción se seque, por lo que el hidróxido férrico se deshidrata y forma el óxido café rojizo que es tan familiar.

$$2Fe\ (OH)_3 = Fe_2O_3 + 3H_2O \qquad (6)$$

Reacciones similares se presentan cuando el zinc se expone al agua o en aire húmedo.

$$2Zn + 2H_2O + O_2 = 2Zn\ (OH)_2 \qquad (7)$$

$$Zn\ (OH)_2 = ZnO + H_2O \qquad (8)$$

El óxido de zinc resultante es el depósito blanco que se observa en los equipos galvanizados.

1.3.3. CORROSIÓN EN OTROS SISTEMAS.

Los metales también pueden ser atacados en soluciones que no contengan oxígeno o ácidos. Las soluciones típicas para este proceso son aquellas soluciones denominadas oxidantes que contienen sales férricas y compuestos cúpricos en los que la corrosión se presenta de acuerdo con las siguientes reacciones:

$$Zn + 2FeCl_3 = ZnCl_2 + 2FeCl_2 \qquad (9)$$

$$Zn + CuSO_4 = ZnSO_4 + Cu \qquad (10)$$

Es pertinente notar que en la reacción 9 el cloruro férrico cambia a cloruro ferroso a medida que el zinc se corroe. En la reacción 10 el zinc reacciona con el sulfato de cobre para formar la sal soluble de sulfato de zinc, obteniéndose además un depósito esponjoso de cobre metálico sobre la superficie del zinc. Por esta razón, las reacciones similares a ésta reciben el nombre de reacciones de sustitución metálica.

1.4. PRODUCTOS DE LA CORROSIÓN.

El término productos de la corrosión se refiere a las substancias obtenidas durante las reacciones de corrosión y estas pueden ser solubles como en el caso del cloruro de zinc y del sulfato de zinc o insolubles como en el caso del óxido de fierro e hidróxido de fierro.

La presencia de los productos de la corrosión es una de las formas por las cuales se detecta ésta, por ejemplo el óxido. Sin embargo, es conveniente notar que los productos insolubles de la corrosión no siempre son visibles, por ejemplo al exponer una pieza de aluminio al aire, se forma una película de óxido casi invisible que protege al metal de un ataque posterior y la película es casi invisible porque es extraordinariamente delgada, siendo esta la razón del uso extensivo del aluminio en la construcción de ventanas, canceles y molduras automotrices.

1.5. ELECTROQUÍMICA DE LA CORROSIÓN.

Reacciones electroquímicas; una reacción electroquímica se define como una reacción química en la cual existe una transferencia de electrones, es decir, es una reacción química que comprende el fenómeno de oxidación y reducción.

Como la corrosión metálica es casi siempre un proceso electroquímico, es muy importante comprender la naturaleza básica de las reacciones electroquímicas.

La definición anterior de reacción electroquímica puede ser mejor comprendida observando en detalle una reacción típica de corrosión, así por ejemplo la reacción del zinc con el ácido clorhídrico, queda mejor expresada recordando que el ácido clorhídrico y el cloruro de zinc están ionizados en soluciones acuosas, por lo que podemos escribir:

$$Zn + 2H^+ + 2Cl^- = Zn^{++} + 2Cl^- + H_2 \qquad (11)$$

Cuando la reacción se escribe en esta forma es obvio que el ión – cloruro no participa en forma directa en la reacción puesto que el ión – cloruro aparece en ambos miembros de la ecuación y no es alterado por la reacción de corrosión, es decir, la valencia del ión –cloruro permanece sin cambio. De acuerdo a lo anterior, la ecuación 11 se puede escribir en forma simplificada como:

$$Zn + 2H^+ = Zn^{++} + H_2 \qquad (12)$$

Esta última ecuación indica que la corrosión del zinc en ácido clorhídrico consiste simplemente en la reacción entre el zinc y los iones hidrógeno que producen iones –zinc y gas hidrógeno.

Durante esta reacción el zinc es oxidado a iones zinc es decir, la valencia del zinc se incrementa y simultáneamente los iones hidrógeno son reducidos a gas hidrógeno disminuyendo su valencia.

Por lo anterior, la reacción 12 puede ser simplificado aún más al dividirla en una reacción de oxidación y una reacción de reducción.

$$Zn = Zn^{++} + 2e \qquad (13)$$

Oxidación (reacción anódica)

$$2H^{+} + 2e = H_2 \qquad (14)$$

Reducción (reacción catódica) cuya suma nos da:

$$Zn + 2H^{+} = Zn^{++} + H_2 \qquad (12)$$

Una reacción de oxidación tal como la ecuación 13, significa un incremento en el estado de oxidación o valencia con producción de electrones y en forma similar, la reacción de reducción representa una disminución en el estado de oxidación o valencia y el consumo de electrones tal y como se ve en la ecuación 14.

La suma de las reacciones 13 y 14 nos dan la reacción total (reacción No. 12).

En términos de corrosión, una reacción de oxidación recibe el nombre de reacción anódica, mientras que a la reacción de reducción se le denomina reacción catódica.

Todo proceso de corrosión necesita por lo menos una reacción de oxidación y una reacción de reducción, por lo que podemos resumir que las reacciones de corrosión son electroquímicas en naturaleza y debido a esto es posible dividir el proceso de la corrosión, en reacciones anódicas y reacciones catódicas que permiten simplificar la presentación de la mayoría de los procesos.

1.6. REACCIONES ANÓDICAS.

Durante el ataque corrosivo la reacción anódica siempre es la oxidación de un metal a un estado superior de valencia, por ejemplo las reacciones 1, 2, 3, y 4.

$$Zn + 2HCl = ZnCl_2 + H_2 \qquad (1)$$

$$Zn + H2\ SO4 = ZnSO_4 + H_2 \qquad (2)$$

$$Fe + 2HCl = FeCl_2 + H_2 \qquad (3)$$

$$2Al + 6HCl = 2AlCl_3 + 3H_2 \qquad (4)$$

Todas ellas, representan la reducción de los iones hidrógeno a gas hidrógeno en forma semejante a la reacción 14 y la única diferencia entre ellas, es la naturaleza de sus procesos anódicos de oxidación. Lo anterior permite ver que la reacción por ácidos es muy simple ya que en cada caso, la reacción catódica es simplemente el desprendimiento de gas hidrógeno de acuerdo a lo explicado en la reacción 14.

Este desprendimiento de hidrógeno ocurre con una gran variedad de metales y de ácidos, tales como el clorhídrico, sulfúrico, fluorhídrico, acético, fórmico y otros ácidos orgánicos solubles en agua.

Separando las reacciones 1, 2, 3 y 4 en reacciones anódicas y catódicas, vemos que las ecuaciones 1 y 2 representan la oxidación del zinc a sus iones, tal como se indica en las siguientes reacciones anódicas:

$Zn = Zn^{++} + 2e$ **(13)**

$Fe = Fe^{++} + 2e$ **(18)**

$Al = Al^{+++} + 3e$ **(19)**

De acuerdo con estas reacciones, la reacción anódica se puede representar en forma general como sigue:

$M = M^{+n} + ne$ **(20)**

Es decir, la corrosión del metal M da por resultado su oxidación para formar iones con valencia +n y la liberación de n electrones.

El valor de n depende de la naturaleza del metal, así por ejemplo, la plata es monovalente mientras que otros metales como el fierro, titanio y uranio son polivalentes y algunos pueden tener cargas positivas tan elevadas como 8. La ecuación 20 es entonces general y se aplica a todas las reacciones de corrosión.

1.7. REACCIONES CATÓDICAS.

Hay varias reacciones catódicas que se encuentran durante la corrosión de los metales, tales como las que se enlistan a continuación:

Desprendimiento de hidrógeno

$2H+ + 2e = H2$ **(14)**

Reducción de oxígeno (en soluciones ácidas)

$O2 + 4H+ + 4e = 2H2\,O$ **(21)**

Reducción de oxígeno (en soluciones neutras o alcalinas)

$O2 + 2H2\,O + 4e = 4OH-$ **(22)**

Reducción de iones metálicos

$Fe+3 + 1e = Fe+2$ **(23)**

Depósito de metal

$Cu+2 + 2e = Cu$ **(24)**

La reducción de iones hidrógeno con desprendimiento de hidrógeno ya fue considerada y no se discutirá más.

La reducción del oxígeno, ecuaciones 21 y 22, es una reacción catódica muy común ya que el oxígeno está presente en la atmósfera y las soluciones están expuestas a la misma.

La reducción de iones metálicos y el depósito de metales aunque es menos frecuente, causan problemas de corrosión muy severos.

Todas estas reacciones tienen en común que consumen electrones y todas las reacciones de corrosión son simplemente combinaciones de una o más de las reacciones catódicas indicadas, unidas con una reacción anódica similar a la ecuación 20.

Podemos establecer entonces que la mayoría de los casos de corrosión metálica pueden ser reducidos a estas seis ecuaciones ya sea en forma aislada o en combinaciones, así por ejemplo, el zinc se corroe en agua o aire húmedo en la siguiente forma:

$2Zn = 2Zn^{+2} + 4e$ **oxidación** **(25)**

$O_2 + 2H_2O + 4e = 4OH$ **reducción** **(22)**

$2Zn + 2H_2O + O_2 = 2Zn^{++} + 4OH- 2Zn(OH)_2$ **(26)**

Los productos de esta reacción son iones zinc Zn^{++} e iones OH^- , que inmediatamente reaccionan para formar el hidróxido de zinc Zn (OH)2, insoluble.

Durante la corrosión pueden ocurrir más de una reacción de oxidación y de reducción, así por ejemplo, durante el ataque de una aleación, los átomos de los componentes metálicos pasan a la solución en forma de iones, como sucede con la aleación de cromo fierro en donde tanto el cromo como el fierro son oxidados a iones.

Al considerar la corrosión del zinc en una solución de ácido clorhídrico conteniendo oxígeno disuelto, (figura 1.4), hay la posibilidad de dos reacciones catódicas; el desprendimiento del hidrógeno y la reducción del oxígeno, por lo que la velocidad de corrosión del zinc se incrementa.

1.8. FENÓMENOS DE POLARIZACIÓN.

Es interés primordial del ingeniero de corrosión, el conocer la velocidad a la cual se desarrollan las reacciones catódicas y anódicas que puede ser determinada por varios métodos físicos y químicos.

Cuando una reacción electroquímica se retarda, se dice que esta polarizada y hay dos tipos diferentes de polarización que son: polarización de activación y polarización por concentración.

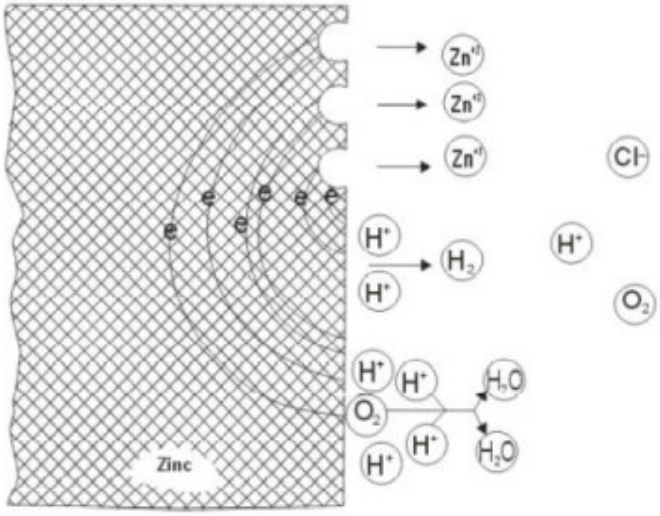


Figura Nº 1.3.- Reacciones electroquímicas de la corrosión del Zinc en HCl Aireado

La polarización por activación se refiere a aquellos factores retardadores de la reacción que son inherentes a la reacción misma como por ejemplo, la velocidad a la cual los iones hidrógeno se reducen a gas hidrógeno.

La polarización por activación, es función de varios factores que incluyen la velocidad de transporte del electrón al Ion hidrógeno en la superficie metálica, que naturalmente es inherente de un metal en especial y depende de la concentración de iones hidrógeno y de la temperatura del sistema, por lo que la velocidad de desprendimiento del hidrógeno es muy diferente para cada metal.

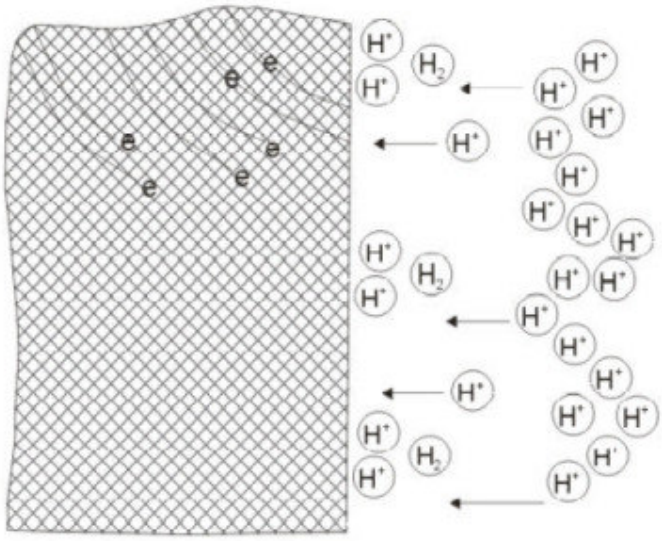


Figura N 1.4.- Polarización por concentración durante la reducción catódica de Iones Hidrógeno

Por otra parte, la polarización por concentración (figura 1.5) se refiere al retardo de la reacción electroquímica como un resultado de los cambios de concentración en la solución adyacente a la superficie metálica.

Si la reacción procede a muy alta velocidad y la concentración de iones hidrógeno de la solución es baja, se puede ver que la región cercana a la superficie metálica se agota en sus iones hidrógeno puesto que son consumidos en la reacción química. Bajo estas condiciones, la reacción es controlada por la velocidad de difusión de los iones hidrógeno a la superficie metálica.

1.9. POTENCIAL DE CORROSIÓN.

El potencial de un metal que se corroe es muy útil en los estudios de corrosión y se puede obtener fácilmente en el laboratorio y en condiciones de campo y se determina midiendo la diferencia de potencial existente entre el metal sumergido en un medio corrosivo y un electrodo de referencia apropiado.

Los electrodos de referencia más utilizados son el electrodo saturado de calomel, el electrodo de cobre – sulfato de cobre y el electrodo de platino – hidrógeno. La medición de la diferencia de potencial entre el metal que se corroe y el electrodo de referencia se lleva a cabo con la ayuda de un potenciómetro (figura 1.6).

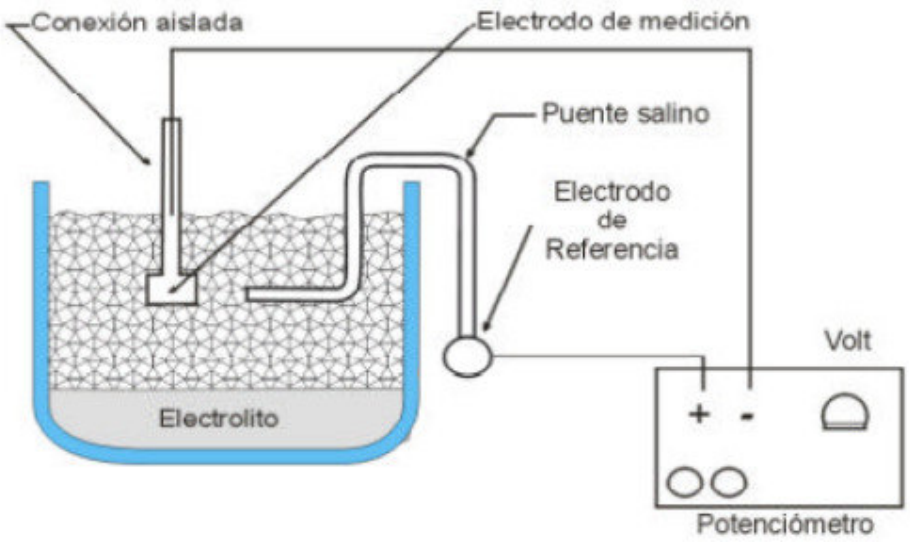


Figura Nº 1.5 Medición experimental del potencial de corrosión

Al medir y reportar los potenciales de corrosión es necesario indicar la magnitud y el signo de voltaje obtenido. La magnitud y el signo del potencial de corrosión son una función del metal, composición del electrolito y temperatura y agitación del mismo.

1.10. POTENCIALES DE OXIDO REDUCCIÓN.

El potencial de óxido reducción se refiere al potencial relativo de una reacción electroquímica en condiciones de equilibrio por lo que las reacciones deben proceder a la misma velocidad en ambas direcciones. Estos potenciales también son conocidos con el nombre de potenciales Redox, potencial de media celda y serie de fuerzas electromotrices.

1.11. CRITERIO PARA CORROSIÓN.

Los potenciales de óxido reducción son muy útiles ya que pueden ser utilizados para predecir si un metal es corroído o no en un medio ambiente dado. Esto se puede establecer por medio de la siguiente regla generalizada: ***"En cualquier reacción electroquímica la media celda más negativa tiende a oxidarse, mientras que la media celda más positiva tiende a reducirse"***.

Aplicando esta regla al caso del zinc que se corroe en soluciones ácidas, podemos ver que la media celda zinc metálico – iones zinc, es más negativa que la media celda iones hidrógeno – hidrógeno gaseoso, por lo que aplicando la regla anterior se ve que el zinc deberá ser corroído en soluciones ácidas.

Se puede ver que todos los metales que tienen potenciales Redox más negativos que la media celda iones hidrógeno – gas hidrógeno, serán corroídos por soluciones ácidas lo cual incluye a metales como el plomo, estaño, níquel, fierro y aluminio junto con los metales con potenciales negativos.

Por otra parte, el cobre, mercurio, plata, paladio y los otros metales con potenciales más positivos que la media celda iones hidrógeno – gas hidrógeno, no serán corroídos por soluciones ácidas, es decir, el cobre por ejemplo, podría ser un buen material para guardar ácidos, sin embargo el cobre se corroe si el ácido contiene oxígeno ya que el potencial Redox del cobre es menos positivo que el potencial de las dos medias pilas de oxígeno, tal y como se muestra en la tabla de los potenciales Redox a 25^{o} C. (Tabla No. 1.1).

Au = Au+3 + 3e	**1.42 Noble**
Pt = Pt+2 + 2e	**1.2**
O2 + 4H+ + 4e = 2H2O	**1.23**
Pd = Pd++ + 2e	**0.83**
Ag = Ag+ + e	**0.799**
$2Hg = Hg_2^{++} + 2e$	**0.798**
$Fe^{+++} + e = Fe^{++}$	**0.771**
$O_2 + 2H_2O + 4e = 4OH$	**0.401**
Cu = Cu+2 + 2e	**0.34**
Sn+4 + 2e = Sn+2	**0.154**
2H+ + 2e = H2	**0.000 Referencia**
Pb = Pb+2 + 2e	**-0.126**
Sn = Sn+2 + 2e	**-0.140**
Ni = Ni+2 + 2e	**-0.23**
Co = Co+2 + 2e	**-0.27**
Cd = Cd+2 + 2e	**-0.402**
Fe = Fe+2 + 2e	**-0.44**
Cr = Cr+3 + 3e	**-0.71**
Zn = Zn+2 + 2e	**-0.763**
Al = Al+3 + 3e	**-1.66**
Mg = Mg+2 + 2e	**-2.38**
Na = Na+ + e	**-0.71**
K = K+ + e	**-2.92 Activo**

Tabla Nº 1.1 Potenciales Standard de Óxido - reducción (Redox) a 25º

1.12. DIAGRAMAS DE POTENCIAL ION PH.

El uso de los potenciales Redox puede ser extendido, graficando los potenciales Redox como función del pH de la solución. Estos diagramas se conocen como diagramas de Pourbaix y se elaboran utilizando cálculos electroquímicos, datos de solubilidad y constantes de equilibrio.

Es necesario recordar que el pH es simplemente el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno de tal manera que un pH de 7 indica que se tiene 10^{-7} iones gramo de hidrógeno por litro de solución y corresponde a una solución neutra, mientras que un pH = 0 representa una solución muy ácida y un pH = 14, es una solución muy alcalina.

El diagrama de Pourbaix para el sistema Fe – H2O (figura 1.7) permite ver que a potenciales más positivos que –0.6 V y pH menor que nueve, los iones ferrosos son la sustancia estable por lo que el fierro deberá corroerse en estas condiciones suministrando iones Fe^{++} tal y como se indica en la ecuación 18.

En otras regiones del diagrama se puede ver que la corrosión del fierro produce iones férricos, hidróxido ferroso y en condiciones muy alcalinas iones complejos de fierro. El principal uso de los diagramas de Pourbaix, que pueden ser constituidos para todos los metales son:

1.- Predecir si hay o no corrosión.

2.- Estimar la composición de los productos de la corrosión.

3.- Predecir cambios del medio ambiente que ayuden a prevenir o reducir el ataque corrosivo.

En el diagrama de Pourbaix en el sistema fierro agua, la región oscura indica que el fierro no se corroe bajo estas condiciones de potencial y pH, es decir si el potencial de corrosión del fierro se hace suficientemente negativo, por ejemplo –1.2 V, el fierro no se corroerá en ningún sistema que varié desde pH muy ácido hasta pH muy básico.

Esta observación es le fundamento de la protección catódica del fierro.

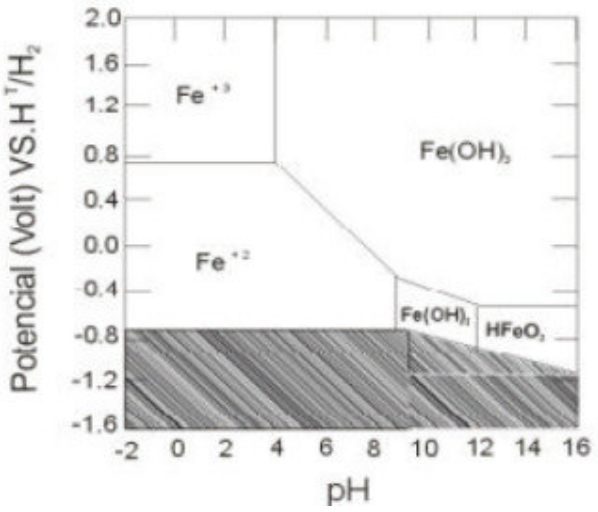


Figura Nº1.6 Diagrama de Pourbaix para el sistema Fierro-Agua *Peabody's Control of Pipeline Corrosion Second Edition Cap 8*

1.13. CORROSIÓN GALVÁNICA.

En las instalaciones de planta, se emplean una gran variedad de metales y aleaciones diferentes, que a menudo están en contacto físico y eléctrico. Este contacto o acoplamiento de metales diferentes algunas veces causa velocidad de corrosión elevada, que recibe el nombre de corrosión galvánica. La corrosión galvánica se presenta cuando se tienen las siguientes condiciones:

a) Cuando se conectan metales diferentes, el más activo o metal anódico se corroe más rápidamente que el metal más noble o metal catódico tiende a protegerse.

b) A medida que la diferencia de potencial entre los dos metales se incrementa, la corrosión galvánica también aumenta. Un ejemplo de la corrosión galvánica se

presenta al conectar tuberías de aluminio y de fierro que dan como resultado una mayor velocidad de corrosión en la tubería de aluminio.

La corrosión galvánica se presenta también con mucha frecuencia en cambiadores de calor donde los tubos generalmente son de cobre, mientras que el resto del cambiador de calor es de acero.

1.14. RECONOCIMIENTO DE LA CORROSIÓN GALVÁNICA.

Antes de discutir la forma de prevenir la corrosión galvánica, es necesario asegurarse de que este tipo de corrosión está ocurriendo para lo cual es necesario que coincidan tres condiciones:

a) Presencia de dos metales electroquímicamente diferentes.

b) Contacto eléctrico entre los dos metales diferentes.

c) Los metales deberán estar expuestos a un electrolito.

1.15. PREVENCIÓN DE LA CORROSIÓN GALVÁNICA.

Hay varias formas para evitar la corrosión galvánica y pueden ser usadas en forma aislada o combinadas y naturalmente, los métodos de prevención, se basan en el conocimiento del mecanismo de la corrosión galvánica.

La forma de prevenir este tipo de corrosión se puede hacer con los siguientes métodos:

1. Evitando el uso de metales diferentes siempre que esto sea posible. Si esto no es práctico, tratar de usar metales que estén lo más cercano posible entre sí en la serie galvánica. (Tabla No. 1.3).

2. Es necesario evitar una relación de áreas desfavorables, es decir, bajo ninguna circunstancia conectar una pequeña área anódica a una gran área catódica.

3. Si se utilizan metales diferentes, aislar eléctricamente uno del otro, instalando juntas de aislamiento.

4. Si se necesita utilizar metales diferentes, y no pueden ser aislados, las partes anódicas deberán ser diseñadas de manera de poderlas reemplazar fácilmente o construirlas de materiales más gruesos para alargar la vida del equipo bajo los efectos de la corrosión.

Tabla No. 1.2 SERIE GALVANICA EN AGUA DE MAR, DE ALGUNOS MATERIALES METALICOS COMERCIALES.

Activo o Anódico Magnesio

Aleaciones de Magnesio

Zinc

Acero Galvanizado

Aluminio 1100

Aluminio 2024

Acero

Hierro Dulce

Hierro Colado

Acero Inoxidable 13% Cr, tipo 410(Activo)

Acero Inoxidable 18 – 8, tipo 304 (activo)

Soldaduras Pb – Sn

Plomo

Estaño

Metal Muntz

Bronce al Manganeso

Latón Naval

Níquel (activo)

Aleación 76 Ni – 16 Cr – 7 Fe (activo)

Aleación 60 Ni – 30 Mo – 6 Fe (1Mn)

Latón Amarillo

Latón Admiralty

Latón Rojo

Cobre

Bronce al Silicio

Cuproníquel 70 – 30

Bronce G.

Soldadura de Plata

Níquel (pasivo)

Aleación 76 Ni – 16 Cr 7 Fe (pasiva)

Acero Inoxidable 18 – 8. Tipo 304 (pasivo)

Plata

Grafito

Oro

Noble o Catódico Platino

TABLA Nº 1.3 SERIE GALVANICA PARA MATERIALES EN SUELOS NEUTROS Y AGUA

Material	Potential Volts (CSE)[a]
Carbon, Graphite, Coke	+0.3
Platinum	0 to −0.1
Mill Scale on Steel	−0.2
High Silicon Cast Iron	−0.2
Copper, Brass, Bronze	−0.2
Mild Steel in Concrete	−0.2
Lead	−0.5
Cast Iron (Not Graphitized)	−0.5
Mild Steel (Rusted)	−0.2 to −0.5
Mild Steel (Clean and Shiny)	−0.5 to −0.8
Commercially Pure Aluminum	−0.8
Aluminum Alloy (5% Zinc)	−1.05
Zinc	−1.1
Magnesium Alloy (6% Al, 3% Zn, 0.15% Mn)	−1.6
Commercially Pure Magnesium	−1.75

[a] Potencial típico normalmente observado en suelos neutrales y agua, medido con respecto a un electrodo de referencia Cobre-Sulfato de Cobre Peabody's Control of Pipeline Corrosion Second Edition Cap 8

1.16. COMPARACIÓN DE LA SERIE GALVÁNICA CON LOS POTENCIALES REDOX.

Existe alguna confusión en la literatura con respecto a las aplicaciones de los potenciales Redox y la serie galvánica ya que los valores tabulados en estas dos series son muy similares, por lo que es conveniente indicar que el potencial de óxido reducción se usa para decidir si un metal solo se corroe o no, mientras que la serie galvánica se aplica para predecir cuando se presentará la corrosión galvánica y también cual de los dos metales aplicados presenta la mayor velocidad de corrosión.

1.17. PREVENCIÓN DE LA CORROSIÓN POR MÉTODOS ELECTROQUÍMICOS.

La protección catódica se utiliza cuando un metal se hace más catódico o negativo, imprimiéndose una corriente eléctrica, conectándolo con otro metal más activo que el metal del equipo que se desea proteger. Por ejemplo, cuando un equipo de acero se conecta a una pieza de zinc, el zinc se corroe dando protección al fierro, en este caso el zinc es el metal anódico y recibe el nombre de ánodo de sacrificio, mientras que el acero funciona como cátodo recibiendo protección.

2. CAPITULO II FUNDAMENTOS DE LA PROTECCIÓN CATODICA.

2.1. DEFINICIÓN DE PROTECCIÓN CATÓDICA.

La protección catódica se define como, "el método de reducir o eliminar la corrosión de un metal, haciendo que la superficie de este, funcione completamente como cátodo cuando se encuentra sumergido o enterrado en un electrolito". Esto se logra haciendo que el potencial eléctrico del metal a proteger se vuelva más electronegativo mediante la aplicación de una corriente directa o la unión de un material de sacrificio (comúnmente magnesio, aluminio o zinc). Normalmente, el método es aplicable a estructuras de fierro y acero, pero también se usa en grado limitado en plomo, aluminio y otros metales.

Se debe recordar que el **cátodo** es aquel electrodo donde se desarrolla la **reacción de reducción** y prácticamente **no ocurre corrosión** alguna. Antes de aplicar la protección catódica, las estructuras corroíbles presentan áreas catódicas y anódicas (éstas son aquellas donde la estructura se corroe). Por lo tanto, si todas las áreas anódicas se pudieran convertir en catódicas, la estructura completa funcionaría como un cátodo y la corrosión sería eliminada.

2.2. LA PROTECCIÓN CATÓDICA ¿COMO TRABAJA?

Aquí se demostrará cómo la aplicación de una corriente directa sobre cualquier estructura metálica corroíble, puede convertirla en un cátodo. Para empezar, en el capítulo I, ha quedado de manifiesto la naturaleza de la corrosión electroquímica y galvánica.

Cuando dos metales diferentes A y B se conectan y sumergen en un electrolito, figura 2.1a, se desarrolla un flujo de corriente a través del electrolito y entre ambos metales; de tal manera que los aniones entran al seno de la solución en el ánodo y al mismo tiempo los electrones se mueven de este electrodo hacia el cátodo a través del conductor metálico. La velocidad o rapidez de la corrosión depende de la cantidad de corriente que fluye, la fuerza electromotriz total y las resistencias óhmicas y no óhmicas del circuito.

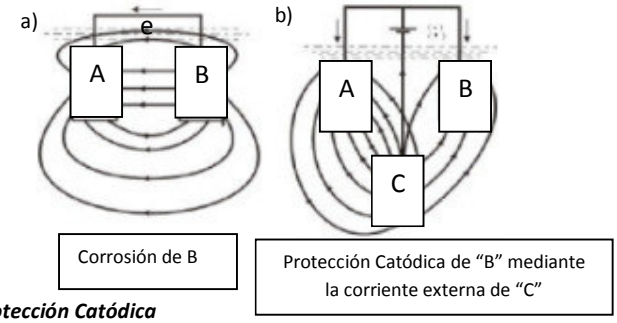


Figura N° 2.1 Corrosión y Protección Catódica

Si ahora, se forma un nuevo circuito agregando una fuente externa de fuerza electromotriz con su polo positivo conectado al metal C y el polo negativo hacia A y B (figura 2.1b) esto hará que B se vuelva más negativo debido a los electrones que fluyen hacia el mismo. Estos electrones atraerán a los iones positivos y reducirán la tendencia que tienen estos iones para entrar en solución o sea que, de esta manera se reduce la velocidad de la corrosión. Dicho en otras palabras, el flujo de corriente de C a B a través del electrolito reduce el flujo neto de corriente que sale de B y por lo tanto, se retarda la velocidad de corrosión. Así mismo, se tiene un incremento de corriente de la solución hacia el metal A.

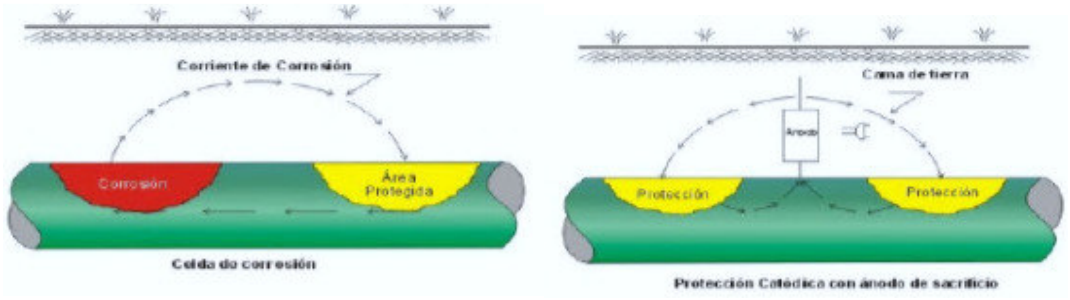


Figura Nº. 2.2 Protección Catódica con Ánodo de Sacrificio

Existen tres mecanismos mediante los cuales se retarda la corrosión al aplicar la protección catódica y son los siguientes:

1. Reducción del potencial de la reacción del metal, de tal manera que el proceso catódico se desarrolla en todas las áreas del mismo o sea que, se evita la reacción:

   $Fe° \rightarrow Fe^{++} + 2e$

2. El electrolito adyacente a la superficie del cátodo se vuelve más alcalino debido a las reacciones de reducción de los iones hidrógeno; este incremento en el pH reducirá el gradiente de potencial de la celda de corrosión.

   $H^{+} + e- \rightarrow H$

3. El incremento en el pH, producirá la precipitación de algunas sales insolubles, por ejemplo; carbonato de calcio ($CaCO_3$) e hidróxido de magnesio, $Mg(OH)_2$, que se depositan sobre el metal produciendo una incrustación calcárea que lo protege.

La fuerza electromotriz puede ser suministrada por un metal más electronegativo que el metal a proteger (figura 2.2) o bien, mediante una fuente externa y un electrodo auxiliar que puede ser o no metálico (figura 2.3), puesto que lo único que se requiere es que conduzca fácilmente los electrones y que el potencial impreso sea capaz de desarrollar la reacción anódica sobre su superficie.

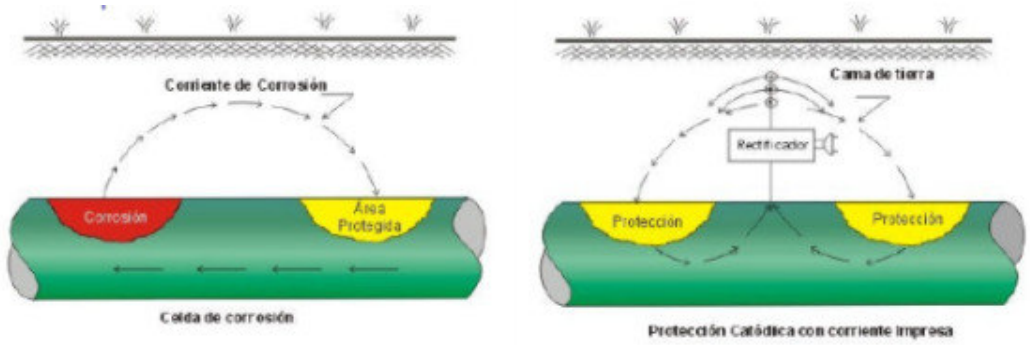


Figura Nº. 2.3 Protección Catódica por Corriente Impresa

Estos principios de protección catódica se ilustran mediante el uso de circuitos eléctricos equivalentes. El método presenta limitaciones considerables pero es útil para la demostración de ciertos aspectos de la teoría.

En la interface metal / electrolito existe una fuerza electromotriz (voltaje) y cuando la corriente fluye, aquella cambia de tal manera, que con bastante aproximación se puede representar al metal y al electrolito como una resistencia en serie con una fuente de fuerza electromotriz.

En la figura 2.4, ambos circuitos representan una celda de corrosión, en donde Ec y Rc son la FEM y la resistencia en el cátodo respectivamente, Ea y Ra son la FEM y la resistencia en el ánodo, e I es el flujo de corriente que pasa por el circuito, por ejemplo; la corriente de corrosión.

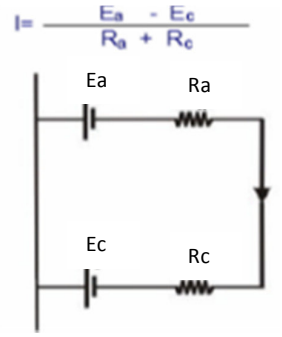


Figura N°2.4. Circuito equivalente para una celda de corrosión

Esto desde luego, suponiendo una resistencia de valor cero para el electrolito. Si además, se introduce un metal más electronegativo dentro del electrolito con el objeto de tener un sistema de protección catódica, el nuevo circuito se puede representar como se muestra en la figura 2.5, en la que Ep y Rp son la FEM y la resistencia del electrodo auxiliar.

Con el arreglo anterior, se puede ver que el flujo de corriente proveniente del ánodo, se disminuye (I – I'), mientras que en el cátodo se incrementa. La corrosión cesará cuando no salga corriente alguna del ánodo (I – I' = 0), y cuando esto ocurre, el potencial a través de Ra es cero y dado que el potencial entre X e Y deben ser iguales, se tiene:

Ea = Ec + Rc (I + I')

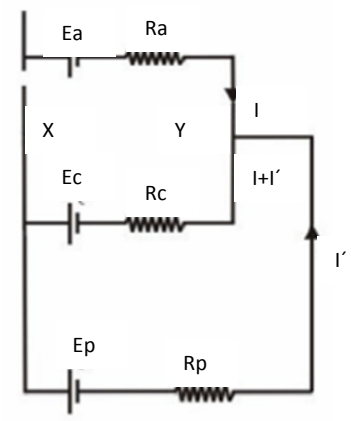


Figura Nº 2.5 Circuito equivalente para una celda de corrosión con corriente de protección

Esto quiere decir, que la condición para que exista protección es que debe fluir suficiente corriente al sistema o estructura hasta llegar al potencial de polarización del circuito abierto del ánodo (cero corriente). La figura 2.6, presenta los mismos efectos pero desde el concepto

de la polarización y tanto E_C como E_A representan a los potenciales de equilibrio de las medias celdas anódicas y catódicas que constituyen a la reacción de corrosión. La intersección de las curvas, E_C /I y E_A /I, en el punto P, proporciona el potencial de corrosión o potencial mezclado, Ecorr, correspondiente con Icorr, la velocidad de corrosión.

La reducción en el potencial producida por la corriente catódica de magnitud C'C', incrementará la velocidad del proceso catódico hasta I'c y reducirá la velocidad del proceso anódico hasta I'a. La reducción del potencial del ánodo hasta C'' requiere una corriente catódica de magnitud C''C'' y aquí se observa que C'' corresponde con Ea, el potencial de equilibrio del ánodo. Las corrientes superiores de magnitud C''', realmente provocarán una reacción catódica en las áreas del metal que originalmente fueron anódicas (E_AK).

Como quiera que sea el potencial del metal corroíble se disminuye mediante el uso de una fuente externa y un ánodo no reactivo o bien, mediante un metal más básico, el cual, debido a su baja afinidad electrónica, origina un paso de corriente hacia el metal que se trata de proteger.

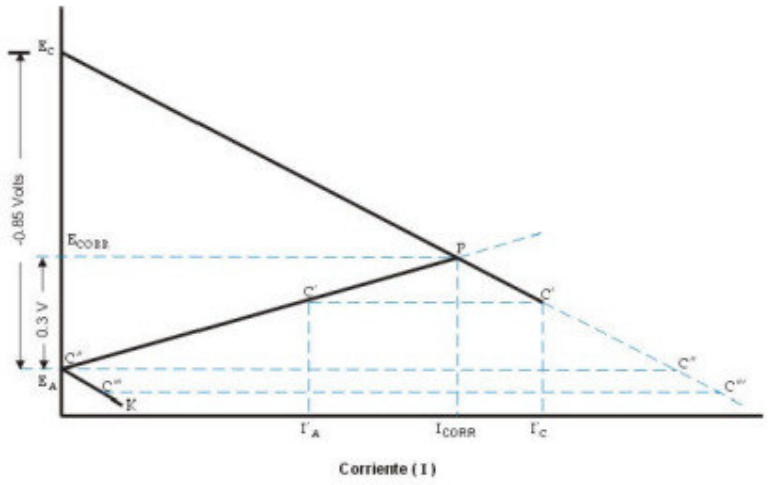


Figura Nº 2.6

2.3. LIMITACIÓN DE LA ANALOGÍA ELÉCTRICA.

La analogía descrita, como se dijo, tiene sus limitaciones puesto que se han hecho simplificaciones en el arreglo físico real a fin de poder expresarla en términos eléctricos, estas limitaciones son:

1. El uso de una simple resistencia, implica que la densidad de corriente en todos los puntos de los electrodos sea constante. Además, un circuito equivalente y simple no da una idea de la geometría del sistema.

2. En el sistema, todos los factores dependen del tiempo, por ejemplo; la polarización (curva de corriente-potencial) puede cambiar durante el flujo de corriente.

3. Al simplificar el circuito se ha supuesto un valor de cero para la resistencia del electrolito, sin embargo, es posible hacer una aproximación que permita representar en el circuito una resistencia exacta del electrolito.

4. Los efectos de factores, como son: la temperatura, el flujo del líquido, la concentración del oxígeno, la acción bacteriológica, etc., no se incorporan directamente, aunque pueden ser tomados en cuenta en cierto grado al seleccionar el valor apropiado de los

potenciales de los electrodos, así como también, las resistencias de polarización si se conocen las constantes apropiadas.

5. La polarización no es lineal y por lo tanto, no se puede representar con exactitud mediante una resistencia óhmica.

De lo anterior, se puede ver que la teoría de la protección catódica es muy simple, pero existen numerosos factores que no pueden fácilmente ser tomados en consideración y además, los métodos, la técnica y el criterio son a menudo de cierta naturaleza empírica.

2.4. MEDIDA DE POTENCIALES.

La determinación para saber si una estructura se encuentra adecuadamente protegida, se basa generalmente en medir la FEM (voltaje) entre la estructura y un electrodo de referencia. Para la realización de esto, se deben hacer conexiones tanto a la estructura como al electrolito, la conexión a la estructura por proteger se puede hacer mediante una barra de acero la cual se pone en contacto con esta, mientras que la conexión al electrolito se puede hacer con una variedad de medios, pero como el potencial se desarrollará en este punto y formará parte del valor final, se deberá hacer con bastante exactitud y facilidad de reproducción, las lecturas medidas del potencial estructura / electrolito siempre especificarán el tipo de electrodo de referencia usado.

La conexión al electrolito se puede hacer simplemente introduciendo un pedazo de metal a su interior, este método es algunas veces aceptable, por ejemplo:

a) Pequeños bloques de zinc puro se pueden emplear en ciertos sistemas de agua de mar donde la exactitud es de menor importancia,

b) Un simple electrodo metálico que esté en contacto con el terreno puede ser satisfactorio cuando las mediciones de potencial se hacen a intervalos relativamente cortos entre las condiciones “encendido y apagado” de la fuente de corriente.

En general, si se emplea una media celda de referencia, las lecturas de potencial deben ser reproducibles a una razonable exactitud durante cierto tiempo. El potencial de media celda al estar en contacto con el terreno o cualquier otro electrolito variará en una pequeña cantidad (20 mV), dependiendo del electrolito presente, como una consecuencia de la difusión desarrollada en la unión de la celda y el electrolito. En la práctica es muy común ignorar estas diferencias de potencial.

Cuando la corriente fluye hacia una superficie metálica, se establece un gradiente de potencial entre el ánodo y la superficie protegida. Este potencial depende en cierto grado del lugar donde se coloque el electrodo de referencia, por esta razón, dicho electrodo se debe colocar lo más cercano posible a la estructura o bien, se debe definir el criterio de protección de acuerdo a la geometría particular y las densidades de corriente consideradas.

Este gradiente de potencial estará en función tanto de la resistividad del electrolito como de la corriente, así en los muelles sumergidos en agua salada (con una resistividad de 20 a 40 ohm-cm.), la localización de la media celda se puede hacer a 30 cm o más retirado pero en los condensadores que manejan agua aireada de alta resistividad y donde se necesitan grandes cantidades de corriente, el electrodo se debe localizar a una fracción de una pulgada de la superficie protegida. En la medida del potencial, existen numerosos factores como la difusión del potencial, la variación de éste debido a la temperatura y la concentración del líquido que pueden ser causa de error, además existen errores inherentes en el aspecto eléctrico de la medida, es probable que en trabajos de campo se obtenga una exactitud no mayor de ±20 mV.

2.5. CRITERIOS DE PROTECCIÓN CATÓDICA

La pérdida de iones en un ánodo cesa cuando el sistema corroíble es polarizado al potencial de circuito abierto del ánodo. Se ha demostrado que el potencial de circuito abierto para el acero es de –0.85 V (referido al electrodo de Cu/CuSO4 **CSE**) y consecuentemente, el criterio común de protección es que el potencial de la estructura con respecto al terreno no sea menos negativo que este valor. Para tuberías donde la labor de excavación hecha para colocar la media celda en el terreno adyacente a la tubería es muy alta, se acostumbra colocar la media celda sobre la superficie del terreno que se encuentra arriba de la estructura.

Aunque este método puede incluir errores considerables debidos a las caídas IR, se ha encontrado bastante satisfactorio en la mayoría de los casos de protección de tuberías. En otros casos se hace necesario calcular la caída de potencial en el electrolito adyacente a la superficie del electrodo y asegurar que la lectura del electrodo colocado de esta manera no tenga un error mayor de 10 a 20 mV.

Algunos trabajos experimentales han demostrado que en el caso del acero sumergido en soluciones que contienen bacterias sulfato reductoras, el potencial de protección será de –0.97 v en lugar de –0.85 V.

Los tres criterios primarios para la PC de tuberías de acero o hierro fundido enterradas o sumergidas están listados en la sección 6 del Standard NACE SP -0169 (revisión 1999 pág 12)

1. ***-850 mV (CSE), con PC aplicada,***
2. ***Un potencial de polarización de -850 mV (CSE),***
3. ***100 mV de polarización*.**

La tabla 2.1 proporciona los potenciales calculados para fierro, cobre, zinc y plomo en agua de mar.

Tabla Nº 2.1 Potenciales Calculados para Fierro, Cobre, Zinc Y Plomo.

Metal	E^o	Prod. Solubilidad $M(OH)_2$	Ø (H2) Volts	Ø ($Cu/CuSO_4$) Volts
Fierro	0.440	1.8×10^{-15}	-0.59	-0.91
Cobre	-0.337	1.6×10^{-19}	0.16	-0.16
Zinc	0.763	4.5×10^{-17}	-0.93	-1.25
Plomo	0.126	4.2×10^{-15}	-0.27	-0.59

2.5.1. Criterio de -850 mV con Protección Catódica Aplicada

El criterio establece que una adecuada protección se realiza con: un potencial negativo (catódico) de 850 mV con la PC aplicada. Este potencial es medido con respecto a un electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre en contacto con el electrolito.

Las caídas de voltaje a través del conjunto estructura – electrolito será considerado como interpretación valida de esta medición de voltaje. Considerando y entendiendo el significado de aplicación práctica.

Para considerar y entender la aplicación en la práctica; es determinar la magnitud de la caída de voltaje por métodos tales como:

- Medir o calcular las caídas de voltaje

- Revisar el perfil histórico del sistema de protección catódica.
- Evaluar las características físicas y eléctricas de la tubería y su medio ambiente.
- Determinar evidencia física de corrosión.

2.5.1.1. Aplicaciones

De los tres criterios primarios listados arriba, el primero, el criterio de los -850 mV con protección catódica aplicada es probablemente el más común utilizado para determinar si una estructura de acero enterrado o sumergida tiene un nivel aceptable de PC. En este caso, un nivel aceptable de protección se encuentra basado en este criterio, si el potencial diferencial entre la estructura y un electrodo de referencia CSE, en contacto directamente con el suelo sobre y lo más cerca posible de la estructura es igual o más electronegativo que -850 mV (a lo largo en valor absoluto).

Este criterio fue originalmente adoptado basado en la observación que el mayor potencial natural negativo observado para estructuras de acero revestidas enterradas se encontraba cerca de los – 800 mV (CSE). En este criterio se asumía que las macro celdas de corrosión serian mitigadas, si suficiente corriente PC fuese aplicado para levantar (en la dirección negativa) el potencial en toda la estructura y así tener un potencial más negativo que el potencial natural de los sitios anódicos. Un potencial de -850 mV fue adoptado para prever unos 50 mV de margen de protección. La eficiencia del criterio está demostrada por muchos años de aplicación.

2.5.1.2. Limitaciones

Este criterio tiene varias limitaciones. El potencial leído debe ser tomado con el electrodo en contacto directo con el electrolito que rodea a la estructura, para minimizar los errores de resistencia óhmica y de caída de voltaje en la medición y para minimizar y extender y promediar a lo largo de las áreas de la estructura.

Un criterio alternativo puede ser requerido cuando el electrodo de referencia no puede ser ubicado apropiadamente, tales como los cruces de río o en cruces de carretera. Este criterio también es usado comúnmente para estructuras bien protegidas (revestimientos), donde esto puede ser económicamente rentable. Para revestimientos pobres o estructuras desnudas, una alta densidad de corriente de PC es requerida, para estos casos este criterio está prohibido, criterios alternativos son típicamente usados.

Potenciales más negativos que -850mV (CSE) también son detectados cuando se está en presencia de bacterias o cuando la tubería se calienta. En el segundo caso, la corriente de PC requerida se incrementa en un factor de dos por cada 10 °C (18 °F) de incremento de temperatura en la tubería. El criterio de potencial es ajustado para compensar el incremento de la corriente en la cinética anódica. Típicamente, un potencial de -950 mV (CSE) es usado para tuberías calientes. En el caso de microbios, la cinética de la reacción de corrosión y el medio ambiente superficial de las tuberías son alterados, tal que, un potencial más negativo es típicamente requerido para mitigar la corrosión.

Cuando la presencia de microbios es confirmada o sospechada un potencial mínimo de -920 mV (CSE) es típicamente usado

Limitaciones también existen en la habilidad de la medición exacta de potenciales de estructuras en presencia de Corrientes telúricas o donde la protección por desprendimiento del revestimiento, rocas, aislamiento térmico, etc., ha ocurrido. Similarmente, la exactitud de

la medición del potencial está comprometida por las corrientes parasitas que no pueden ser interrumpidas o por la presencia de múltiples tuberías en el derecho de vía donde las tuberías varían las condiciones de su revestimiento.

2.5.2. Criterio del potencial de polarización de - 850 mV

Este criterio establece que la adecuada protección ocurre cuando "un potencial de polarización de al menos 850 mV relativo a un electrodo de referencia saturado cobre/sulfato de cobre". El potencial de polarización se define como el "potencial a través de la interface estructura/electrolito, que es la suma del potencial de corrosión y la polarización catódica". El potencial de polarización es medido directamente después de la interrupción de todas las Fuentes de corriente es decir totalmente desconectado, también llamado "potencial instant off". La diferencia en el potencial entre el potencial natural y el potencial instant off o potencial de polarización es el aumento de polarización que ocurre como resultado de la aplicación de la PC.

La diferencia de potencial ente el potencial ON y el potencial OFF es el error en el potencial ON introducido como un resultado de las caídas de voltaje en el electrolito (suelo) y el retorno del metal en la dirección electroquímica, en la medición del circuito.

Típicamente las pruebas de intervalos cortos (CLOSE INTERVAL SURVEY- CIS-) muestran los datos de estos potenciales tal como tenemos en la figura 4.1

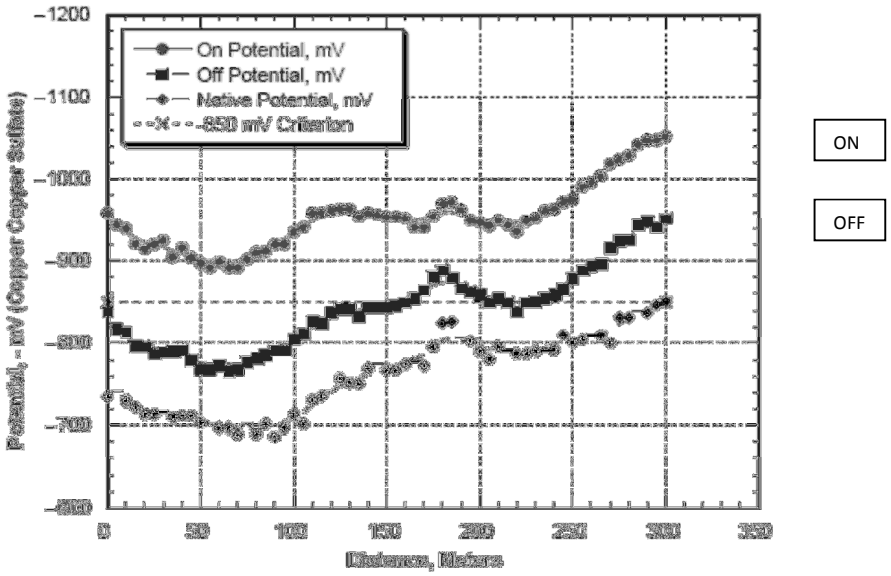


Figura 2.7 Datos Close Interval Survey mostrando On, Off y Potencial Natural

Peabody's Control of Pipeline Corrosion Second Edition Cap 16

2.5.2.1. Aplicaciones

Este Segundo criterio es más directo que el de -850 mV con PC aplicada, por la clara definición del método por el cual los errores por caída de voltaje en el potencial ON, son considerados. En este criterio estos errores son minimizados o eliminados. Los errores por caída de voltaje los cuales nos hemos referido como caída de potencial óhmico o errores de caída IR, ocurren como resultado del flujo de la PC o de corrientes parasitas en el electrolito (suelo) o en la estructura.

Estos errores son medidos porque la polarización catódica en la interface estructura – electrolito es la única parte de medición del potencial ON que contribuye para la reducción en el rango de corrosión de la estructura. La polarización está definida como la diferencia de potencial entre el potencial natural y el potencial OFF o potencial de polarización.; esto se refiere como polarización catódica y el potencial aumenta en la dirección negativa.

Este criterio es aplicado comúnmente para estructuras revestidas donde la fuente de corriente DC puede ser interrumpida. Un ejemplo de esto es una tubería de gas con revestimiento de tri-capa de polietileno en área rural o urbana con un sistema de PC por corriente impresa

2.5.2.2. Limitaciones

Una importante limitación de este criterio es el requerimiento que todas las Fuentes de corriente DC sean interrumpidas. Para técnicas Standard de servicio, la interrupción debe ser simultáneamente en todas las fuentes de corriente. En tuberías de transmisión de gas, interrumpir todas las fuentes de poder puede requerir el uso de un gran número de interruptores de sincronización para todos los rectificadores, ánodos de sacrificio, afectando los enlaces en las secciones de tubería que es inicialmente evaluada.

En sistemas de distribución de gas, los ánodos de sacrificio son muy comúnmente usados para la PC y la unión eléctrica para los ánodos son usualmente unidos directamente a la tubería por lo que no se podría interrumpir la corriente. Para estas situaciones, este criterio no puede utilizarse. La ejecución de este criterio también puede requerirse cuando se aplica una alta cantidad de corriente de PC, resultando en la sobreprotección de algunas porciones de la estructura y los problemas tales como desprendimiento catódico del recubrimiento y producción de hidrogeno en estas áreas haciéndolas susceptibles a la corrosión.

Muchas de las dificultades de exactitud en la medición de los potenciales tubería-suelo descritas bajo las limitaciones del criterio de -850 mV con PC aplicada, para el criterio del potencial de polarización de -850 mV son aceptables. Esto incluye acceso a la estructura, fluctuaciones temporales en el potencial entre tiempos de prueba, fluctuaciones de espaciamiento en el potencial entre estaciones de prueba, la presencia de múltiples tuberías con diferentes niveles de calidad de recubrimiento en el derecho de vía, efecto de corrientes telúricas, y protección de la superficie de la estructura por revestimiento desprendido, rocas y aislamiento térmico.

2.5.3. Criterio De Polarización De 100 mV

Este criterio establece que una protección adecuada se realiza con “un mínimo de 100 mV de polarización catódica entre la superficie de la estructura y un electrodo de referencia en contacto con el electrolito. La formación o decaimiento de la polarización puede ser medida para satisfacer este criterio”. De los tres criterios, este criterio es el que tiene más base fundamentada.

El rango de corrosión decrece y el rango de la reacción de reducción en la superficie del metal se incrementa en la estructura enterrada estando esta polarizada en la dirección negativa desde el potencial natural. La diferencia entre el rango de corrosión (expresado como una corriente) y el rango de la reducción de reacción es igual a la corriente de PC aplicada. Estos proceso pueden ser demostrados gráficamente en un diagrama de E versus Log I, llamado también Diagrama de Evans

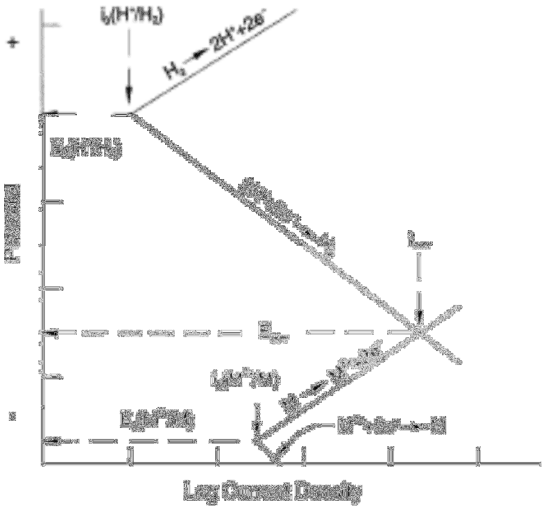


Figura Nº 2.8 Diagrama de Evans (potencial vs. Logaritmo de densidad de corriente para un Metal M en una solución acida des aireada

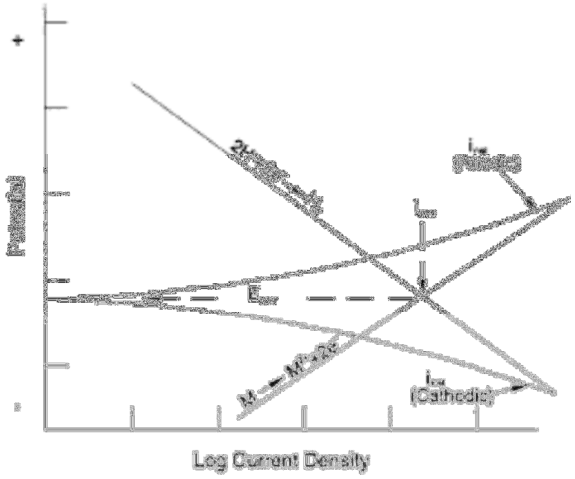


Figura Nº 2.9 Diagrama de Evans para Metal M en solución ácida des aireada, mostrando las corrientes netas anódicas y catódicas

2.5.3.1. Aplicaciones

El criterio de polarización de 100 mV es comúnmente usado en estructuras de pobre revestimiento o desnudas donde hay dificultad o alto costo de realizar el criterio de -850 mV.

En muchos casos, la polarización de 100mV puede ejecutarse donde el potencia OFF es menos negativo que -850 mV (CSE). La aplicación del criterio de polarización de los 100mV es un avance para minimizar la degradación del revestimiento y la fragilización por hidrogeno, ambos o uno puede ocurrir como resultado de sobreprotección de PC. En redes de tuberías, el criterio de polarización de los 100mV puede ser usado para tuberías antiguas y de revestimiento deteriorado o de antigüedad, donde un criterio de potencial de polarización de -850mV (CSE) puede ser usado para las nuevas tuberías en la red.

El criterio de polarización de 100mV es frecuentemente usada para minimizar los costos por modernización del sistema de PC.

2.5.3.2. Limitaciones

Este criterio tiene varias limitaciones. El tiempo requerido para total despolarización de una estructura de pobre revestimiento o desnudad, puede tomar varios días, e incluso semanas, haciendo el método varias veces, consumiendo la vida de la estructura desprotegido por un extendido periodo de tiempo.

Afortunadamente, muchas de las despolarizaciones ocurren en unas pocas horas y esperar por el decaimiento total no es necesario, excepto donde la despolarización total es muy cercana a los 100 mV.

Una vez que el criterio ha sido satisfactorio, no es necesario continuar esperando por la total despolarización. En el otro extremo, si una despolarización <50mV es medida en pocas horas, es cuestionable si el criterio de polarización de 100 mV, puede ser realizado.

En este punto, puede ser prudente determinar si una mayor esperar para la total despolarización es justificada.

El criterio de polarización de los 100 mV no debe ser usada en áreas sujetas a corrientes parasitas porque la polarización de 100 mV puede no ser suficiente para mitigar la corrosión en estas áreas.

No es posible generalmente interrumpir el origen de las corriente parasitas para la medición exacta de despolarización. Para aplicar este criterio, todos las fuentes de poder DC que afectan a la estructura, incluyendo rectificadores, ánodos de sacrificio, deben ser interrumpidos. En muchas instancias, esto no es posible, especialmente en estructuras antiguas para las cuales este criterio es muy usado.

Este criterio no puede ser usado en estructuras que contengan unión de metales disímiles, porque el criterio puede no ser adecuado para proteger el metal activo en la unión. Este criterio tampoco puede ser usado en áreas donde la forma ínter granular de ruptura por tensión y corrosión (Stress Corrosion Cracking – SCC-), también referido como alto pH o clásico SCC, es sospechado.

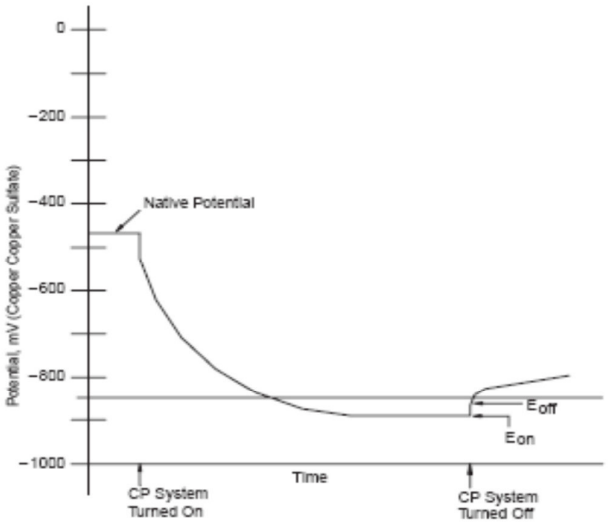


Figura N° 2.10 potencial tubería-suelo como una función del tiempo continuo de energización del sistema de PC *Cathodic protection Level 1 NACE International Cap. 4*

2.6. EFECTO DEL REVESTIMIENTO EN LA PROTECCIÓN CATÓDICA

En la superficie de una tubería bien revestida, el 99% de ella estaría totalmente libre de corrosión. También la PC sería relativamente fácil de aplicar porque solamente áreas mínimas de acero expuesto requerirían de protección. Leamos estas líneas otra vez y consigamos una idea de la significación en términos de cantidad de corriente que se debe proveer para la PC.

La tabla 2.2 ilustra el patrón del flujo de corriente esperado para la protección de una sección de la tubería desnuda. La tabla es absolutamente diferente con un revestimiento barrera de alta-resistencia que cubre entre la tubería y el ambiente, según lo ilustrado por la Figura 2.12.

En la figura 2.11 la corriente desde la cama enterrada para la PC se muestra el flujo a todas las áreas donde se expone el metal de la tubería. Al obrar así, la original corriente corrosiva descargada desde los defectos en áreas anódicas es reducida. Además de demostrar el flujo de la corriente a los defectos, la corriente también atraviesa el material de revestimiento. Ningun material de revestimiento es un aislante perfecto (aun cuando se encuentre absolutamente libre de cualquier defectos) y conducirá una cierta corriente. La cantidad dependerá de la resistencia eléctrica del material (expresado en ohm-cm.) y de su espesor. Cuando se utiliza una capa de alta-resistencia, la corriente que pasa directamente a través de la capa será insignificante comparada con la que fluye a los defectos de revestimiento a menos que el número y el tamaño de los defectos sean inusualmente pequeños.

La tabla 2.2 da una cierta idea del rango para la corriente de PC que puede ser encontrada. La corriente requerida para proteger una sección de 10 Mills en tuberías con diámetro de 36 pulgadas se compara con un amplio rango de resistencias de revestimientos, de una tubería desnuda a un revestida libre de holidays 3 - 32 pulgadas de espesor con una resistividad de $1x10^{13}$ ohm-cm. La sección de la tubería se asume que para estar en el suelo que tiene una resistividad media de $1x10^{3}$ ohm-cm. La corriente requerida es la que se necesita para causar 0.3 V de caída a través de una efectiva resistencia entre la tubería y la tierra alejada (efectos de polarización se desestima)

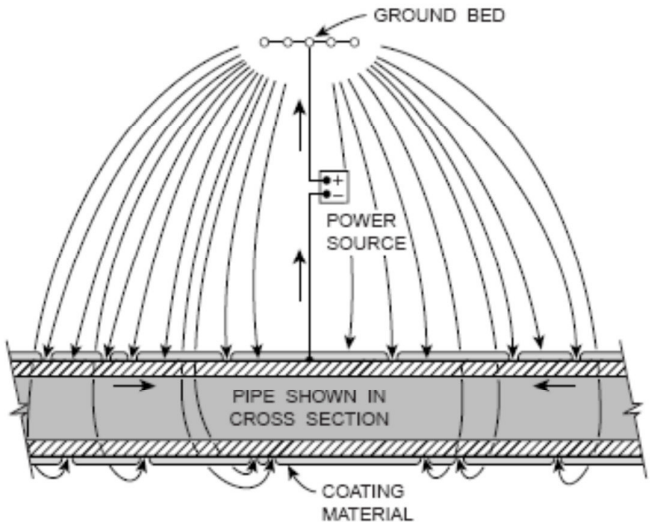


Figura Nº 2.11 protección catódica de una tubería revestida *Peabody's Control of Pipeline Corrosion Second Edition Cap 3*

La efectividad de la resistencia de revestimientos se da en la tabla 2.2

Resistencia efectiva del revestimiento en Ohms/ft^2	Corriente requerida en Amperios
Tubería desnuda*	500
10 000	14.91
25 000	5.964
50 000	2.982
100 000	1.491
500 000	0.2982
1 000 000	0.1494
5 000 000	0.0298
Revestimiento perfecto	0.000058

*Tubería desnuda asumiento un requeimiento minimo de 1 mA7ft^2

Tabla Nº 2.2 Rango de corriente requerida para Proteger una tubería de 16 Kilometros de longitud y 36 pulgadas de diámetro*(Bajo condiciones establecidas en el texto) Peabody's Control of Pipeline Corrosion Second Edition Cap 3*

La tabla indica una tubería desnuda requiere miles de veces más corriente que la misma línea con un recubrimiento superior.

2.7. SOBRE-PROTECCIÓN DE LÍNEAS REVESTIDAS

Bajo algunas condiciones, las cantidades excesivas de corriente de PC a una tubería revestida puede dañar la capa. Este proceso se llama "disbondment" (desprendimiento) catódico. La corriente que fluye promueve la migración del agua y del Ion a través del revestimiento y un aumento en el pH del electrolito en la superficie de la tubería. Si el potencial polarizado es suficientemente negativo, el hidrógeno puede también desarrollarse bajo la forma de burbujas de gas en la superficie de la tubería. Todos estos procesos son perjudiciales a los recubrimientos y promueven la degradación y el disbondment. El potencial polarizado en el cual los daños significativos a un recubrimiento ocurren está en función de muchos factores, incluyendo la resistencia inherente del recubrimiento a la degradación, la calidad del recubrimiento, las condiciones del suelo, y la temperatura de la tubería.

En general, los potenciales Off que son más negativos que -1.1 V (CSE) se debe evitar para reducir al mínimo la degradación del revestimiento. A este respecto, se debe observar las condiciones perjudiciales que se pueden crear fácilmente por una corriente impresa mal calibrada.

2.8. CAMAS ENTERRADAS CERCANAS VS. REMOTAS

Es el flujo de corriente de una fuente externa a una tubería (lo que es verdad cuando la tubería es protegida catódicamente será acompañado por una diferencia potencial entre la tierra y la tubería, la tierra que es positivo (+) y la tubería negativa (-). La diferencia de potencial se utiliza en ciertos criterios para determinar el grado de PC. Desarrollar la diferencia de potencial deseada se puede lograr de cualquiera de las dos maneras:

- Haciendo negativa la tubería con respecto a la tierra alejada, o
- Haciendo positiva a la tierra con respecto a la tubería en áreas locales.

El primer método utiliza las camas enterradas alejadas, donde las substanciales longitudes de tubería pueden ser protegidas. La segunda aplicación del método se encierra en las camas o los ánodos enterrados, que producen la protección solamente en su vecindad inmediata.

2.8.1. Cama Enterrada Remota (Alejadas)

Lo mostrado en la figura 2.12 puede ser utilizado para ilustrar otra vez el tipo de instalación de cama enterrada alejado. La descarga de corriente, de un ánodo o de un grupo de ánodos que

forman la cama enterrada, causará caídas de voltaje en la tierra entre los puntos a lo largo de líneas irradiado de la cama enterrada. Cerca de la cama enterrada, la caída de voltaje por unidad de longitud es relativamente alta. Como uno se mueve lejos de la cama enterrada, esta caída de voltaje por unidad de longitud disminuye hasta que se alcanza un punto del cual ninguna otra caída de voltaje significativa puede ser observada. Este punto se puede considerar como tierra remota o alejada y establece el radio de qué se llama el área de la influencia que rodea la cama enterrada.

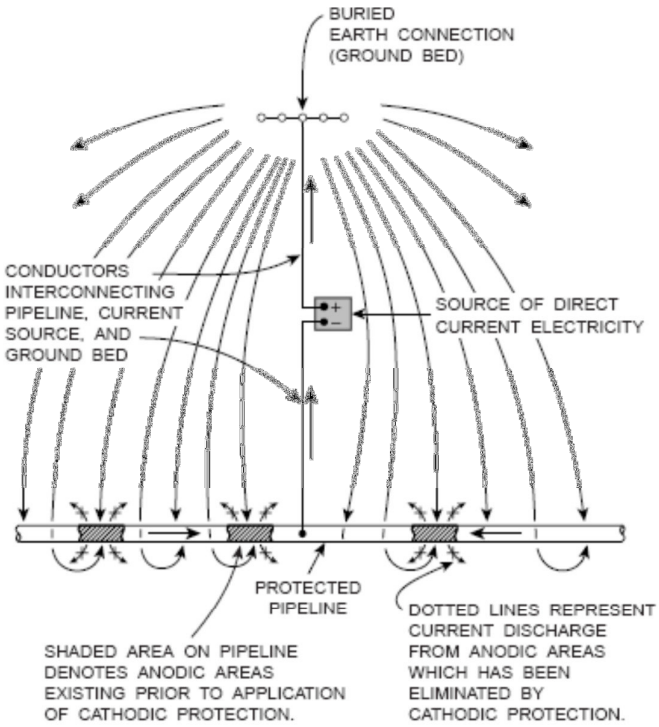


Figura N° 2.12 Instalación Básica de PC *Peabody's Control of Pipeline Corrosion Second Edition Cap 3*

Exactamente como se describe anteriormente, la corriente que fluye hacia la tubería protegida también causará una caída de voltaje en el suelo adyacente a la línea, y habrá un área de influencia alrededor de la tubería. La cama enterada demostrada en la figura 2.12 se puede ser alejada para una tubería si está suficientemente lejos y ausencia de traslape significativo entre el área de influencia que rodea la cama enterrada y el área de influencia que rodea la tubería. Bajo tales condiciones, la corriente fluye de la cama enterrada en el interior de la tierra, el cual puede considerarse conductor de menor resistencia, o infinita. La corriente después fluirá de este conductor infinito a la tubería que se protegerá y causará una caída de voltaje a través de la resistencia entre la tubería y este conductor infinito.

El circuito equivalente simple mostrado en la figura 2.13 ilustra este concepto. Bajo estas condiciones, la tubería será hecha negativa con respecto a la tierra alejada y, si resulta hecha suficientemente negativa, la PC será considerada efectiva.

Con el flujo de corriente en un conductor infinito según lo ilustrado, la misma resistencia de la tubería puede limitar la longitud de la tubería que puede ser protegida por la cama enterrada.

Una limitación cercana de la cama enterrada es la necesidad de mantener el potencial polarizado tubería-suelo en los valores que son menos negativos de -1.1 V (CSE) para evitar daños en el revestimiento y efectos del hidrógeno en aceros susceptibles.

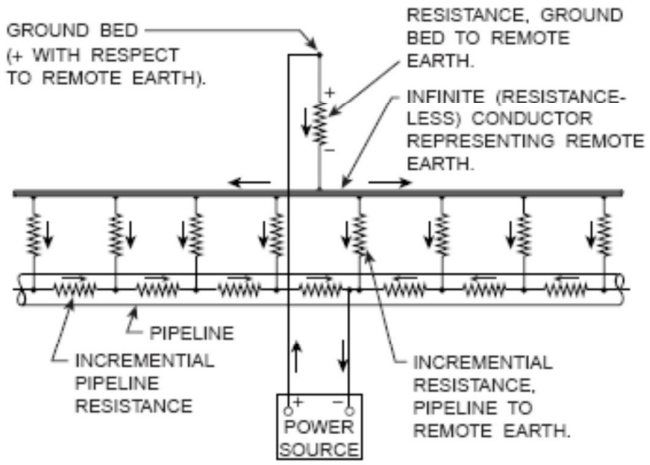


Figure N° 2.13 Circuito simple equivalente de una tubería con cama enterrada remota

Peabody's Control of Pipeline Corrosion Second Edition Cap 3

2.8.2. Camas enterradas cercanas

El uso de ánodos cercanos, o una serie de ánodos, es absolutamente diferente a la instalación del tipo alejado antes descrito. Su uso depende del área de influencia que rodea cada ánodo de la cama enterrada.

La corriente por unidad del área de sección transversal de tierra (densidad de corriente) que fluye lejos de un ánodo de la cama enterrada es más alta cerca del ánodo y disminuye con la distancia.

Donde la densidad de corriente es más alta, las grandes caídas de potencial punto a punto se pueden observar de la tierra. El beneficio neto de este efecto es que la mayor parte de la caída de potencial a la tierra alejada de un solo ánodo está encontrada normalmente dentro de los primeros. Esto se ilustra por la Figura 2.14, que demuestra el porcentaje de la resistencia total o de la caída de potencial (con respecto a la tierra alejada) en función de distancia de un ánodo que sea corriente derivada.

Las curvas en la figura 2.14 se basan en un ánodo de 3 pulgadas de diámetro y 60 pulgadas de largo que descarga 2 A de corriente en $1x10^3$ ohm-cm. tierra de resistividad de tierra. Otros tamaños de ánodo darán lugar a curvas algo diversas, pero el que se ilustra es típico. Las condiciones no uniformes del suelo también cambiarán la forma de la curva. La curva se basa en la fórmula siguiente de Rudenberg (1945):

$$Vx = \frac{0.038I\rho}{\pi y}\ Log10\frac{(y+\sqrt{x^2+x^2})}{x}$$

Dónde:

Vx = Potencial en x (ver Figura 2.14) en voltios causados por la corriente del ánodo enterrado

I = corriente del ánodo enterrado en amperios

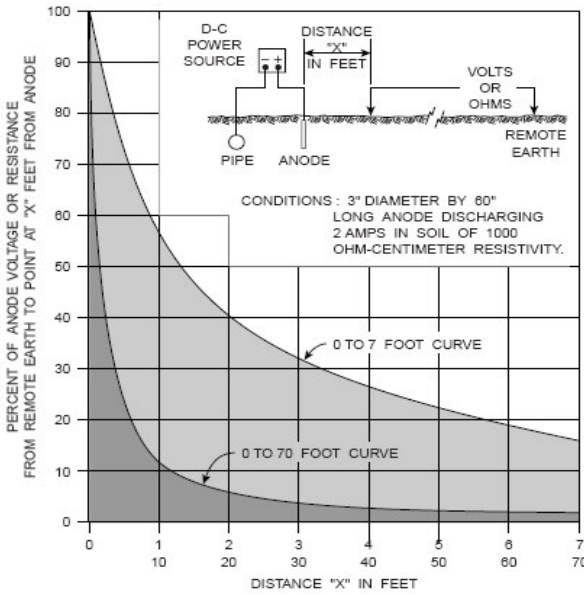


Figura 2.14 Porcentaje de la Resistencia total o de la Caida de Potencial

½ = resistividad de la tierra en ohm-cm.

y = Longitud del ánodo enterrado en pies

x = Distancia desde el ánodo en pies

Si *x es* mayor que 10*y*, entonces

$$Vx = \frac{0.052I\rho}{x} \qquad (2)$$

Observar que la misma curva se puede utilizar para indicar el porcentaje de la caída de voltaje total así como resistencia. Esto es porque ambas características se relacionan directamente con la ley del ohm, que dice que la caída de voltaje a través de una resistencia es igual al valor de la resistencia multiplicada por la corriente que la atraviesa (voltios=ohmios x amperios; V= IR). Por lo tanto, si la corriente que fluye de un ánodo enterrado a un punto que esté suficientemente lejos incluye el 50% de la resistencia total del ánodo a la tierra alejada, entonces la caída de voltaje entre el ánodo y el punto de la caída de voltaje será el 50% total entre el ánodo y la tierra alejada.

2.9. EFICIENCIA DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA

2.9.1. Deteniendo el desarrollo de daños de tuberías

Una PC apropiadamente diseñada y mantenida, puede controlar efectivamente la corrosión de tuberías en sistemas de acero y se ha demostrado en casos incontables. La prueba de la eficiencia de la PC es más evidente donde la protección se ha aplicado a viejos sistemas de tuberías que habían estado desarrollando fugas en una rápido índice de aumento.

Los sistemas de protección convenientes pueden detener el desarrollo de otros escapes en manera dramática. Woody (colección de documentos de corrosión subterránea de tuberías, vol. IX) proporciona un ejemplo de tales resultados en una sección del gas natural en Houston, Texas, que había estado protegido por más de 20 años.

La reducción en el número de fugas era impresionante, según las indicaciones de la figura 2.15. La curva demuestra que el desarrollo adicional de las fugas era detenido una vez aplicado la PC a la tubería.

Este estudio fue hecho en las tuberías en suelo corrosivo, donde las fugas llegaban a ser tan numerosos que el abandono de la tubería era seriamente considerado antes de decidir la aplicación de la PC. Stetler (1980) divulgó una reducción impresionantemente similar en la frecuencia de fugas en una tubería de agua de hierro fundido después del uso de PC.

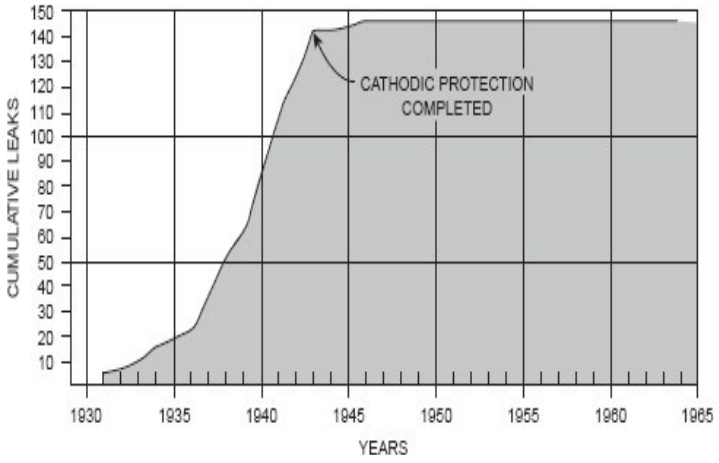


Figure N°.19 Eficiencia de la PC en detener el desarrollo de fugas.

Peabody's Control of Pipeline Corrosion Second Edition Cap 3

2.9.2. Presencia De Corriente Parasitas (Stray Current)

Donde las corrientes Parasitas son un factor, la PC solamente puede no ser el mejor método de controlar la corrosión. Las corrientes perdidas o parasitas pueden ser las corrientes directas artificiales o naturales de fuentes con excepción de las celdas galvánicas de corrosión en la misma tubería.

La aplicabilidad de la PC depende en gran parte de la severidad y el grado de variación de las corrientes parasitas cargadas y descargadas por la tubería. Las bajas corrientes de estado estacionario (estáticas) o las corrientes que varían dentro de estrechos límites razonables se pueden controlar con los sistemas de PC.

Corrientes perdidas más grandes, particularmente ésas que demuestran la amplia variación y reversiones en la dirección del flujo (corrientes parasitas dinámicas), requieren generalmente análisis especial y medidas correctivas.

2.10. EFECTO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA EN OTRAS ESTRUCTURAS

Es absolutamente posible diseñar un sistema de PC para proteger una tubería, pero, con los efectos de corrientes parasitas, puede promover la corrosión de estructuras metálicas subterráneas vecinas. Es importante que se le informe completamente al Ingeniero de corrosión sobre las condiciones que pueden dar lugar tales efectos nocivos a estas estructuras foráneas. Los diseños pueden entonces reducir al mínimo esta posibilidad, y el ingeniero sabrá dónde buscar otras estructuras que puedan estar sujetas a daño.

Los daños de corrosión a una estructura subterránea causada por un sistema de PC en otra estructura comúnmente se llaman interferencia. Éste es actualmente el resultado de una

forma de corrosión pro corrientes parasitas. Esta forma de daño por corrientes parasitas es lo más común asociada con los sistemas de corriente impresa. Los sistemas de ánodos galvánicos, debido a su baja tensión, no pueden probablemente causar problemas, pero no están totalmente libres de la posibilidad.

Una manera de pensar en efectos de interferencia es considerar el terreno entre una cama enterrada y una tubería bajo PC como una trayectoria de la resistencia para el flujo de corriente. La tubería foránea o la otra estructura metálica forma una segunda trayectoria de resistencia, donde la corriente puede saltar sobre la estructura y completando el circuito. Según la ley del ohm, la cantidad relativa de corriente en las dos trayectorias es inversamente proporcional a las resistencias relativas de esas trayectorias.

Otra manera de considerar el problema de los efectos de interferencia es considerar los gradientes del voltaje asociados al flujo de la corriente en la tierra. La resistencia y las caídas de voltaje se relacionan directamente. Otra discusión del problema, con esto en mente, es como sigue.

2.10.1. Tuberías foráneas cercanas a las camas enterradas para la protección catódica

Una cama enterrada de PC instalada también cerca de una tubería foránea puede ocasionar daños. Serán discutidas dos condiciones generales.

2.10.1.1. Caso 1

En La figura 2.16, una tubería foránea es mostrada pasando por la zona de los potenciales positivos de tierra (área de influencia) que rodean una cama enterrada de corriente impresa y que después cruzan la tubería protegida en una posición más lejana. Los potenciales positivos de la tierra forzarán la tubería extraña para tomar la corriente en los puntos dentro del área de la influencia. Esta corriente debe después completar el circuito eléctrico y volver al terminal negativo de la fuente de energía del rectificador. La figura 2.16 ilustra esto demostrando la mayor parte de la carga del fluyo de corriente a lo largo de la línea foránea hacia el punto donde las dos líneas se cruzan y después deja la línea foránea en la vecindad del cruce. Esta corriente entonces es tomada por la tubería protegida y vuelta al rectificador. Donde la corriente sale de la línea foránea.

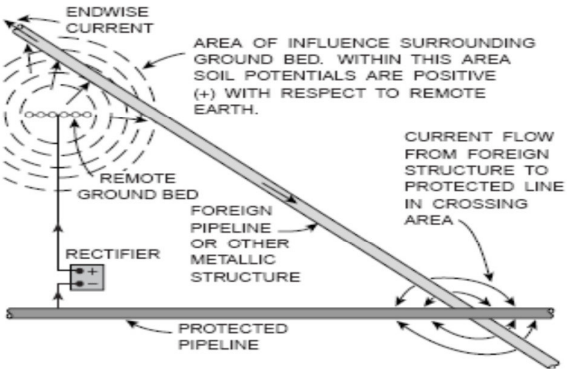


Figura Nº 2.16 Tubería extraña dañada por la instalación de PC –CASO 1 *Peabody's Control of Pipeline Corrosion Second Edition Cap 3*

2.10.1.2. Caso 2

La figura 2.17 ilustra una condición donde la tubería foránea (u otra estructura metálica enterrada) próxima a las cercanías de una cama enterrada de PC pero no cruza la tubería

protegida. En este caso, como en el caso precedente, la tubería foránea es forzada a tomar la corriente en el área de los potenciales positivos de la tierra que rodean la cama enterrada. La corriente fluirá desde donde la toma la carga en ambas direcciones de la cama enterrada.

Esta corriente perdida debe entonces dejar la tubería foránea en áreas más alejadas (por ejemplo en áreas de baja resistividad del suelo) al flujo a la tubería protegida y entonces de nuevo al rectificador para terminar el circuito. Esto significa que puede haber muchas áreas de descarga de corriente y el daño a la tubería foránea será una sola área de descarga como en el caso precedente. Las acciones correctivas pueden incluir el uso de cables de enlace de la tubería foránea al terminal negativo del rectificador o la instalación de sistemas de PC en la tubería foránea para revertir al inicio el flujo de la corriente.

Como en el caso precedente, la recolección de corriente por la tubería foránea puede ser tan intensa que la corrección de la condición puede no ser práctica si la cama enterrada está también cerca de la tubería foránea. La cama enterrada entonces puede tener que ser abandonado.

Al seleccionar los lugares para la cama enterrada de los sistemas de corriente impresa, la presencia de las tuberías extrañas, que podrían ser afectadas adversamente, debe ser explorada cuidadosamente. En áreas de alta resistividad del suelo, donde los rectificadores de alto voltaje pueden ser utilizados, el área de la influencia que rodea una cama enterrada puede extenderse para varios cientos de metros. Las unidades pequeñas en suelo de baja resistividad no crearán un problema. En cualquier caso, las pruebas se deben hacer por el ingeniero de corrosión para asegurar que las tuberías vecinas no serán dañadas o, si hay una cierta influencia, que la posibilidad de daño se puede corregir económicamente.

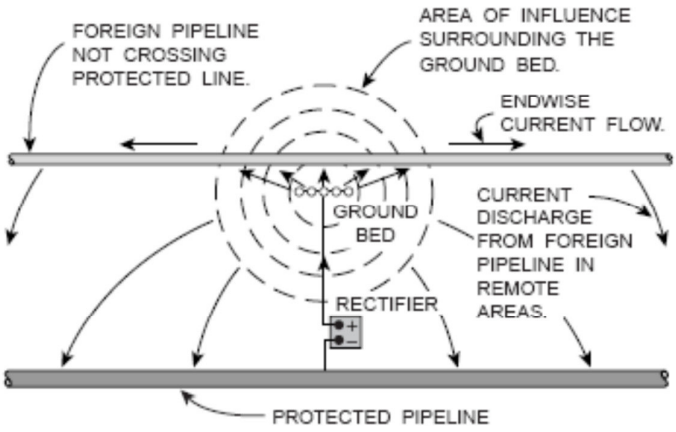


Figura N°2.17. Tuberías Extrañas dañadas causado por la instalación de PC – CASO 2 *Peabody's Control of Pipeline Corrosion Second Edition Cap 3*

2.10.2. Tuberías foráneas que cruzan líneas desnudas protegidas catódicamente

Un gradiente de potencial en tierra rodea una tubería protegida catódicamente. Este gradiente es causado por el flujo de corriente sobre la tubería de tierra alejada y es el inverso del gradiente o del área potencial de la influencia que rodea una cama enterrada que sea corriente descargada. Como resultado de este gradiente, la tierra en la vecindad inmediata de la tubería es negativa con respecto a la tierra lejana. Esto es ilustrado por la Figura 2.18.

El tamaño del área (zona) de la influencia alrededor de una tubería protegida está en función de la cantidad del flujo de corriente a la línea por unidad de área de la superficie de la tubería (densidad corriente). Cuanto mayor es la densidad de corriente, mayor es la zona de la

influencia. Para las tuberías bien revestidas, la corriente es tan pequeña que los gradientes potenciales en la tierra alrededor de la línea son insignificantes.

Una tubería desnuda protegida catódicamente, no obstante (o con grandes Holidays en líneas revestidas), puede recoger tanta corriente que las caídas de voltaje substanciales se pueden medir en la tierra alrededor de la línea. La tubería foránea u otra estructura metálica enterrada que cruza la línea desnuda protegida pasarán a través de la región gradiente de potencial y estará sujeto a posible daño de corrosión. Esto es ilustrado por Figura 2.19.

Dentro de la región de gradiente de potencial, la tubería foránea tiende a ser positiva con respecto al suelo adyacente. Esto es el más pronunciado en el punto de cruce. La diferencia del voltaje entre la tubería y la tierra puede forzar la tubería foránea para tomar la corriente de PC en secciones eléctricamente alejadas y para descargarla a la línea protegida en el área de cruce. La tubería foránea será dañada por la descarga a tierra, con el punto de daño probable más grande directamente en el cruce con la línea desnuda protegida.

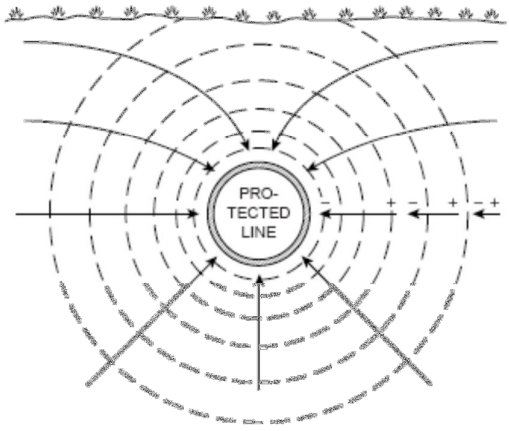


Figura Nº 2.18 Gradientes de Potencial en tierra alrededor de una tubería protegida catódicamente.
Peabody's Control of Pipeline Corrosion Second Edition Cap 3

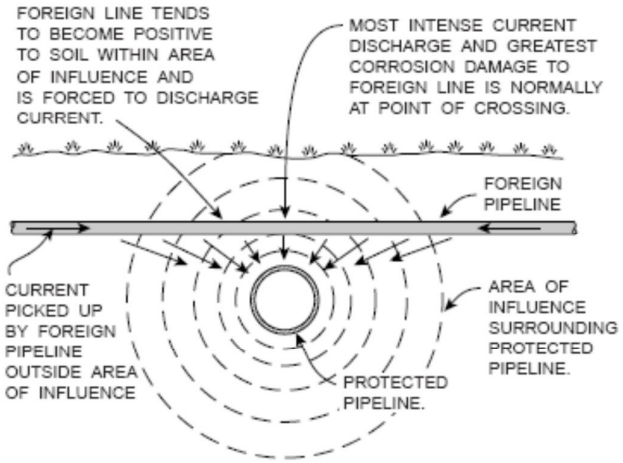


Figura Nº 2.19 Efecto sobre tuberías foráneas que pasan a través de la tierra, gradientes de potencial alrededor de una tubería protegida catódicamente

Peabody's Control of Pipeline Corrosion Second Edition Cap 3

Una tubería extraña puede desarrollar fugas a corto plazo en casos extremos. Si la tubería extraña está cerca de una cama enterrada para corriente impresa de una línea protegida, los dos efectos son sumados y el índice de la corrosión en el punto de cruce con la línea protegida aumentará. Los daños a la tubería foránea pueden ocurrir aunque tenga un sistema de PC. Esto ocurre si los gradientes potenciales que rodean la línea desnuda protegida catódicamente son bastante fuertes para compensar el potencial de protección en la tubería foránea y forzarlo a descargar la corriente (y acelerar la corrosión) en el punto de cruce.

Si la tubería foránea tenía un revestimiento perfecto, no podría haber descarga de corriente y no habría corrosión a pesar de la existencia de los gradientes potenciales donde pasó por la zona de influencia alrededor de la línea desnuda catódicamente protegida. Esto, sin embargo, es inverosímil para las condiciones típicas de los revestimientos y condiciones del terreno. Incluso un solo defecto del revestido dentro del gradiente puede causar una fuga. El índice de la penetración tendería a aumentar con el aumento de calidad del revestido porque la descarga de corriente sería concentrada en roturas más pequeñas en el recubrimiento.

La existencia de un posible efecto de daño sobre una tubería foránea en un punto de cruce se puede comprobar fácilmente. Esto es logrado midiendo potenciales entre la tubería foránea y un electrodo cercano situado directamente sobre la línea foránea. Las medidas se obtienen en intervalos cercanos porque el índice del cambio potencial, Punto a Punto, puede ser absolutamente rápido. Así, estas medidas abarcan simplemente intervalos cercanos *(close interval survey CIS)* cerca del cruce de las dos tuberías. Típicamente, el resultado trazado parecerá en la Figura 2.20 Esta figura ilustra el efecto sobre una tubería foránea catódicamente protegida y demuestra una inmersión potencial severa en el punto de cruce.

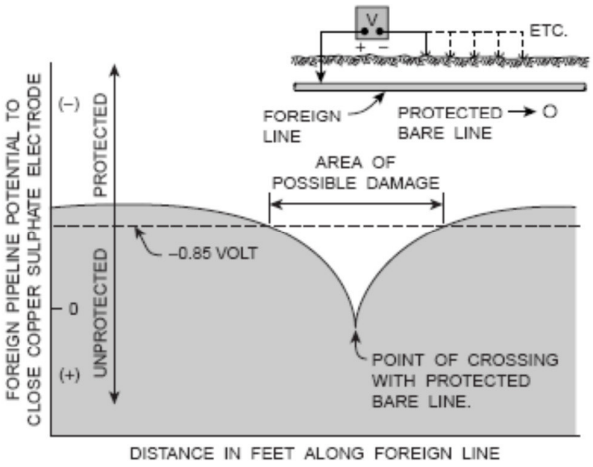


Figura Nº 2.20 Potenciales tubería – suelo en tuberías foráneas que pasan a través del área de influencia de una tubería desnuda protegida catódicamente

Peabody's Control of Pipeline Corrosion Second Edition Cap 3

Los daños a la tubería foránea serán esperados a menos que su revestido sea perfecto. Tal esquema identifica claramente la longitud de la tubería foránea afectada. La longitud de la tubería foránea conforme a potenciales disminuidos puede variar de apenas algunos metros en casos ligeros a cientos de metros cuando los gradientes de potenciales son severos y el ángulo entre las dos líneas que se cruzan es pequeño. Otros factores que son igual, la cantidad de tuberías foráneas sujetas a los potenciales disminuidos son lo menos para cruce de ángulo recto.

3. CAPITULO III REVESTIMIENTOS PROTECTORES AISLANTES PARA ESTRUCTURAS SUMERGIDAS O ENTERRADAS

Los revestimientos son la primera línea de defensa de muchos programas de control de corrosión. Desafortunadamente, los revestimientos nos son perfectos y ocurre que aceleran la corrosión cuando estos se quiebran (holidays). La PC es usada para prevenir la corrosión del sub estrato de acero en los "holidays" del revestimiento

El revestimiento también juega un papel importante en la ingeniería de la PC. Aunque esto es posible para proteger tuberías desnudas, si la estructura es revestida la PC es necesaria para proteger solamente el metal expuesto a los holidays. Esto reduce en gran cantidad el tamaño y los costos de los sistemas de PC. La inspección de estos revestimientos es importante porque es necesaria para poder instalar la estructura con las mejores condiciones de revestimiento posible. Esto asegura el perfil de diseño del sistema de PC.

Los revestimientos diseñados para tuberías enterradas que se utilizan generalmente no tienen Buena Resistencia a la luz ultravioleta. En consecuencia, se evita el almacenamiento de tuberías revestidas, expuestas a la luz solar.

3.1. TIPOS DE REVESTIMIENTOS PARA ESTRUCTURAS ENTERRADAS

3.1.1. Esmaltes Bituminosos

Estos revestimientos se formulan aplicando alquitrán (Coal tar) o asfalto natural y son reforzados con vidrio y un filtro envolvente para aumentar la resistencia mecánica y al impacto. El exterior de la tubería es envuelta con papel Kraft para protegerlo durante su transporte y manipulación. Estos revestimientos se empezaron a utilizar a inicios de los 1900, pero son utilizados cada vez menos por la toxicidad y daños al medioambiente. Las tuberías que han sido revestidas con esmaltes deben ser manipulados cuidadosamente para prevenir daños en el revestido.

3.1.2. Fusion Bonded Epoxy (FBE)

Este revestimiento consiste de una resina pulverizada rociada electrostáticamente sobre la superficie de la tubería calentada entre 204°C a 260°C (400°F a 500°F).

El espesor típico está entre 12 a 15 Mills (0.304 mm. a 0.381 mm.). Tienen buena adhesión al acero y tiene buena resistencia a los daños por impacto y abrasión. Tiene un rango temperatura operacional desde -40°C a 60°C (–40°F a 140°F). A lo largo del tiempo (10 a 15 años) tiende a absorber la humedad lo que puede ocasionar problemas con el revestimiento, en consecuencia la corriente de PC requerida se incrementa con el tiempo.

3.1.3. Primers.

El Primer es un componente universal de todos los revestimientos anticorrosivos y es considerado uno de los más importantes elementos de un sistema de protección. Un buen Primer generalmente provee la habilidad de reducir o retardar el aumento de las discontinuidades que promueven la corrosión, tales como "pinholes", "holidays", o rupturas en la película. Estos deben también contener una adecuada concentración de un inhibidor, donde esté considerado una presentación importante de los sistemas de protección y usualmente es el Pigmento de cromato. Las funciones primarias de un Primer son:

- Adhesión o un enlace fuerte con el substrato.

- Fuerte Cohesión interna.
- Inerte al medioambiente.
- Alto enlace con la capa intermedia.
- Flexibilidad apropiada

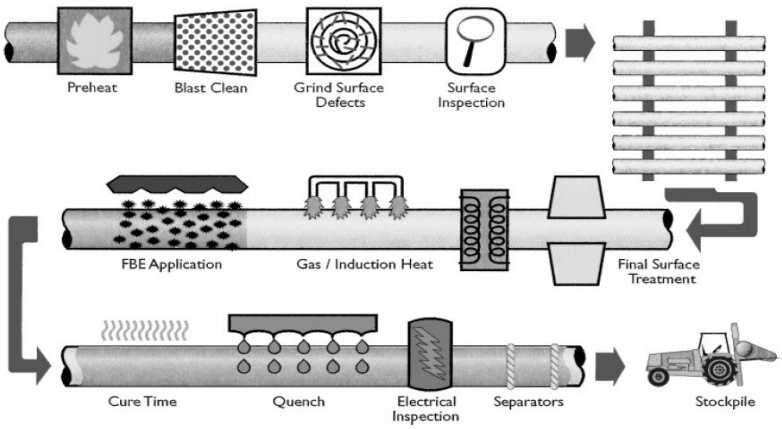


Figura 3.1 Esquema de aplicación Fusion Bonded Epoxy en polvo. *Peabody's Control of Pipeline Corrosion Second Edition Cap 2*

1.1.1. Poliolefin y Polietileno Extruido

El primer sistema de Poliolefin extruido fue introducido en 1956 al sobreponer polietileno extruido sobre una capa de asfalto adhesivo. Originalmente introducido para tuberías de diámetro pequeño (sobre 4 1/2"[114 mm.], el material se encuentra ahora disponible para tuberías sobre 24" (610 mm.) de diámetro.

Un adhesivo co-polimero es aplicado para eliminar las uniones frías y minimiza la ruptura por retorno del revestimiento.

El método de producción del proceso de extrusión depende de controles exactos. Los calentamientos de extrusión, fundición, mezcla y materiales extruidos sobre el acero de la tubería deben estar a la temperatura y presión deseadas.

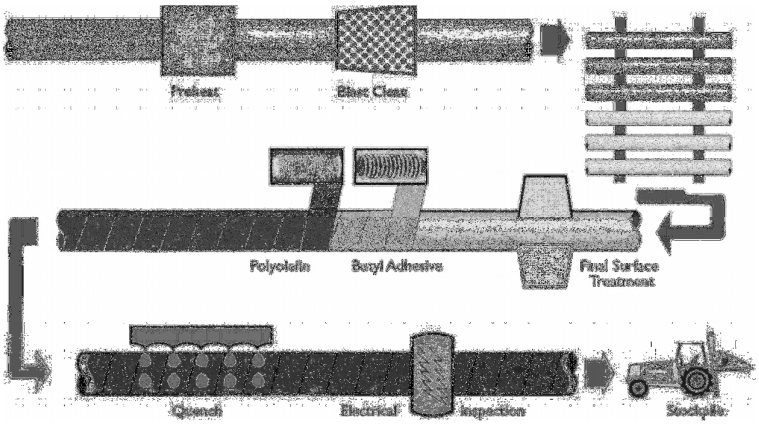


Figura 3.2 Esquema de aplicación del Poliolefin de Lado Extruido sobre Adhesivo Butílico Extruido. *Peabody's Control of Pipeline Corrosion Second Edition Cap 8*

1.1.2. Sistemas de revestimiento Mill-Applied

La fabricación de cintas de revestimiento reforzadas con petróleo ha sido usada desde hace 65 años. Las cintas de polietileno para revestimiento de tuberías fueron introducidas hace 46 años, y la aplicación del sistema de cintas fue introducida hace 20 años.

Este método consiste de un primer, una capa de inertizante preventivo contra la corrosión y una o dos capas externas de protección mecánica.

Restricciones medioambientales de primers con base de solventes y lo primero en resolver para introducir Primers medioambientalmente aceptables. A pesar de estas limitaciones, la rápida disponibilidad, fácil aplicación, y el costo significó la continuidad del uso de este método.

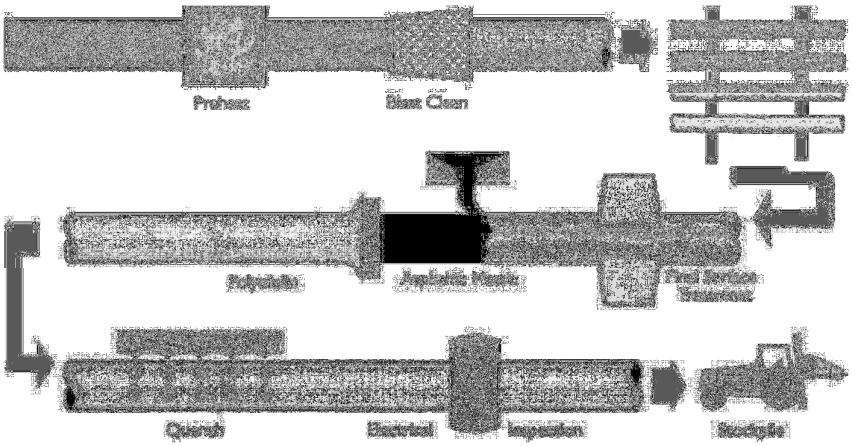


Figura 3.3 Esquema de Aplicación de Poliolefin Cruzado Extruido sobre Pegamento Asfáltico

Peabody's Control of Pipeline Corrosion Second Edition Cap 8

1.1.3. Epóxico Multicapa/Sistemas Poliolefin Extruido

Inicialmente introducido en Europa a mediados de 1960, es un fuerte adhesivo bajo el polietileno, seguido por la adición de un Primer Epóxico (FBE o liquido), los sistemas Epóxico multicapa/ sistemas poliolefin son los sistemas de revestimiento de tubería más usado en Europa, actualmente está disponible a nivel mundial.

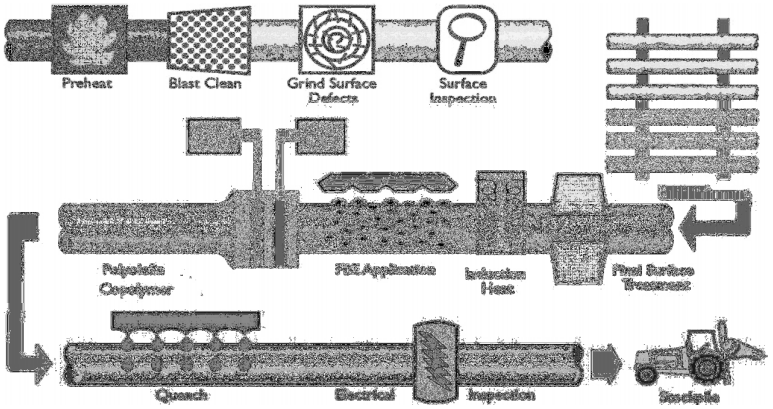


Figura 3.4 Esquema de aplicación de revestimiento 3-capa co-polimero. *Peabody's Control of Pipeline Corrosion Second Edition Cap 8*

1.1.4. Cintas de Revestimiento

Muchos sistemas de cintas son aplicados en frió. El sistema consiste de un primer, una capa inerte sellante anticorrosiva, con una protección mecánica como última capa, usualmente polietileno o poli butileno. Hay también varios sistemas de múlti-capas disponibles. Deben ser enviados y manipulados con cuidado para prevenir daños y son propensos al desprendimiento si la cinta no está apropiadamente tensionada

1.1.5. Revestimientos de resina líquida de Dos-Componentes

Estos revestimientos consisten de una resina liquida, usualmente un epóxico, y un agente curante. Los dos componentes son esparcidos en correcta proporción sobre la tubería, usualmente en una o dos capas para conseguir un espesor final de 12 a 16 Mills (0.304 mm. a 0.406 mm.). También son resistentes al impacto y la abrasión.

1.1.6. Intermedios o Cuerpo revestido.

Intermedios o Cuerpo revestido son usualmente utilizados en sistemas de revestimientos diseñados para aplicaciones específicas donde el espesor del revestimiento y las estructuras son muy grandes. Los propósitos primarios de un revestimiento intermedio son para proveer:

- Espesores para un revestimiento de protección.
- Fuerte resistencia a los químicos.
- Resistencia a la humedad por transferencia de calor.
- Incremento de la resistencia eléctrica del revestimiento.
- Cohesión fuerte
- Fuerte unión del primer con el revestimiento superior.

1.1.7. Revestimientos Superiores o externos (TOPCOAT)

En la propuesta del sistema de revestimiento, los revestimientos superiores “top coat” proveen una resina sellante sobre el revestimiento intermedio y el Primer. La primera capa superior puede, de hecho, penetrar dentro de la capa intermedia, así provee al sistema de revestimiento con una altamente resistente superficie exterior.

Las capas superiores son los primeros en la línea de defensa de muchos revestimientos contra químicos agresivos, agua, o el medio ambiente. Es generalmente más denso que las capas intermedias, pues las capas externas son formuladas con una baja proporción de solvente – pigmento. Los top coats son comúnmente usados incluyendo pinturas de aire seco y barnices con base de aceite, los cuales se endurecen por oxidación; acrílicos y otras lacas, las cuales se secan por evaporación del solvente y poliuretano y pinturas epóxicas las cuales se secan por el enfriamiento durante el curado por reacciones químicas. Altas temperaturas de curado o cocido pueden ser usados con ciertos tipos de epóxico para producir una dureza final, pero este es muy difícil de remover.

Las Pinturas de poliuretano tuvieron un amplio uso mundial en las aplicaciones marinas. Sin embargo, estas pinturas son bastante frágiles y tienden a dañarse y fracturarse y son por estas razones que muchos prefieren pinturas acrílicas secas- solvente para la pintura exterior final.

Eligiendo el sistema de pintura seleccionando para uso exterior, es usual para calificar el sistema en base a su habilidad para prevenir la corrosión filiforme.

Los Top coats proveen las siguientes funciones:

- Una Resistencia sellante para el sistema del revestimiento.
- Una barrera inicial al medio ambiente.
- Resistencia a los químicos, agua, y clima.
- Endurecimiento de la superficie y Resistencia al agua.
- Una apariencia agradable.

Sin embargo, hay un número de situaciones donde las capas intermedias proveen la primera barrera contra el medio ambiente, y la capa final es aplicada para enteramente diferentes propósitos. El top coat puede ser usado, por ejemplo, para proveer una superficie antideslizante, y la capa intermedia y el primer proveen la barrera con el ambiente.

1.2. COMPONENTES BÁSICOS DE LOS REVESTIMIENTOS.

1.2.1. Aglutinantes.

Para una función práctica en el ambiente, una capa debe convertirse, después de su aplicación, en una membrana densa y sólida, y pegajosa que tiene todas las propiedades habladas de antes. El Aglutinante es el material que hace esto posible. Suministra la uniformidad y la coherencia al sistema de revestimiento. No todos los aglutinantes son resistentes a la corrosión, así que solamente algunos sirven en la formulación de capas protectoras.

La habilidad del aglutinante para formar una densa y fuerte película está directamente relacionada con su tamaño y complejidad molecular. Los aglutinantes que tienen alto peso molecular por la evaporación del vehículo, mientras que los aglutinantes con menor peso molecular generalmente reaccionaran in situ. Los Aglutinantes pueden ser clasificados de acuerdo con sus reacciones químicas esenciales.

1.2.2. Aglutinantes reactivos al oxígeno.

Son resinas generalmente de bajo peso molecular que es generalmente capaz de producir revestimientos completos desde una reacción intermolecular con el oxígeno. Esta reacción es muchas veces catalizada por sales metálicas de cobalto o plomo

Ejemplos son:

1. Álcalis. Son producidos por reacciones químicas naturales, secando petróleo para formar una resina sintética con buen curabilidad de película, resistencia química, y resistencia al clima.

2. Esteres epóxicos. Las resinas epóxicas reaccionan químicamente con aceites que al secarse se obtienen esteres epóxicos. El tamaño de la molécula de los aceites determinan las propiedades básicas de las capas del Ester epóxico. La capa se seca por la oxidación de la misma manera como un álcali.

3. Álcalis Uretanos. Estas resinas Epóxicas también son químicamente combinadas con aceites secos como parte de la molécula que posteriormente reaccionará con isocianatos para producir Álcalis Uretanos. Se aplica como un revestimiento líquido, luego al combinarla cono resinas de aceite por oxidación se convierte en sólido.

4. Álcalis silicosis. Las resinas álcalis son combinadas con moléculas de silicón para formar una excelente resistencia al clima.

5. Lacas. Son revestimientos que son convertidos desde un material líquido a una película sólida por la evaporación del solvente. Las lacas generalmente tienen un bajo volumen de sólidos.

Como ejemplos tenemos

- Polímeros de cloruro de polivinilo. Es la principal laca resistente a la corrosión es hecha de co-polimeros de cloruro de polivinilo. La molécula del vinilo es relativamente grande y será disuelta completamente en un solvente en el 20% de rango.
- Acrílicos. Son de alto peso molecular y puede ser combinado con resinas vinílicas para mejorar el aspecto visual en el exterior y retiene el color.

1.2.3. Conversión de aglutinantes por el calor

- Fundiciones calientes (Hot melts). Normalmente envuelven el asfalto o el Coal tar y son derretidos (fundidos) y aplicados como 100% sólidos en la condición de líquido caliente.
- Revestimientos en polvo; son resinas termoplásticas o semi termoestables, aplicadas para un substrato como un polvo que es fundido para formar un revestimiento. Pueden ser aplicados por el uso de un campo electrostático con el revestimiento y el substrato cargados con polaridades opuestas. Esto método de aplicación es muy eficiente porque la sección recubierta se convierte en aislante.

1.2.4. Aglutinantes Co-reactivos.

Son formados de dos resinas de bajo peso molecular y son previamente combinados para la aplicación al substrato, donde reaccionan para formar una película muy adherente y sólida.

Se tienen:

- Epóxicos. Son fabricados de resinas con relativamente bajo peso molecular en donde le grupo epóxico es el fin de cada molécula, las resinas epóxicas están en reacción con los aminos de varias moléculas pesadas y curadas para formar aglutinantes de alto peso molecular con buena resistencia a los solventes y a los químicos.
- Poliuretanos. Son resinas de bajo peso molecular conteniendo alcohol o grupos aminos, estos reaccionan con di-isocianatos en las resinas pre polimeras internas e intermedias y también son capaces de reaccionar con otros grupos que con tienen aminos, alcohol o cualquier líquido.

1.2.5. Aglutinantes condensados

Son basados primariamente en resinas que interactúan para formar enlaces polímeros cuando es sometido a suficiente energía térmica. Estos aglutinantes también son llamados materiales de alto respaldo (high-baked materials) y son comúnmente usados en tanques y tuberías. La condensación es esencialmente la liberación del agua durante el proceso de polimerización.

1.2.6. Aglutinantes Coalescente

Son revestimiento donde el aglutinante de varios tipos de resina son emulsificadas para formar un líquido aglutinante o adhesivo. Estos son primeramente emulsificados con agua o menos comúnmente con otros disolventes. Cuando se aplican con la superficie, el medio evaporado,

abandona el revestimiento de tal manera que el adhesivo gradualmente fluye en sí mismo, o coalesce, para formar una película continua.

1.2.7. Aglutinantes Inorgánicos;

Son muchas veces silicatos disueltos en agua o solvente que reaccionan con la humedad en el aire después de su aplicación en la superficie. El tipo de aglutinantes inorgánicos depende de la forma del silicato durante el tiempo de curado

Revestimiento de tubería	Características Deseables	Limitaciones
Esmaltes Coal tar	±80 años de uso. Mínima susceptibilidad a los holiday Bajos requerimientos de corriente. Buena Resistencia al desprendimiento catódico. Buena adhesión al acero.	Fabricantes limitados. Aplicaciones limitados Consideración en salud y calidad de aire.
Sistemas de Aplicación de cintas Mill-applied.	±30 años de use Susceptibilidad mínima de holiday De fácil aplicación Buena adhesión al acero. Requiere baja energía para la aplicación.	Restricciones en el manipuleo, transporte e instalación. Capacidad de ampollamiento por calor y rayos UV durante el almacenamiento. Blinda la PC desde el suelo Desprendimiento por tensión.
Poliolefin entrelazado extruido con asfalto y adhesivo butílico.	±40 años de uso Susceptibilidad mínima de holiday De fácil aplicación No contaminante (Nonpolluting) Requiere baja energía para la aplicación.	Mínima adhesión al acero. Almacenamiento Limitado (excepto con carbón negro). Tendencia para desgarre y propagación propagar a lo largo de la longitud del tubo.
Polyolefin extruido a ambos lados con adhesivo butílico.	±25 años de uso Susceptibilidad mínima de holiday. Bajo requerimiento de corriente. Excelente resistencia al desprendimiento catódico. Buena adhesión al acero Es de fácil aplicación No contaminante (Nonpolluting) Requiere baja energía para la aplicación.	Dificultad para la remoción del revestimiento. Limitación de aplicación.
Fusion bonded	±35 años de uso. Bajo requerimiento de corriente. Excelente resistencia al desprendimiento catódico Excelente adhesión al acero Excelente resistencia a los hidrocarburos	Parámetros exactos de aplicación. Aplicación en altas temperaturas. Sujeto a imperfecciones en la superficie del acero. Baja resistencia al impacto y abrasión. Alta absorción de humedad.

Epóxico Multi-capa/ sistemas de poliolefin extruido.	Bajo requerimiento de corriente. Alta resistencia al desprendimiento catódico Excelente adhesión al acero Excelente resistencia a los hidrocarburos Alta resistencia al impacto y abrasión.	Aplicaciones limitados Exactos parámetros de aplicación Alto costo inicial Posible blindaje de la corriente de PC.

Tabla 3.1 Tipos de Revestimientos

1.3. PREPARACIÓN DE SUPERFICIE.

La apropiada preparación superficial es esencial si el recubrimiento se adhiere correctamente con el metal. Cada tipo de revestimiento tendrá un requerimiento de preparación superficial específica tal como sigue:

Para todos los revestimientos, al superficie debe estar limpia y seca

- Algunos revestimientos requieren de un primer en la superficie preparada previo a la aplicación del revestimiento.
- La aplicación del Primer debe ser hecho de acuerdo con las especificaciones del fabricante al igual que el secado, para tener la consistencia antes que el revestimiento sea aplicado

1.3.1. Aplicación

Los revestimientos pueden ser aplicados en frío o caliente. El campo más aplicado en cuanto a los revestimientos e el uso de los epóxicos líquidos, mangas termo contraíbles y varias clases de cinta. Todos los revestimientos deben ser aplicados en concordancia a las especificaciones y requerimientos del fabricante.

La mayor causa de las fallas en los recubrimientos de las tuberías es una inadecuada aplicación. Un material de buena calidad mal aplicada es de poco valor, y la calidad de la tubería revestida se da solamente como buena cuando es bien aplicada. Como ayuda en la evaluación de un personal aplicador de recubrimiento, los siguientes puntos deben ser considerados:

1. Experiencia.

   Los errores van disminuyendo de acuerdo a las investigaciones y pruebas durante el desarrollo de cada revestimiento, con la cooperación cercana entre el aplicador, fabricante del revestimiento, equipos del fabricante, y el diseñador. La transición desde el laboratorio hacia la línea de producción es usualmente una costosa experiencia, la cual no debe ser ignorada.

2. Reputación.

   Este es un valor agregado por buen desempeño. No solamente por la calidad del trabajo sino también por resolver problemas, ayudar a corregir errores para mejorar su reputación.

3. Confiabilidad.

Muchas variables afectan la aplicación de los recubrimientos. Una confiable fuerza de trabajo, buen mantenimiento de equipo y consistente calidad de ejecución, son prerrequisitos para un aplicador.

4. Conformidad con las especificaciones del fabricante.

   Los fabricantes establecen especificaciones mínimas para aplicación de los materiales.

5. equipos modernos automáticos.

   Gastos de capital en equipo automatizado de aplicación es una parte importante del éxito de los revestimientos plásticos. La eliminación del error humano a través de la automatización y controles continuos son un factor importante en el mejoramiento de los revestimientos de tuberías.

6. Control de calidad.

   La conformidad de las especificaciones debe ser revisada continuamente. El conocimiento por parte del aplicador de los procedimientos de calidad en materiales, aplicación, y acabado del producto es esencial en la selección de un aplicador.

1.4. PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN

1.4.1. Inspección inicial.

La preparación superficial debe ser inspeccionada para asegurar la el cumplimiento con las especificaciones. Las condiciones ambientales tales como temperatura, humedad y punto de rocío deben ser revisado de acuerdo a las especificaciones del fabricante o consultor. Esto asegura que la superficie está preparada y el revestimiento es aplicado en una atmósfera que contribuye a que tener un desempeño apropiado.

1.4.2. Inspecciones de Mantenimiento

El propósito de esta inspección es para determinar la condición del revestimiento para ver si se requiere algún re-acondicionamiento. Si una capa dañada es encontrada, puede ser necesario abrir esa sección para ver el tamaño del deterioro.

1.5. INSPECCION HOLIDAY DETECTOR

1.5.1. General

Los Holiday detector son instrumentos usados para encontrar vacíos en el revestido en una tubería u otra estructura. Estos instrumentos son fabricados en alto voltaje (8,000 a 30,000 V) y bajo voltaje (50 a 90 V). Los detector de bajo voltaje son usados solamente para espesores de películas (epóxico líquido) revestidos menores que 20 Mills (0.5 mm.) de espesor.

La aplicación del voltaje del holiday detector es entre el revestido y la tubería. Cuando un holiday (defecto en el revestimiento) es encontrado ocurre un corto circuito, una chispa ocurre y suena la alarma auditiva. Debido a la chispa los detectores holiday no deben ser usados en una atmósfera explosiva o inflamable. Porque el alto voltaje es a menudo complicado, las precauciones deben ser tomadas a fin de evitar un shock eléctrico.

Cuando los defectos son encontrados, deben ser marcados en la superficie de la estructura y luego ser reparados. Después de la reparación, la área del defecto debe ser inspeccionado eléctricamente otra vez para asegurar que la reparación es efectiva.

1.5.2. Operación del Holiday Detector

NACE International tiene dos Practicas Recomendadas que cubren las pruebas holiday. Siendo el RP0274 "High Voltage Electrical Inspection of Pipeline Coatings Prior to Installation" y el RP0188 "Discontinuity (Holiday) Testing of Protective Coatings." El RP0188 cubre ambos pruebas con alto voltaje y bajo. Ambos documentos cubren apropiadamente los procedimientos para ejecutar las pruebas holiday detector y una lista de voltajes apropiados para diferentes revestimientos.

Es importante que el detector y el voltaje correcto sean usados para la capa involucrada. La regla general es 100 a 125 voltios por mil (0.001 pulgadas o 0.025 mm.) de espesor de revestimiento. Si un voltaje demasiado bajo es usado, el holiday no puede ser encontrado.

También un alto voltaje puede dañar la capa. Los típicos voltajes de prueba para revestimientos comunes son como sigue:

Fusion Bonded Epoxy	**2,000 V**
Coal Tar Enamel	**12,000 V**
Extruded Polyolefin	**10,000 V**
Cintas	**10,000 V**

Una buena manera de determinar si el voltaje es suficiente es causar un holiday diminuto en la capa usando un punzón para hielo o punto de una hoja de cuchillo. Si el instrumento es ajustado apropiadamente, una chispa ocurrirá en el conocido holiday pero no ocurrir dónde la capa es del grosor correcto (es decir - no habrá ninguna quemadura completamente de la capa)

1.5.3. Inspección Holiday Detector en campo

Varios tipos de detectores Holiday son convenientes para el uso en campo en el emplazamiento de la tubería. Los más comunes son generalmente los operados con pilas y equipados de un cierto tipo de electrodo collarín alrededor de la tubería. Se arregla el electrodo de manera que pueda ser empujado o rodado a lo largo de la tubería por el operador, permitiendo que el electrodo barra todas las porciones de la superficie de capa.

El detector holiday debe funcionar estrictamente de acuerdo con las instrucciones del fabricante. El inspector de revestimiento debe ser entrenado correctamente y que esté el equipo correctamente. Algunos procedimientos prácticos de funcionamiento que se aplican a cualquier tipo de localizador Holiday incluyen lo siguiente.

- Utilizar solamente las baterías adecuadamente cargadas en modelos operado con pilas.

- Utilizar detectores que se fijan para funcionar en un voltaje conveniente para el revestimiento aplicad. Los revestimientos gruesos requieren un alto voltaje para detectar los defectos. Por otra parte, un voltaje demasiado alto puede deteriorar revestimientos de película fina tales como cintas u otros revestimientos plásticos finos.

- Verificar periódicamente que el detector esté funcionando correctamente. Esto puede ser hecha haciendo adrede un defecto en el revestimiento (tal como un agujero hecho con un cuchillo) y pasando el detector sobre el agujero. La falla al detectar el agujero indica la necesidad pronta de un ajuste correctivo. Durante trabajo de producción, la

verificación debe estar hecho por lo menos dos veces al día y en otras horas como el inspector puede sospechar degradación de las prestaciones.

- Mantener los electrodos de contacto limpios. Una acumulación de material de revestimiento en los electrodos puede interferir con la detección eficiente o aún disminuirla totalmente. Esta posibilidad es mayor en algunos materiales que otros. Donde encontrarlo será un factor, mantener los electrodos limpios del material de revestimiento aislante.

- Mantener una buena conexión a tierra. Para ser completo, el circuito del detector debe entrar en contacto con la tierra, con un cable de tierra que se arrastre por ejemplo. Este cable que se arrastra se deben comprobar los daños a diario (o siempre que se sospeche falla de operación del detector) y substituirlo o repararlo si está fallado. Cuando trabaje en secciones largas de línea, allí habrá generalmente suficiente conductancia entre la línea y la tierra para permitir una operación adecuada del detector.

1.5.4. Aislamiento Eléctrico

Los dispositivos de aislamiento eléctricos pueden ser usados para separar metales diferentes componentes anódicos y catódicos de una celda de corrosión. La inserción del material dieléctrico interrumpe la parte eléctrica de la celda de corrosión, aislando así el ánodo del cátodo.

1.5.5. Control Ambiental

En ambientes acuosos, varios productos químicos pueden ser introducidos al agua o el torrente de proceso para reducir su corrosividad al metal expuesto. Medidas similares son usadas en gasoductos que llevan gases corrosivos o líquidos

Ha habido poca puesta en práctica del control ambiental para instalaciones subterráneas, pero el éxito ha sido limitado. El uso eficaz del control ambiental está básicamente limitado a los líquidos en espacios limitados como las tuberías, las calderas, y los tanques.

1.5.6. Inhibidores

Los inhibidores son añadidos a líquidos cambiar las características del líquido o formar películas protectoras en la superficie del metal. Algunos inhibidores forman películas en sitios anódicos o catódicos a lo largo de la superficie del metal. Algunos, como aquellos usados en redes de agua potable, crean una película protectora sobre la superficie de metal.

Oxígeno, tiene un papel importante en la reacción de corrosión, puede ser controlado por la adición de secuestrante de oxígeno. Esto es especialmente importante en el tratamiento del agua de caldera.

1.5.7. Ajustes de pH

El pH del agua afecta su habilidad de precipitarse afuera de una escala protectora. El control de pH es usado para crear un agua que no será agresiva al metal del tubo y los biseles con los que hace contacto.

1.5.8. Mantenimiento de Control Ambiental

Los inhibidores y otro control ambiental deben ser aplicados en la dosis correcta y deben ser mantenidos apropiadamente. La prevención de corrosión depende de la prueba de concentración de químicos en el líquido, y pruebas regulares y controles químicos deben ser iniciados.

1.6. SELECCIÓN DE REVESTIMIENTO

Los siguientes factores típicos deben ser considerados cuando se selecciona un revestimiento para tubería

- Tipo de ambiente
- Accesibilidad a la tubería
- Temperatura de operación de la tubería.
- Temperatura ambiental durante el proceso de aplicación, almacenamiento, transporte, construcción e instalación
- Ubicación geográfica y física.
- Tipo de revestimiento en la tubería existente
- Manipuleo y almacenamiento
- Métodos de instalación
- Costos
- Requerimientos de preparación de la superficie.

Una buena práctica en los trabajos de control de corrosión modernos comprende el uso de Buenos revestimientos en combinación con la PC como las líneas principales de defensa. Tácticas suplementarias, tales como el uso de cuplas aislantes y control localizado ambiente, pueden ser usados para reforzar estos métodos básicos de control.

En la selección de un sistema de recubrimiento para determinado proyecto de tubería, uno de las más importantes características para el diseño es la estabilidad. Por esto entendemos una combinación de revestimientos que tendrán una alta Resistencia eléctrica después que la tubería fue instalada y el backfill estabilizado y perderá la resistencia eléctrica con el tiempo.

Estas características son importantes en cualquiera evento pero particularmente donde la PC es usada para suplir al revestimiento. Cuando se usa con revestimiento inestable, un sistema de PC es totalmente adecuado durante los primeros años en servicio de una tubería, pero no puede proveer total protección en revestimientos deteriorados (como se indica por una reducción en la eficiencia eléctrica del revestimiento), donde requerirá corriente adicional. Esto significa un sobre costo el cual será necesaria para las instalaciones de PC adicionales. El sobre costo del revestimiento más el concepto por la PC son adversamente afectado por el pobre desempeño de revestimiento.

En una revisión de 50 años de literatura de revestimiento en tuberías, los siguientes conceptos emergen:

- ✓ Selección del mejor revestimiento y adecuada aplicación son muy importantes.
- ✓ La PC debe complementar de protección al revestimiento para un 100%
- ✓ Las pruebas en campo son más confiables que las pruebas de laboratorio.
- ✓ Resultados de pruebas de adhesión no se asocian con las pruebas de desprendimiento catódico.
- ✓ Las pruebas de desprendimientos catódicos son las mejores pruebas para cuantificar el desempeño de un revestimiento.
- ✓ La corriente requerida para la PC es la mejor medida para medir el desempeño del revestimiento.
- ✓ Optimo espesor del revestimiento es importante

- ✓ La tensión superficial del terreno es el mayor problema.
- ✓ La resistencia al desprendimiento catódico y la tensión del terreno son requerimientos muy importantes de un revestimiento. Para un revestimiento de tubería que sea efectivo, debe tener estos criterios: adhesión, espesor adecuado, baja absorción/transferencia de humedad, resistencia química (especialmente álcalis desde la PC) y flexibilidad.
- ✓ La selección del mejor sistema es importante, pero la misma aplicación es la más importante consideración.

1.7. EFICIENCIA DE REVESTIMIENTOS COMO UN SIGNIFICADO DE CONTROL DE CORROSIÓN

Los primeros intentos en controlar la corrosión de gasoducto dependían del uso de materiales de recubrimiento y el razonamiento de que si el metal de gasoducto pudiera estar separado del contacto con la tierra circundante, ninguna corrosión podía ocurrir. Este concepto es completamente razonable y lógico. Además, una capa sería totalmente eficaz como un significado de parar la corrosión si el material del recubrimiento es:

a) Es un aislante eléctrico eficaz
b) Constituye una película inicialmente perfecta que se quedará cierto tiempo.
c) Mientras esto es posible con un poco del avanzado sistema multi capa, no podría ser práctico de un análisis de coste inicial.

Aunque los revestimientos solos no podrían ser la respuesta perfecta para el control de corrosión, son sumamente eficaces cuando se usan apropiadamente. La mayoría de los operadores planean protección por revestimiento y catódica (PC) para todos sus gasoductos. Una capa apropiadamente seleccionada y aplicada proveerá toda la protección necesaria sobre la mayor parte de la superficie de gasoducto a la que es aplicado. Sobre un gasoducto típico bien - recubierto esto debe ser mejor que 99 % y debe dar la protección total, al mismo tiempo que la PC. No es el propósito del capítulo hacer las recomendaciones específicas para materiales de capa ser usado.

NACE Standard RP0169- 96 Sección 5: Revestimientos, es una guía exhaustiva para revestimientos de tubería, y es lectura obligatoria para una mejor comprensión de su importancia. Este Standard pone en lista las siguientes características deseables:

1.7.1. *Efectivo Aislante eléctrico.* Porque la corrosión ocasionada por el terreno es un proceso electroquímico, un revestimiento de tubería tiene que parar el flujo de corriente aislando el tubo de su ambiente / electrolito. Para garantizar una resistencia eléctrica alta, el recubrimiento debe tener una alta resistencia dieléctrica.

1.7.2. *Barrera eficaz de humedad.* Contrario a la teoría de que la absorción del agua es buena porque incrementa la eficiencia de la PC, la transferencia de agua a través del revestimiento puede causar la formación de burbujas y colaborará en la corrosión, prohibiendo el aislamiento.

1.7.3. *Aplicabilidad.* La aplicación del revestimiento para la tubería debe ser posible por un método que no afectarán las propiedades del tubo adversamente y con un mínimo de defectos.

1.7.4. *La habilidad de resistir el desarrollo de holidays con el tiempo*. Después de que el revestimiento es enterrado, dos áreas que pueden destruir o degradarlas son la tensión del terreno y los contaminantes de tierra. La tensión del terreno, provocado en ciertos terrenos que están alternativamente mojados y secos, crean fuerzas que pueden causar finas áreas de holidays. Para minimizar este problema, uno debe

evaluar la resistencia al rasguño del revestimiento por la fuerza de tensión, la adherencia, y la cohesión. La resistencia de los revestimientos a los químicos, hidrocarburos, y las condiciones acidas o alcalinas debe ser conocida por evaluar su rendimiento en tierra contaminada.

1.7.5. *Buena adherencia para la superficie del tubo*. El revestimiento de tuberías requiere que la suficiente adherencia prevenga el ingreso del agua o emigración entre el revestimiento y la tubería, al mismo tiempo esta cohesión debe resistir el manipuleo y la tensión del terreno. La tensión de tierra es la causa principal de defectos en el recubrimiento de las tuberías. "Los efectos de tensión de tierra pueden ser visto sobre capas de PE flexibles con adhesivos elastómeros los cuales se caracterizan porque se arrugan. Sin embargo, otras clases de recubrimientos pueden fallar ampollamiento fusion-bonded epoxy - (FBE) o agrietamiento por fatiga Coal tar enamel (CTE) que son exacerbadas por movimientos de tierra: La resistencia a romperse debe ser combinado con una medición de la resistencia del material de respaldo (o chaqueta exterior) para la deformación y la fuerza de tensión. Las dos propiedades se combinan para condicionar la habilidad de un revestimiento de gasoducto de resistir el daño por el movimiento de tierra". La resistencia de tensión de tierra es medida por la resistencia de cizallamiento, no por fuerza de desprendimiento.

1.7.6. *Habilidad de resistir el manipuleo*, almacenamiento (Degradación UV), y la instalación. La habilidad de un revestimiento a soportar el daño está en función de las propiedades al impacto, abrasión, y flexibilidad. Los revestimientos de tuberías están sujetos a numerosos manejos entre la aplicación y relleno. Su habilidad de resistir esta fuerza varía considerablemente así estos factores tienen que ser evaluados para saber si cualquier medida preventiva especial debe ser usado. Los rayos ultravioleta pueden ser muy destructores para los recubrimientos de la tubería. La vida de almacenamiento puede variar de 6 meses a 5 años así que la resistencia a los rayos ultravioleta es una consideración muy importante.

1.7.7. *La habilidad de mantener substancialmente constante la resistividad eléctrica con el tiempo*. La resistencia eléctrica eficaz de una capa por el promedio de pie cuadrado depende:

- ✓ Resistividad del material de revestimiento
- ✓ Espesor del revestimiento
- ✓ Resistencia a la absorción de humedad
- ✓ Resistencia a la transferencia de vapor de agua.
- ✓ Frecuencia y tamaño de holidays
- ✓ Resistividad del electrolito
- ✓ Unión o adhesión del revestimiento

1.7.8. *Resistencia al desprendimiento (Disbonding).* Porque la mayoría de los gasoductos están catódicamente protegidos, el revestimiento debe ser compatible con la PC. La cantidad de PC requerida es directamente proporcional a la calidad y la integridad del recubrimiento. Los aspectos negativos de la PC son que podría impulsar el agua a través del revestimiento y que la interfaz de enlace rodee un holiday y podría tener una tendencia al desprendimiento (disbond). Ningún revestimiento es totalmente resistente al daño por PC. Cuando grandes cantidades de corriente son requeridas, las corrientes parasitas y problemas de interferencia podrían surgir. Esto enfatiza la importancia de la selección de capa correcta, la aplicación, y la instalación

1.7.9. *Facilidad de la reparación*. Porque el perfecto revestimiento de tubería no existe, podemos esperar hacer algunas reparaciones de campo tanto como cubrir el área de soldadura. Revisando la compatibilidad y siguiendo las recomendaciones del fabricante. Una reparación de campo nunca es tan buena como el recubrimiento original. La inspección debe ser continua.

1.7.10. *Interacción con ambientes No tóxicos.* Algunos materiales de recubrimiento han sido modificados, restringidos, o prohibidos debido a estándares ambientales y de salud. Los filtros de asbesto y primers con ciertos disolventes han requerido la sustitución de refuerzos de vidrio y modificación de disolventes; Los cambios en la fusión - polvos epóxicos (FBE) para eliminar Agentes cancerígenos también han sido necesitados por lo concerniente a la salud y ambiental. Ésta ha sido una influencia muy importante del cambio sobre los revestimientos de tuberías actualmente.

4. CAPITULO IV ESTRUCTURAS QUE PUEDEN SER PROTEGIDAS CATÓDICAMENTE

Muchas estructuras que están inmersas o embebidas en un electrolito pueden ser protegidas catódicamente. A continuación se dan unos ejemplos de estructuras donde la Protección Catódica es empleada:

- Acero, hierro, aluminio y tuberías cilíndricas de concreto pre tensado que se encuentre enterradas o sumergidas.
- Tanques y tuberías enterradas.
- Fondo exterior de tanques (ambos primarios y secundarios)
- Interior de tanques de agua.
- Cascos de buques.
- Muelles
- Cimientos de pilotes en tierra y en el agua
- Plataformas de puente y sub estructuras.
- Interior de almacenaje de agua caliente.
- Cajas de intercambiadores de calor de agua y cubiertas de tuberías.
- Superficies internas de intercambiadores de calor de petróleo.
- Acero reforzado en concreto.
- Fundas de acero o plomo en cables eléctricos y telefónicos.

***Nota preventiva*: es posible la sobreprotección de algunos materiales tales como cables pretensados, plomo y aluminio. Altas corrientes de PC pueden causar fragilización por hidrogeno en acero altamente tensionado y puede incrementar la corrosión de metales atmosféricos tales como el plomo y el aluminio**

4.1. SELECCIÓN DEL TIPO, TAMAÑO, Y ESPACIAMIENTO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA.

Algunas de las preguntas a resolver cuando se planifica un sistema de Protección catódica para tuberías son los siguientes:

a) ¿Cuál será la mejor elección el uso de ánodos galvánicos o un sistema por corriente impresa?
b) ¿Cuánta corriente será requerida para tener una PC adecuada?
c) ¿Qué espaciamiento debe haber entre instalaciones, y cuál debe ser la corriente de salida requerida?
d) ¿Qué previsiones deben hacerse para permitir probar la instalación completa?
e) Habrá condiciones especiales en ciertos lugares que requieran modificaciones en el plan general de la PC?

Estas preguntas no pueden ser respondidas usando solamente material cubierto con estos puntos. Se necesita información que influenciará la decisión incluyendo los siguientes ítems:

- La corrosividad del ambiente;
- La estructura del suelo y su resistividad;
- Si la tubería es desnuda o revestida;
- Si es revestida, la calidad y resistencia eléctrica del revestimiento y la presencia de condiciones ambientales que puedan causar el deterioro del revestido;
- El metal o aleación utilizada en la tubería;
- El tamaño de la tubería y su habilidad como conductor de la corriente de PC;

- La presencia de estructuras metálicas de otros lugares (usualmente el término usado es estructuras foráneas) que cruzan cerca o sobre la tubería a proteger;
- La presencia de corrientes parasitas cuyos origines son hechos por la mano del hombre o naturales

En esta lista se tiene una apreciable cantidad de información y datos que serán acumulados con respecto a la tubería a la que se planifica aplicar la PC. Una vez que información fidedigna es obtenida en detalles suficientes, las respuestas a las preguntas propuestas anteriormente pueden ser desarrolladas y el diseño de ingeniería puede ser preparado.

Existen dos métodos para proveer a una estructura de Protección Catódica:

- ***Sistemas de Ánodos Galvánicos.***
- ***Sistemas por Corriente Impresa.***
-

4.2. SISTEMAS DE ÁNODOS GALVÁNICOS

La PC Galvánica (o de sacrificio) hace uso práctico de la corrosión de metales disímiles. Es importante anotar que deben tener una substancial diferencia de potencial, o conducción de voltaje (driving Voltage), entre un ánodo galvánico y la estructura que será protegida. El ánodo galvánico es conectado a la estructura que es protegida, y puede ser monitoreada a través de una estación de prueba.

Un sistema típico de Protección Catódica Galvánica se muestra en la figura 4.1

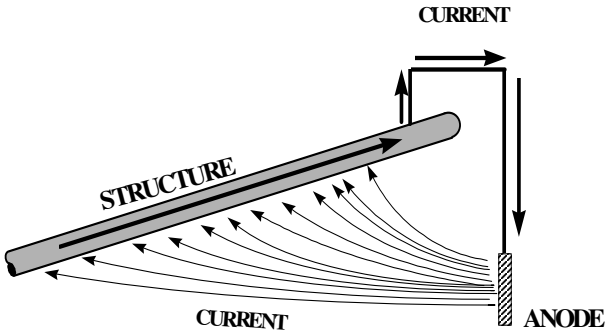


Figura 4.1 Protección Catódica por Ánodos de Sacrificio

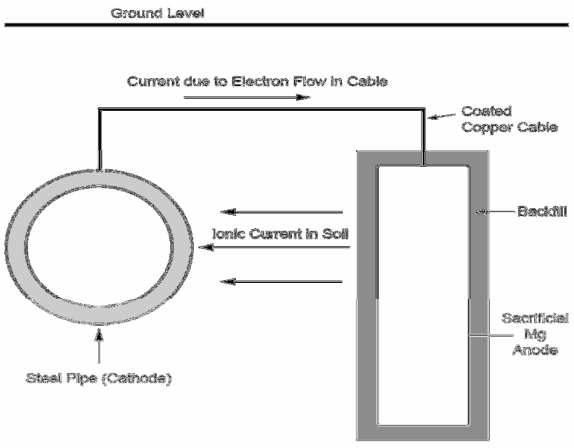


Figura 4.2 Principios De Protección Catódica Con Ánodos De Sacrificio

4.2.1. Ánodos utilizados en sistemas galvánicos

Existen varios metales usados comúnmente como ánodos galvánicos:

- Aluminio
- Magnesio
- Zinc.

4.2.2. Como trabajan los ánodos galvánicos

El uso de los ánodos galvánicos para la Protección Catódica (PC) es una simple aplicación de metales disímiles en una celda de corrosión, donde una tubería de acero es eléctricamente conectada a un metal más alto en la serie de fuerza electromotriz y ambos en un electrolito conductivo común tal como la tierra o suelo, el metal más activo es corroído y descarga corriente en el proceso. El Magnesio y Zinc son tales metales. Si la cantidad de corriente necesaria para la aplicación, es conocida, el sistema por ánodos puede ser diseñado usando suficiente material anódico para producir la corriente de salida deseada continuamente sobre tiempo determinado de años.

La naturaleza corrosiva del ambiente subterráneo puede causar auto corrosión de no resultar en producir la corriente de PC. El rango de gasto de metal en producir suficiente corriente de PC para el consumo total del metal es llamado "eficiencia del ánodo"

4.2.3. Características de ánodos de magnesio y zinc

EL Magnesio es el material más ampliamente usado como ánodos galvánicos, las características típicas se muestran en la tabla 4.1. Los ánodos de Magnesio se encuentran disponibles en varias formas y pesos según el fabricante, algunos de los tamaños disponibles, adecuados para el uso en tierra, son listados en la tabla 4.2

Los ánodos de zinc están disponibles para varios tamaños para el uso en camas de ánodos de tierra. Las características típicas de zinc usado como ánodo son dadas en el Figura 9.3. Éstos son formas delgadas largas para lograr baja resistencia en la tierra y en la práctica la corriente de salida disminuye la caída de voltaje entre ánodo y estructura protegida. Algunos tamaños de Standard comercial están disponibles como se muestran en la tabla 4.4. Los tamaños no usuales pueden ser obtenidos en pedidos especiales.

Empaques de ánodos de Magnesio y zinc (ánodo y backfill suministrado como una unidad completa lista para la instalación) son usuales con la mayoría de los proveedores

Tabla 4.1 Características De Los Ánodos De Magnesio[(1)]

Gravedad especifica	***1.94***
Libras / Ft3	***121***
Amp-Horas/ Libra teorico	***1000***
Libras / amp-año Teorico	***8.7***
Eficiencia de Corriente %	***50[(2)]***
Amp-Horas/ Libra Actual	***500[(2)]***
Libras / amp-año Actual	***17.4[(2)]***
Potencial – Volts CSE	
Standard H-1 Alloy	***-1.50 a -1.55[(3)]***
High Potencial Alloy	***-1.75 a -1.77[(4)]***
Potencial conducio a la Tubería	
Polarizada a -0.90 Volt CSE	
Standard Alloy – Volts	***0.55[(5)]***
High potencial Alloy - Volts	***0.80[(5)]***

(1) Ánodos instalados en relleno químico (backfill) apropiado.

(2) La eficiencia varía con la densidad de corriente. La eficiencia dada (que da como resultado por libra indicando libras verdaderas por amperio por año) está en pies cuadrados de superficie de ánodo. Las eficiencia son más altas en altas densidades de corriente curso más altas, más bajo en las densidad de corrientes más bajas.

(3) Aleaciones con composición nominal %6 Al, 3 Zn, 0.2 de Mn y balance con Mg

(4) Potenciales conducidos permiten la polarización de ánodo en el servicio de aproximadamente 0.10 V que reduce el potencial de solución en esta cantidad. Potenciales conducidos en voltios para el gasoducto polarizado a cualquier potencial específico (P).

La eficiencia de corriente varía con la densidad de corriente. La eficiencia dada (que resulta en Amp hr por libra y libras por Amp por año) está en aproximadamente 30 mili Amps por pie cuadrado de la superficie de ánodo. Las eficiencia son más altas en las densidad de corriente más altas, más bajo en las densidad en curso más bajas. Los Potenciales tienen en cuenta la polarización del ánodo en servicio de aproximadamente voltio que reduce la solución potencial por esta cantidad. Los voltios conducidos para el gasoducto se polarizan a cualquier potencial específico (P) en voltios = la solución que el potencial del tipo de magnesio usó menos 0.10 voltios menos P.

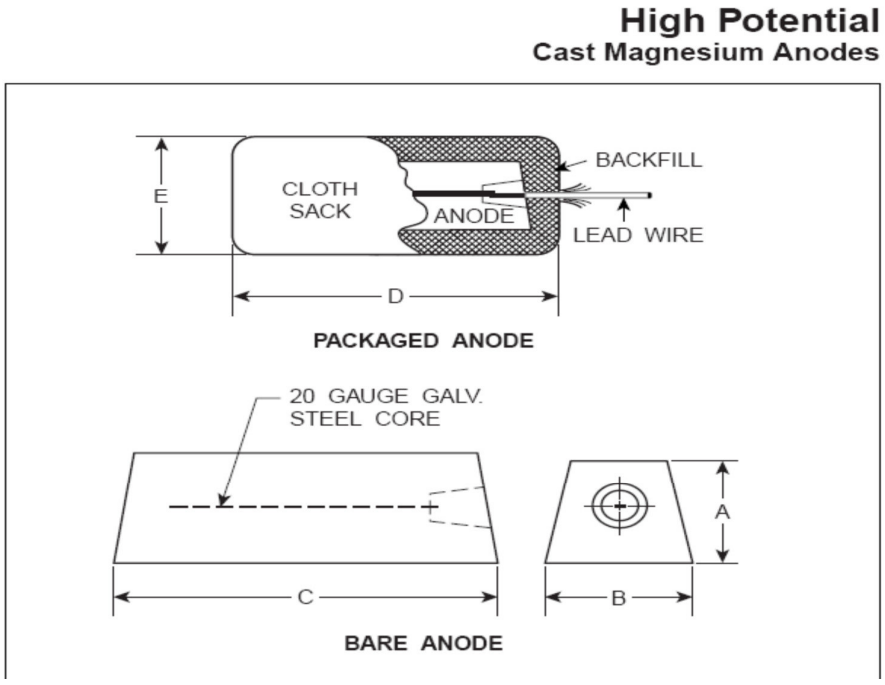
STANDARD H-1 ALLOY CHEMICAL COMPOSITION

	Weight Content %		
Element	Grade A	Grade B	Grade C
Al	5.3 - 6.7	5.3 - 6.7	5.0 - 7.0
Mn	0.15 min	0.15 min	0.15 min
Zn	2.5 - 3.5	2.5 - 3.5	2.0 - 4.0
Si	0.10 max	0.30 max	0.30 max
Cu	0.02 max	0.05 max	0.10 max
Ni	0.002 max	0.003 max	0.003 max
Fe	0.003 max	0.003 max	0.003 max
Other	0.30 max	0.30 max	0.30 max
Magnesium	Remainder	Remainder	Remainder

HIGH POTENTIAL ALLOY CHEMICAL COMPOSITION

Element	Weight Content %
Al	0.010
Mn	0.50 to 1.30
Cu	0.02 Max
Ni	0.001 Max
Fe	0.03 Max
Other	0.05 each or 0.3 Max Total
Magnesium	Remainder

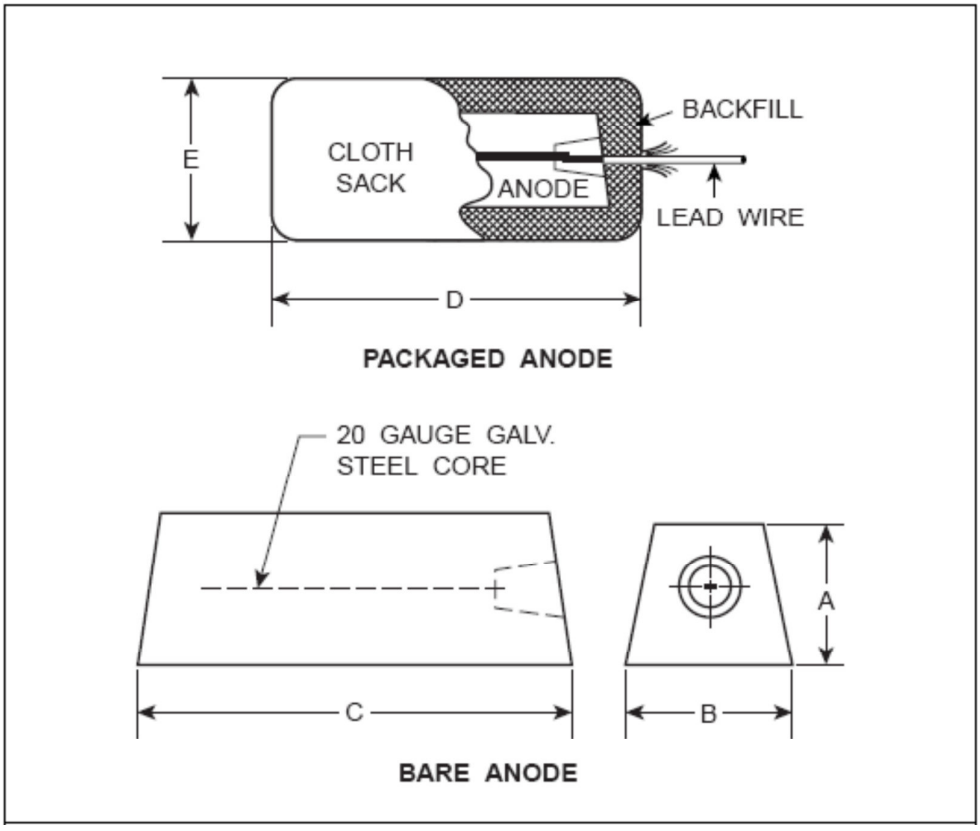
Tabla 4.2 Tipos de Ánodos de Magnesio (Corrpro Companie Inc.)



Standard Dimensions and Shipping Weights							
ANODE TYPE	NOMINAL DIMENSIONS in (mm)					NOMINAL WT. lbs (kg)	
	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	BARE	PKGD.
3 lb	3 (76)	3 (76)	4.5 (114)	6.5 (165)	6 (152)	3 (1.4)	9 (4.1)
5 lb	3 (76)	3 (76)	7.5 (191)	13.5 (343)	6 (152)	5 (2.3)	14 (6.4)
9 lb	2 (51)	2 (51)	27 (686)	31 (787)	5 (127)	9 (4.1)	36 (16.3)
9 lb	3 (76)	3 (76)	13.5 (343)	17 (432)	6 (152)	9 (4.1)	24 (10.9)
17 lb	2 (51)	2 (51)	51 (1295)	55 (1397)	5 (127)	17 (7.7)	61 (27.7)
17 lb	*3 (76)*	*3 (76)*	*25.5 (648)*	*30 (762)*	*6 (152)*	*17 (7.7)*	*42 (19.1)*
20 lb	2 (51)	2 (51)	60 (1524)	62.5 (1588)	5 (127)	20 (9.1)	70 (31.8)
32 lb	3 (76)	3 (76)	45 (1143)	61 (1549)	6 (152)	32 (14.5)	90 (40.8)
32 lb	5 (127)	5 (127)	21 (533)	30 (762)	8 (203)	32 (14.5)	70 (31.8)
40 lb	3 (76)	3 (76)	60 (1524)	64 (1626)	6 (152)	40 (18.1)	105 (47.6)
48 lb	5 (127)	5 (127)	31 (787)	34 (864)	8 (203)	48 (21.8)	96 (43.6)
60 lb	4 (102)	4 (102)	60 (1524)	64 (1626)	6.75 (171)	60 (27.2)	130 (59.0)

Tabla 4.2 Continuación

H-1 Alloy
Cast Magnesium Anodes



Standard Dimensions and Shipping Weights							
ANODE TYPE	NOMINAL DIMENSIONS in (mm)					NOMINAL WT. lbs (kg)	
	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	BARE	PKGD.
1 lb	2.9 (74)	–	3 (76)	6 (152)	6 (152)	1 (0.45)	3.5 (1.6)
3 lb	3 (76)	3 (76)	4.5 (114)	6.5 (165)	6 (152)	3 (1.4)	9 (4.1)
5 lb	3 (76)	3 (76)	7.5 (191)	13.5 (343)	6 (152)	5 (2.3)	14 (6.4)
9 lb	3 (76)	3 (76)	13.5 (343)	17 (432)	6 (152)	9 (4.1)	24 (10.9)
17 lb	*4 (102)*	*4 (102)*	*17 (432)*	*19 (483)*	*6.5 (165)*	*17 (7.7)*	*42 (19.1)*
32 lb	5 (127)	5 (127)	21 (533)	30 (762)	8 (203)	32 (14.5)	70 (31.8)
50 lb	8 (203)	–	15 (381)	18 (457)	10 (254)	50 (22.7)	110 (49.9)

Specific Gravity	7
Pounds per Cubic Foot	440
Theoretical Amp Hours per Pound	372(2)
Theoretical Pounds per Amp per Year	23.5
Current Efficiency - Percent	90(3)
Actual Amp Hours per Pound	335
Actual Pounds per Amp per Year	26
Solution Potential - Volts to CSE	–1.1
Driving Potential to Pipeline	
Polarized to –0.90 Volt to $CuSO_4$	0.2(4)

Tabla 4.3 Características de los Ánodos de Zinc.

1) Ánodos instalados en relleno químico (backfill) apropiado.

2) zinc usado para ánodos enterrados será de alta pureza de zinc tal como " Special High Grade" la clasificación en el cual al menos 99.99 % es Zinc puro

3) Salidas en términos de miliamperios por pie cuadrado de superficie del ánodo. El ánodo de Zinc alta pureza con un conservador 90 %de eficiencia.

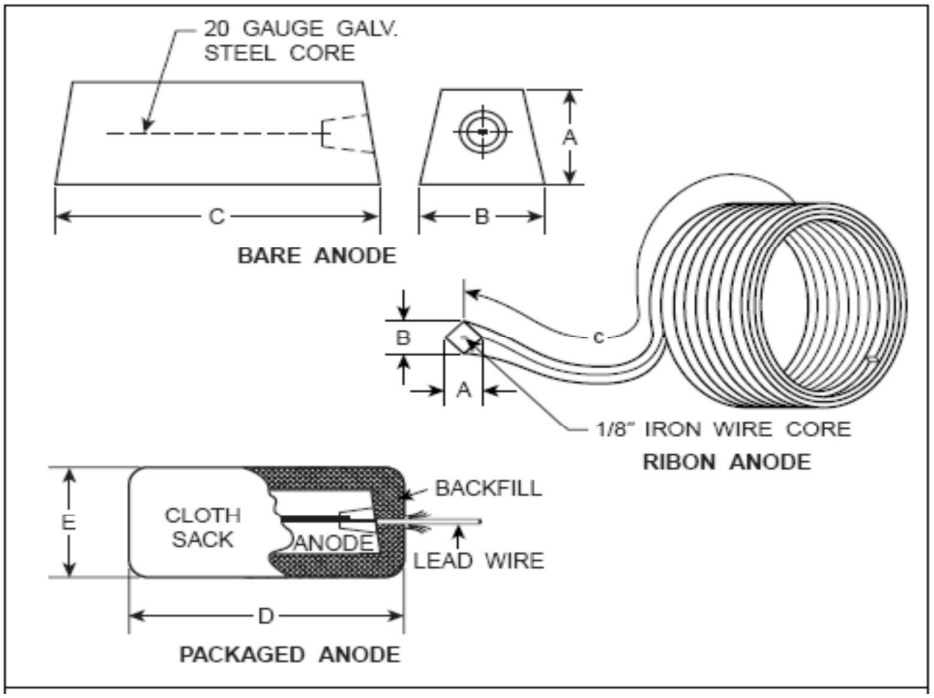
4) El Zinc no está sujeto al backfill. El potencial conducido es zinc en potencial de solución protegiendo la estructura.

COMPOSICION QUIMICA

Element	Weight Content %	
	MIL-A-18001 (ASTM B-418 Type I)	ASTM B-418 Type II
Al	0.1 - 0.5	0.005 max
Cd	0.02 - 0.07	0.003 max
Fe	0.005 max	0.0014 max
Pb	0.006 max	0.003 max
Cu	0.005 max	0.002 max
Zinc	Remainder	Remainder

La eficiencia de corriente de zinc es razonablemente constante desde bajos niveles a muy altas salidas de corriente en términos de miliamperios por pies cuadrados de superficie de ánodo. Este es aplicable cuando el zinc de alta pureza es usado. El 90 % de eficiencia es conservadora. Zinc no está sujeto a una importante polarización anódica cuando se usa un backfill apropiado. El potencial conducido es potencial de solución de zinc menos el potencial de polarización de la estructura protegida.

Soil and Ribbon
Cast and Extruded Zinc Anodes



Standard Dimensions and Shipping Weights

ANODE TYPE	NOMINAL DIMENSIONS in (mm)					NOMINAL WT. lbs (kgs)	
	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	BARE	PKGD.
SOIL PACKAGED ANODES							
5 lb	1.4 (35.5)	1.4 (35.5)	9 (228.6)	15 (381)	5 (127)	5 (2.3)	24 (10.8)
12 lb	*1.4 (35.5)*	*1.4 (35.5)*	*24 (609.6)*	*30 (762)*	*5 (127)*	*12 (5.4)*	*48 (21.7)*
18 lb	1.4 (35.5)	1.4 (35.5)	36 (914.4)	42 (1066.8)	5 (127)	18 (8.1)	70 (31.7)
30 lb	1.4 (35.5)	1.4 (35.5)	60 (1524)	66 (1676.4)	5 (127)	30 (13.6)	95 (43.0)
30 lb	2 (50.8)	2 (50.8)	30 (762)	36 (914.4)	5 (127)	30 (13.6)	70 (31.7)
45 lb	2 (50.8)	2 (50.8)	45 (1143)	51 (1295.4)	5 (127)	45 (20.4)	110 (49.9)
60 lb	2 (50.8)	2 (50.8)	60 (1524)	66 (1676.4)	5 (127)	60 (27.2)	130 (58.9)

ANODE TYPE	NOMINAL DIMENSIONS			BARE WT. lbs/lineal ft (kg/lineal M)
	"A" in (mm)	"B" in (mm)	"C" ft/RO (M/RO)	
RIBBON EXTRUDED ANODES				
Super	1 (25.4)	1-1/4 (31.7)	100 (30.4)	2.4 (1.09)
Plus	5/8 (15.8)	7/8 (22.2)	200 (60.9)	1.2 (0.54)
Standard	1/2 (12.7)	9/16 (14.2)	500 (152.4)	0.6 (0.27)
Small	11/32 (8.7)	15/32 (11.9)	1,000 (304.7)	0.25 (0.11)

* *The Standard anode model is also available in 1000 and 3600 foot rolls.*

Tabla 4.4 Tipos de Ánodos de Zinc

4.2.4. Aplicaciones de sistemas de ánodos galvánicos

Los siguientes están entre las condiciones donde los ánodos galvánicos son usados:

a) Cuando una cantidad relativamente pequeña de corriente es requerida.

b) Generalmente restringido a electrólitos de baja resistividad

c) Para la protección catódica local que suministra corriente a un área específica sobre una estructura. Algunos operadores instalan ánodos galvanices en cada ubicación donde una fuga es reparada preferentemente se instala un sistema de protección de catódica completo. Tales prácticas pueden ser encontradas sobre metal desnudo o sistemas muy mal cubiertos donde la protección de catódica completa no podría ser viable debido al costo.

d) Cuando la corriente adicional es necesitada en áreas problemáticas. Algunas estructuras con sistemas de protección catódica con corriente impresa en conjunto podrían haber aislado puntos donde la corriente adicional es necesitada cantidades relativamente pequeñas. Estos requisitos pueden ser cubierto con ánodos galvánicos. Típica aplicaciones incluyen:

   i. Mal o parcialmente instalaciones revestidas de válvula enterradas

   ii. Posibles cortos circuitos que no son limpiados

   iii. Secciones aisladas donde la capa ha estado gravemente dañada

   iv. Áreas donde protecciones eléctricas afectan la distribución en curso eficaz de sistemas de corriente impresa

e) En casos de interferencia catódica, si las condiciones son apropiadas los ánodos galvánicos pueden ser usados en el punto de descarga sobre la línea foránea para retornar la interferencia de corriente.

f) Para suministrar protección a estructuras ubicadas cerca de muchas otras estructuras metálicas subterráneas donde las condiciones hacen difícil la instalación de sistemas con corriente impresa sin causar problemas de interferencia por corrientes parasitas.

Los ánodos galvanices pueden ser una elección económica para una fuente de protección catódica bajo tales condiciones

g) Los ánodos galvánicos encuentran uso extenso en proteger la superficie de interior de cajas de agua de intercambiador de calor y otras tipos. Son usados también dentro de los calentadores de tratamiento de, dependiendo de la calidad del recubrimiento interior y el fluido química temperatura.

h) Sobre estructuras cerca de la costa, ánodos galvanices de gran tamaños pueden ser usados proteger los componentes submarinos.

4.2.5. Ventajas De Los Ánodos Galvánicos

a) No requiere una fuente externa de energía.

b) Requiere bajo mantenimiento.

c) Corrientes pequeñas de salida resultan en poca o ninguna interferencia por corriente parasita (stray current interferente).

d) Fácil de instalar.

e) Fácil de aumentar ánodos en la mayoría de los casos

f) Provee de una distribución uniforme de corriente.

g) Mínimos costos de derecho de vía / servidumbre.

4.2.6. Limitaciones De Los Ánodos Galvánicos

a) Baja voltaje conducido y corriente de salida.

b) Muchos ánodos pueden ser requeridos para estructuras pobremente revestidas.

c) Puede no ser efectivo en ambientes de alta resistividad:

d) Alto costo por unidad de amperio comparado con la corriente impresa debido a la baja eficiencia (auto consume).

e) Puede ser muy difícil o costoso reemplazar ánodos gastados.

4.2.7. Componentes De Sistemas Galvánicos

4.2.7.1. Ánodos

4.2.7.1.1. Magnesio

Los ánodos de magnesio están disponibles en dos aleaciones: una aleación de alto potencial que tiene un potencial de corrosión nominal de - 1.75 V (CSE) y uno de aleación de bajo potencial tienen un potencial de corrosión nominal -1.55 V (CSE) una medalla de cobre - cobre sólo de nombre. El magnesio es normalmente usado en suelos y agua fresca.

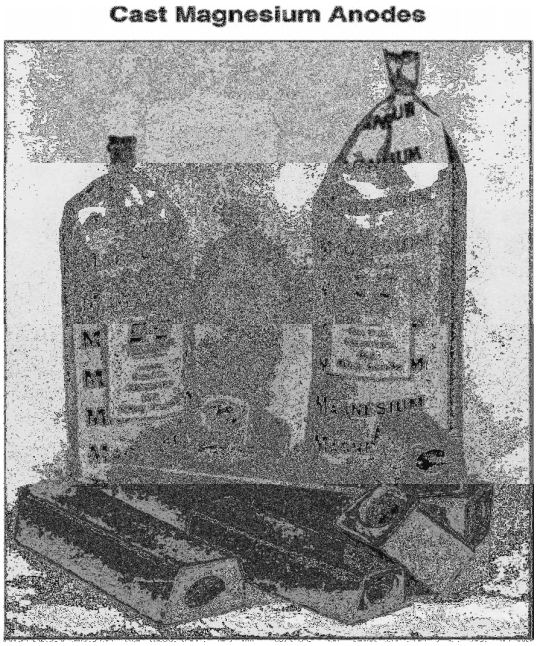


Figura 4.3 Ánodo Típico de Magnesio (Corrpro Companies Inc.)

4.2.7.1.2. Zinc

Los ánodos de Zinc están comercialmente disponibles en dos aleaciones, uno para el uso en tierra y lo demás para aplicaciones en agua de mar. El Zinc podría pasar por una rápida corrosión ínter granular en las temperaturas encima de 49°C (120 °F). En temperaturas encima de 54 °C (130°C) y particularmente en presencia de carbonatos, el zinc puede pasivarse y el potencial de la película pasiva puede ponerse más noble que el acero, resultando en la corrosión del acero.

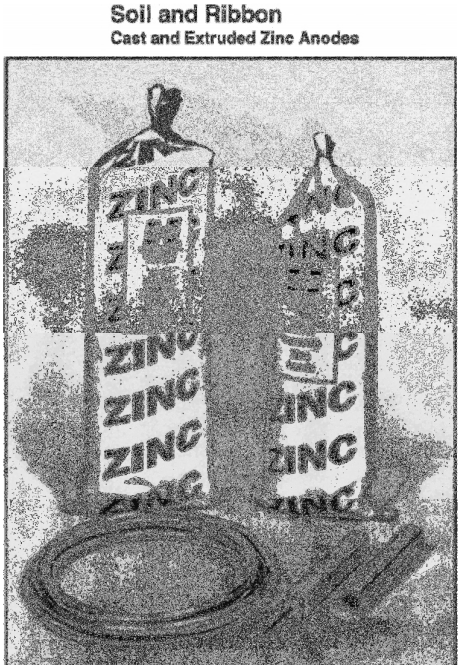


Figura 4.4 Ánodos Típicos De Zinc (Corrpro Companies Inc.)

4.2.7.1.3. Aluminio

Los ánodos de aleación de aluminio son usados principalmente en aplicaciones de agua de mar y son producidos en una variedad de aleaciones, donde el mercurio y las aleaciones de Indio son los más comunes.

La aleación de Indio tiene un potencial de corrosión ligeramente más alto pero es menos eficiente que el de aleaciones que contienen mercurio. El aluminio es preferido para aplicaciones de agua de mar porque tiene uno promedio de consumo mucho más bajo que el Magnesio o Zinc.

Ánodos de aluminio no son usados en el agua fresca, excepto como ánodos de corriente impresionados. No se usan enterrados.

Una aleación de aluminio - zinc e Indio es usada como un ánodo de sacrificio sobre las estructuras de concreto reforzado.

Los ánodos de aluminio son usados comúnmente en contenedores de proceso que contienen salmuera. En temperaturas encima de 49°C (120°F), sin embargo, la corriente de salida podría ser reducida.

4.3. EFICIENCIA DE LOS ÁNODOS GALVANICOS

La eficiencia de un ánodo galvánico depende de la aleación del ánodo y el ambiente en el que está instalado. El consumo de cualquier metal es directamente proporcional a la cantidad de la corriente descargada en su superficie. Para ánodos galvánicos, parte de esta corriente descargada es debido a la corriente de protección de catódica proveída a la estructura y parte es causada por la corrosión local de las celdas en la superficie. La eficiencia de ánodo es la proporción de metal consumido que causa la corriente de protección catódica para el total de metal consumido. Para magnesio, la eficiencia de ánodo es en general aproximadamente 50 %.

4.3.1. Requerimientos de Ánodos

El material de ánodo debe proveer cierto voltaje (driving voltaje) para generar la corriente suficiente para proteger una estructura. El voltaje conducido es definido como la diferencia entre el voltaje operativo del ánodo y el potencial de la estructura polarizada que está protegida. Un requisito fundamental para el ánodo es que debe tener un potencial operativo estable sobre a rango de productos en curso. Esto quiere decir que el potencial operativo debe estar tendido muy cerca del potencial de corrosión libre y que el potencial de corrosión remanente sea esencialmente inmune al flujo de corriente.

Con tales características, se dice que los sistemas de ánodo de sacrificio son auto regulables en términos de potencial. Además, durante su vida, un ánodo debe tener una alta capacidad de dar corriente eléctrica por unidad de masa del material consumido constantemente. La capacidad es definida como la carga total (en coulomb) entregado por la disolución de unidad de masa del material del ánodo.

La capacidad teórica puede ser determinada por la ley de Faraday, y la eficiencia del ánodo puede ser obtenida en la práctica:

$$Eficiencia = \frac{Capacidad\ Actual}{Capacidad\ teorica}\ x\ 100\%$$

Idealmente un ánodo se corroerá uniformemente y se acercará a su eficiencia teórica. La Pasivación de un ánodo es obviamente no deseada. La facilidad de la fabricación en grandes cantidades y propiedades mecánicas adecuadas son también importantes.

4.4. Especificaciones De Sistemas De Ánodos Galvánicos

4.4.1. Tamaño y Forma.

Los ánodos galvánicos vienen en una variedad de tamaños y formas. Para aluminio en aplicaciones de agua de mar los ánodos son dimensionados al tamaño adecuado al tamaño de la estructura. Los restos de estos ánodos están equipados con las lengüetas soldadas para la conexión eléctrica a la estructura.

En ambientes de tierra, la forma y el tamaño del ánodo dependen más sobre la resistividad del suelo, requerimiento de corriente, y otras condiciones sobre el tamaño de la estructura. Estos ánodos están equipados para un cable aislado para la conexión eléctrica. El espaciado entre el ánodo y la estructura es controlado por el operador. Otro componente requerido para un ánodo de aplicación en tierra es un relleno químico (Backfill).

4.4.2. Backfill

El relleno químico (Backfill) usado para ánodos galvánicos contienen:

75 % de yeso (CaSO4)

20 % bentonita,

5 % de sulfato de sodio.

El backfill rodea los ánodos de magnesio y de zinc y provee un ambiente uniforme que reduce el consumo del ánodo. La composición química del backfill es tal que aumenta la eficiencia de función del ánodo porque el backfill reduce la polarización del ánodo. También, se dilata al humedecerse, comprimiendo el suelo circundante y así reduce la resistencia del ánodo a la tierra.

Los ánodos galvánicos pueden ser pedido desnudos o pre empacados con un Backfill especial. Si los ánodos no se pre embalan con un backfill especial, la instalación del campo del ánodo requerirá mezclar el backfill en el sitio y ponerlo alrededor del ánodo. Para una operación confiable en instalaciones de tierra, los ánodos del Zinc y Magnesio se utilizan con un relleno de backfill rodeando el ánodo totalmente. Hay varias razones para usar el químico backfill. Los datos típicos sobre el químico backfill se demuestran en la tabla 4.5.

YESO ($CaSO_4$)%					
	Hidratado	Yeso de moldeado (Yeso Blanco)	Bentonita Arcilla %	Sulfato de sodio %	Resistividad aproximada en ohm-cm
(A)	50	---	50	-	250
(B)	75	---	20	5	50

Tabla 4.5 Datos de Backfill para Ánodos de Magnesio y Zinc

1. Mezcla de Backfill (A) comúnmente usado con ánodos de Zinc
2. Mezcal de Backfill (B), con baja resistividad, es usado en áreas de suelos con alta resistividad para reducir la resistencia del ánodo a la tierra

Con el ánodo rodeado con un material uniforme de composición conocida, la corriente del ánodo es más eficiente. Si el suelo entra en contacto con el ánodo directamente, las

variaciones en la composición del suelo pueden generar la corrosión local en el ánodo dando por resultado el consumo no uniforme del ánodo.

Aislando el material del ánodo del suelo nativo, el backfill reduce en gran cantidad la posibilidad de efecto adverso sobre el funcionamiento del ánodo. En presencia de fosfatos, de carbonatos y bicarbonatos, los ánodos de Zinc pueden desarrollar películas pasivas y cesar de producir cantidades útiles de corriente. Los carbonatos y los bicarbonatos influyen en el magnesio de la misma manera. Los cloruros tienden a incrementar la auto-corrosión del magnesio y para reducir su eficiencia actual.

El backfill químico puede ser provechoso en absorber la humedad del suelo y mantener húmedo el ambiente que lo rodea, además es de baja resistividad y cuando los ánodos están instalados en suelos que tienen una resistencia más alta que la del backfill, la columna del backfill tiene el efecto de aumentar el tamaño del ánodo. Este resultado en una resistencia más baja a la tierra alejada que cuando el ánodo desnudo fuera enterrado directamente en el suelo.

4.5. Accesorios a Las Estructuras

Los ánodos galvánicos se deben unir directamente a la estructura a través de un conductor metálico. Esto es alcanzada por uno de los métodos siguientes:

- Usando alambre de cobre aislado proporcionado por el fabricante y el terminales soldados o unidos de otra manera a la estructura.

- Según lo arriba descrito se instala una caja de prueba entre el ánodo y la estructura. La caja de prueba puede contener un resistor para el control del flujo de corriente o una “shunt” para medir la corriente de salida.

4.6. Materiales y desempeño de ánodos.

4.6.1. Características

Para aplicaciones de PC en tierra, los ánodos basados en Zinc o magnesio son los más importantes. Loa ánodos de Zinc a usarse enterrados, son aleaciones de alta pureza, según lo especifica ASTM B418-95A. Solamente el tipo de ánodos II en este estándar es aplicable a los usos enterrados.

Las aleaciones del magnesio son también grados de alta pureza y tienen la ventaja de conducir más alto voltaje. El bajo voltaje que conducen los electrodos de Zinc lo hacen inadecuados para las condiciones altamente resistentes del suelo.

La guía R892-91 del “Steel Tank Institute” tienen los siguientes voltajes, asumiendo un potencial de estructura de -850 mV CSE: Los ánodos de magnesio tienen generalmente más bajo rendimiento en un 50 por ciento o menos. La capacidad teórica es alrededor 2200 Ah/kg. Para ánodos de Zinc, la capacidad teórica basada en la masa es relativamente bajo 780 Ah/Kg., pero las eficiencias son más altas en aproximadamente 90 por ciento.

Los ánodos para uso industrial generalmente se empaquetan convenientemente en bolsos pre llenado con backfill. Este material es importante porque se diseña para mantener baja resistividad (una vez hidratada) y a estabilizar el potencial del ánodo y también reducir al mínimo la corrosión localizada en el ánodo. La corriente de salida de un ánodo se puede estimar por la ecuación de Dwight (aplicables en ánodos relativamente largos y extensamente espaciados) como sigue:

Magnesio de Alto Potencial: -0.95V

Zinc de Alta Pureza -0.25V

La expectativa de vida de un ánodo es inversamente proporcional a la corriente fluida y puede ser estimada por la expresión siguiente:

$$Tiempo\ de\ Vida = \frac{KUeW}{i}$$

Donde el tiempo de vida	= Vida de anodo (años)
K	= Factor de consumo de ánodo (0.093 en Zn; 0.253 en Mg)
U	= Factor de utilización, es la cantidad de ánodo que se puede consumir antes de volverse inefectivo (típicamente 0.85)
W	Masa del ánodo (Kg)
e	Eficiencia del ánodo (0.9 para Zn y 0.5 para Mg)
i	Corriente de salida (A)

4.7. Cálculo de la Vida del Ánodo

Si la salida actual de un ánodo galvánico de cualquier peso dado se sabe, su vida útil aproximada puede ser calculada. Este cálculo se basa en el amperio hora teórico por la libra del material del ánodo, de su eficiencia actual, y de un factor de la utilización. El factor de la utilización se puede tomar como 85% que significa eso cuando el ánodo es el 85% consumido, él requerirá el reemplazo porque hay restante material del ánodo escaso para mantener un porcentaje razonable de su salida actual original. Para el magnesio, la vida del ánodo puede ser determinado por la expresión siguiente (factor de la eficiencia y de la utilización expresado como decimales).

4.7.1. Calculando la Vida del Ánodo

Si la corriente de salida de un ánodo galvánico de cualquiera que tenga peso conocido, su uso aproximado puede ser calculada. Este cálculo está basado en teórico Amp-hr por libra del material del ánodo, su eficiencia de corriente y un factor de utilización., el factor de utilización puede tomarse como 85%, significando que cuando el ánodo se consuma en 85%, requerirá reemplazarlo para mantener un razonable porcentaje de su corriente de salida original.

Para el Magnesio, la vida del ánodo puede ser determinada por la siguiente expresión (factores de eficiencia y utilización expresadas en decimales)

Ánodo de Magnesio

$$Vida\ (años) = \frac{0.116\ x\ Peso\ de\ Anodo(Libras) x\ Eficiencia\ \ x\ \ factor\ de\ Utilizacion}{Corriente\ de\ diseño\ (Amperios)}$$

Para ánodos de Zinc, la vida del ánodo puede ser determinada de manera similar por la siguiente expresión:

Ánodo de Zinc

$$Vida\ (años) = \frac{0.0424\ x\ Peso\ de\ Anodo(Libras) x\ Eficiencia\ \ x\ \ factor\ de\ Utilizacion}{Corriente\ de\ diseño\ (Amperios)}$$

Como ejemplo, asumimos que un ánodo de magnesio de produce 0.1 A al 50% de eficiencia y que un ánodo de Zinc de 30 lb. produce 0.1 A al 90% de eficiencia. Compare las expectativas operacionales de vida con el 0.1 A de salida:

$$Vida\ Anodo\ de\ Mn\ (años) = \frac{0.116\ x\ 32\ x\ 0.50\ \ x\ 0.85}{0.1} = 15.8\ años$$

$$Vida\ Anodo\ de\ Zn\ (años) = \frac{0.0424\ x\ 30\ x\ 0.90\ \ x\ 0.85}{0.1} = 9.7\ años$$

Estos cálculos reflejan la diferencia en las características teóricas ampere hrs. por libra de los dos materiales. Aunque los costos de los ánodos pueden fluctúa con el Mercado de metales, el zinc es de menor costo que el Magnesio.

4.7.2. Instalación Y Diseños De Sistemas.

El diseño de los sistemas del PC yace en el dominio de especialistas experimentados. Solamente los pasos básicos implicados en diseñar un sistema de ánodos de sacrificio se esquematizan. Antes de cualquier trabajo de diseño detallado un número de factores fundamentales tales como los criterios de la protección, el tipo y la integridad del sistema de revestimiento, el riesgo de la corrosión actual perdida, y la presencia de las estructuras vecinas que se podrían afectar por el sistema de PC tienen que ser definidos.

4.7.2.1. Estructuras enterradas.

Para las estructuras enterradas, tal como tuberías, el primer paso en el detalle del diseño es generalmente determinar la resistividad del suelo (o del electrolito). Esta variable es esencial para determinar la corriente de salida de los ánodos y es también una medida general de la corrosividad ambiental. La resistividad esencialmente representa la resistencia eléctrica de un cubo estandarizado de material.

Ciertos dispositivos de medición confían así en medir la resistencia de una muestra del suelo colocada en una caja o un tubo estándar. Una manera común de hacer la medida in situ está el llamado método de Wenner el de los cuatro pernos. En este método, cuatro pernos equidistantes se conducen en la tierra a lo largo de una línea recta. La resistividad se deriva de una corriente inducida entre el perno externo par y la diferencia potencial establecida entre el par interno. Un tipo adicional de medida de resistividad se basa en métodos inductivos electromagnéticos usando un transmisor y bobinas de recolección.

El segundo paso de diseño trata de dirección de continuidad eléctrica y el uso de bridas aislantes. Estos parámetros esencialmente definirán el área estructural de la influencia del sistema de PC. Para asegurar la protección sobre diversas secciones estructurales que se unen mecánicamente, se requieren uniones eléctricas. En estructuras complejas, las bridas aisladas pueden restringir la extensión de la influencia de la PC.

En el tercer paso la corriente total requerida será estimada. Para los sistemas existentes, la corriente que tiene que ser aplicada para alcanzar cierta potencial que puede ser medido, pero esto no es posibles para nuevos sistemas. Para el último caso, los requerimientos de corriente tienen que ser determinados basados en la experiencia, con dos variables importantes variables: Primero, el tipo de ambiente tiene que ser considerado para especificar un nivel adecuado de la densidad corriente. Por ejemplo, un suelo contaminado con las bacterias sulfato-reductoras activas, conduciendo a los efectos microbianos de la corrosión, requiere típicamente una densidad corriente más alta para la protección.

La segunda variable importante es el área superficial que requiere la protección. Las totales cantidades de corriente requerida obviamente disminuyen con el aumento de la calidad del revestimiento. Las estructuras revestidas en Campo tienen generalmente más altas necesidad de corriente comparado con las estructuras revestidas en fábrica.

El área efectiva expuesta de las estructuras revestidas usadas para propósitos de diseño, debe tomar la deterioración del revestimiento en consideración con el tiempo. Siguiendo lo anterior, un ánodo de material conveniente se puede seleccionar, junto con el número de ánodos y el tamaño del ánodo para una combinación conveniente de la salida de corriente y de vida del ánodo. El espaciamiento del ánodo también tiene que ser establecido para obtener una distribución de corriente conveniente sobre la estructura entera. La disposición también tiene que ser hecha para las estaciones de prueba para facilitar la supervisión de funcionamiento básico del sistema de PC. Hay dos tipos básicos de estación de la prueba. Un tipo es una conexión a la tubería por medio de un alambre principal aislado que continua hasta la superficie. Tal conexión es útil para supervisar el potencial de la tubería concerniente a un electrodo de la referencia. El electrodo de referencia puede ser una instalación permanente.

El segundo tipo proporciona el acceso superficial a la conexión ánodo-estructura. La corriente que fluye del ánodo a la estructura se puede de tal modo monitoreada convenientemente en la superficie. En centros urbanos las estaciones de la prueba se insertan generalmente en la tierra con sus cubiertas a ras del pavimento.

En áreas rurales las estaciones de prueba de las áreas tienden a estar sobre tierra bajo la forma de postes de prueba. (Fig. 4.5). Es importante registrar la localización de cada estación de prueba. En áreas urbanas un sistema de localización basado en el nombre de las calles y la posición relativa con el límite de vivienda son comúnmente usados. Localizaciones relacionadas a límites de propiedad, hito, señales, linderos pueden ser utilizadas en situaciones rurales. Una opción más reciente es la del Sistema de posicionamiento global “Global Positioning System” (GPS) para encontrar estaciones de prueba en el campo. Las coordenadas GPS tienen que ser registrados, antes de posicionar el GPS las unidades a utilizar para localizar estaciones de la prueba. Portátiles y costeables los sistemas GPS son fácilmente disponibles ahora para localizar estaciones de prueba rurales con exactitud razonable. Los procedimientos de instalación son un requisito dominante para asegurar el funcionamiento adecuado de los sistemas de ánodos de sacrificio de PC



Figura 4.5 Estaciones De Prueba Usado En Áreas Rurales

Después del diseño y la instalación, el sistema está esencialmente auto regulado. Aunque los principios de funcionamiento son relativamente simples, la atención a los detalles son requeridos, por ejemplo, para establecer el cable para las conexiones a la estructura. El R892-91 Guidelines of the Steel Tank Institute acentúa la importancia de una información de

instalación eso se debe poner a disposición el instalador del sistema. El siguiente son los elementos de información dominantes:

- Un Plano del sitio dibujado a escala, identificando el tamaño, cantidad, y localización de los ánodos, localización y tipos de estaciones de la prueba, disposición de la tubería y cimientos
- Especificaciones Detalladas de los materiales relacionadas con los ánodos, estaciones de prueba, y revestimientos, incluyendo los materiales para aplicación de revestimiento en campo
- Sitio-específicos, instrucciones de instalación y/o recomendaciones del fabricante, procedimientos de instalación
- Procedimientos de inspección y control de calidad para la fase de la instalación en Estructuras marinas sumergidas.

4.7.2.2. Estructuras Sumergidas.

La Protección catódica de estructuras marinas sumergidas tales como chaquetas de acero de plataformas y tuberías de gas y/o petróleo en mar adentro son extensamente proporcionadas por los sistemas de ánodo de sacrificio. El criterio de uso general de la protección para tales estructuras de acero es -800 mV concerniente a un electrodo de referencia Ag/AgCl. En costa afuera las aplicaciones, los sistemas de corriente impresa son más vulnerables a desgaste mecánico y rasgón de cables de los ánodos. Comparado con los suelos, el agua de mar tiene una baja resistividad, los bajos voltajes conducidos de los ánodos de sacrificio son por lo tanto, de la incumbencia más baja en el mar Los ánodos de sacrificio usados en costa afuera se basan generalmente en el aluminio o el Zinc. La composición química de una aleación de aluminio específica para proteger la tubería de gas costa afuera se presenta en la tabla 4.6. Un control cercano sobre las impurezas es crucial para asegurar un satisfactorio comportamiento electroquímico

Element	Maximum, wt. %	Minimum, wt. %
Zinc	5.5	2.5
Indium	0.04	0.015
Iron	0.09	/
Silicon	0.10	/
Copper	0.005	/
Others, each	0.02	/
Aluminum	Balance	/

TABLA 4.6 COMPOSICION QUIMICA DE MATERIAL DE ÁNODO PARA UNA TUBERÍA MAR ADENTRO

4.7.2.3. Consideraciones y Beneficios de Diseño

Uno de los beneficios principales de un diseño adecuado y con un enfoque de diseño conservador radica que en futuros monitoreos los requerimientos de mantenimiento sean mínimos. El diseño correcto también asegura que el sistema es auto regulado. Los ánodos "automáticamente" proporcionan salida creciente de corriente, si el potencial de la estructura cambia a valores más positivos, de modo tal que contrarrestan el sentido del potencial. Además, acercarse a un diseño conservador evitará las futuras modificaciones costosas. Proponer mejoras in situ en sistemas Costa afuera tiende a ser extremadamente costoso y tenderá a exceder los "ahorros iniciales." Tal acercamiento del diseño también ha probado

extremadamente valor para la recalificación de tuberías, más allá de su vida original del diseño. Un acercamiento conservador del diseño es sensible cuando considerando que el coste de sistemas de PC puede solamente estar de la orden de 0.5 hasta el 1% de los costes totales de la fabricación y de la instalación.

Los dos pasos principales implicados en los cálculos del diseño son

(1) Cálculo de la corriente promedio necesaria y la total masa del ánodo requerido para proteger la estructura sobre la vida de diseño y

(2) Las demandas iniciales y finales de la corriente requeridas para polarizar la estructura potencial requerido para el criterio protección.

El primer paso se anticipa a la densidad de corriente estable una vez que se hayan alcanzado las condiciones de estado estacionario. El segundo paso se relaciona con el número y el tamaño de los ánodos individuales requeridos bajo condiciones dinámicas, inestables.

La densidad de corriente catódica es una función compleja de varios parámetros del agua de mar, para los cuales no hay modelo “completo” disponible.

Para los propósitos del diseño, cuatro zonas climáticas basadas en las gamas medias de la temperatura y a dos profundidades de agua por lo tanto se han definido: tropical, subtropical, templado, y ártico. Por ejemplo, en aguas más frías las densidades de corriente tienden para ser más altas debido a un grado bajo de protección superficial contra capas calcáreas.

Una incertidumbre importante del diseño es la calidad (cobertura superficial) del revestimiento. En tuberías submarinas, el revestimiento se mira como la medida primaria de la protección contra la corrosión, con la PC simplemente como sistema de respaldo.

Para los propósitos de diseño, no sólo defectos los iniciales en el revestimiento tienen que ser considerados pues también la degradación en un cierto tiempo. Generalmente debido a incertidumbres y simplificaciones del diseño, un acercamiento a un diseño conservador es recomendable. Esta política se sigue normalmente con la selección juiciosa de los parámetros de diseño más bien que de usar un factor de seguridad total. Los diseños marginales resultarán raramente bajo protección temprano en la vida de la estructura; la vida total del sistema de PC será algo comprometida. Esencialmente, las tasas de consume del ánodo serán excesivos en sistemas mal diseñados. Otros detalles se pueden encontrar en guías del diseño tales como NACE RP0176-94 and Det Norske Veritas (DNV) Practice RP B401

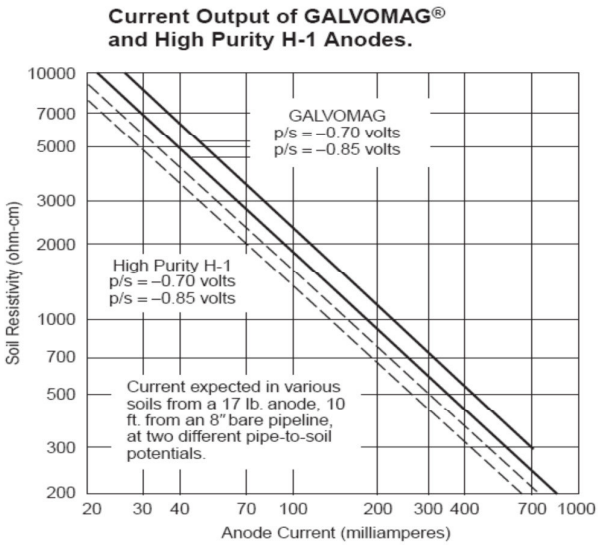


Figura 4.6 Diseño De Curvas Para Ánodos De Magnesio (Corrpro Companies Inc.)

4.7.3. Desempeño De Ánodo

4.7.3.1. Regulación del sistema

La regulación es aplicada a instalaciones de ánodos galvánicos, es una medida de capacidad de las instalaciones de ajustar la salida automáticamente para compensar cambios en los requisitos actuales de la tubería a la cual se une. En el ejemplo anterior que comparan Zinc y Magnesio, la sección asumida de la tubería tenía una capa excelente, muy poca corriente fue requerida para mantener la protección. Sin embargo, los requisitos actuales pueden aumentar con el tiempo debido al deterioro del revestimiento, adición de más tuberías, o al desarrollo de un cortocircuito a otra tubería foránea.

Si se asume que ha ocurrido esto, la resistencia eficaz de la tubería a la tierra en el sitio de la instalación del ánodo cae de la original de 2 ohmios a 0.5 ohmios. También se asume la corriente mínima requerida para mantener un potencial de polarización de -0.85 mV han aumentado a 130 mA de la original 75 mA. Usar figuras del ejemplo precedente:

Instalación de Zinc

- Driving potential D 1:1 -0.85 D 0:25 V
- Nueva resistencia del circuito D 1:74
- Corriente D 0.25 = 1:74 D 0.144 A (144 mA)
- Vida indicada en 144 mA salida D 33.6 año

Instalación de Magnesio sin redactor de corriente resistor

- Driving potential D 1:55 -0.85 V D 0:70 V
- Nueva resistencia del circuito D 5:31 ohm
- Corriente D 0:7=5:31 D 0:188 A (188 mA)
- Vida indicada en 188 mA output D 8.4 año

En este ejemplo, la instalación de Zinc tiene una mayor capacidad de proporcionar la corriente que el mínimo requerido, indicando que la línea polarice a un cierto valor sobre -0.85 V que ese valor mínimo de protección por lo tanto allí será una mejor distribución de potenciales protectores a lo largo de la línea. La instalación del magnesio sin el resistor (que descargó originalmente más de dos veces de corriente como el Zinc y perdía la corriente) ahora no

descarga suficiente corriente para mantener el mínimo -0.85 V. La línea asumirá un potencial algo menos que el -0.85 V. La instalación del magnesio con un resistor que controla la descarga obviamente no descarga la suficiente corriente. El tamaño del resistor necesitaría ser reducido debajo de los 6.5 ohmios calculados de valor antedicho o el resistor tendría que ser quitado para alcanzar cualquier grado substancial de protección. Esto entonces reduciría la vida del diseño del ánodo de magnesio.

4.7.3.2. Variaciones En Resistividad Del Suelo

El efecto relativo de la resistencia del suelo en funcionamiento del ánodo se discute abajo. Los cálculos para los ánodos de Zinc y de Magnesio en los suelos que se extienden en rangos de baja hacia alta resistividad se resumen en la tabla 9.6. Específicamente, lo asumido es lo siguiente:

a. Que la sección de la tubería que es protegida está bien revestida y que tiene una resistencia eficaz a la tierra de 2 ohmios.

b. 75 mA se requieren inicialmente para polarizar la tubería al –0.85 V CSE.

c. Que una vez que se aplique la corriente de PC, la línea continuará polarizando a -1.05 V CSE cuando está protegido con Zinc y al -1.2 V cuando está protegido con Magnesio.

Los ánodos de tamaños similares fueron utilizados para el Magnesio y el Zinc con objeto de esta comparación.

Soil Resistivity in ohm-cm	Anode Type	Driving Potential in volts with Pipeline Polarized to –0.85 V	Maximum Permissible Circuit Resistance in ohms, for 75 mA	Max. Permissible Resistance of Anodes and Leads, in ohms, with 2 ohms Pipe-to-Earth Resistance	Number,Size (in inches) and Weight (Each) of Anodes Selected	Resistance of Anode Array Selected in ohms	Actual Total Circuit Resistance in ohms	Actual Current in mA with Pipeline Polarized to –1.05 V with zinc or to –1.20 V with Mg	Indicated Anode Life in Years	Max. Current, mA, with Pipe-to-Earth Resistance Dropped to 0.50 ohm and with –0.85 V Polarized	Regulation as Ratio of Maximum Current to that Under Initial Conditions	Indicated Anode Life in Years Under Maximum Current Conditions
300	Mag	0.6	8.0	6.0	One 3×3×60 40-Pound	1.44	3.44	72.8	27.2	403	5.55	4.9
	Zinc	0.25	3.3	1.3	Two 1.4×1.4×60 30-Pound	0.76	2.76	18.1	107	198	11.0	9.8
500	Mag	0.6	8.0	6.0	One 3×3×60 40-Pound	2.0	4.0	62.5	31.5	240	3.85	8.2
	Zinc	0.25	3.3	1.3	Two 1.4×1.4×60 30-Pound	1.07	3.07	16.2	120	159.5	9.85	12.2
1500	Mag	0.6	8.0	6.0	One 2×2×60 20-Pound	4.81	6.81	36.6	26.9	113	3.08	8.7
	Zinc	0.25	3.3	1.3	Five 1.4×1.4×60 30-Pound	1.24	3.24	15.4	315	144	9.35	33.6
3000	Mag	0.6	8.0	6.0	Two 2×2×60 20-Pound	4.86	6.86	36.4	55.2	112	3.08	17.6
	Zinc	0.25	3.3	1.3	Eleven 1.4×1.4×60 30-Pound	1.3	3.3	15.2	745	139	9.15	83

Tabla 4.7 Comparación De Ánodos De Zinc Y Magnesio En Variación De Resistividades

4.7.4. Detalles De Instalación De Ánodo Galvánicos

Las instalaciones de ánodo galvánico son simples comparadas a la instalación de corriente impresa. La instalación más simple es la que involucra el enterrar un solo ánodo empaquetado solo en la ubicación de reparación de fuga o para las instalaciones de ánodo distribuidas a lo largo de un gasoducto. Esto es indicado por Figure 4.7

Las ánodos de magnesio empaquetados de 17 libras, 20 libras, 32 libras son los más comúnmente utilizados, aunque los ánodos empaquetados de Zinc se pueden utilizar en suelos de baja resistencia y los ánodos de magnesio empaquetado más pesado, serán usados donde las condiciones garanticen, una vida más larga.

Donde algunos ánodos del magnesio o Zinc son instalados en una sola localización, generalmente en una tubería revestida, los ánodos se pueden conectar con un cable principal. El cable principal debe llegar a un punto de prueba para permitir el monitoreo, y la medida periódica de la corriente de salida, para el cálculo de la vida del ánodo. Esto se ilustra en la Fig. 4.8. Los ánodos en una cama múltiple de ánodos se deben colocar en una configuración de línea recta para tener la resistencia más baja a la tierra. La línea de ánodos puede ser perpendicular a la tubería, según las indicaciones de la figura, o puede estar a lo largo de una línea paralela a la tubería. El último arreglo lo hace posible, en muchos casos, para instalar una cama de ánodos grande sin tener que ir más allá de los límites del derecho de paso de la tubería. Una línea paralela de ánodos de magnesio debe ser por lo menos 15 pies lejos de la tubería. Con Zinc, esta distancia se puede reducir a 5 pies o aún más cercana, si hay disponible poco espacio, sin afectar significativamente las características actuales de la distribución de la cama usada con la tubería revestida. Donde el espacio esté disponible, sin embargo, es mejor permitir por lo menos 10 pies entre la tubería y la línea de los ánodos del Zinc para el funcionamiento óptimo.

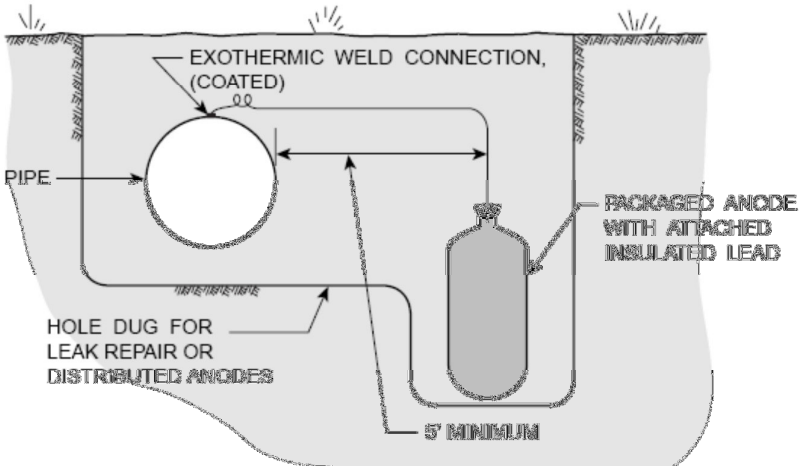


Figura 4.7 Instalación De Ánodo Pre Empacado

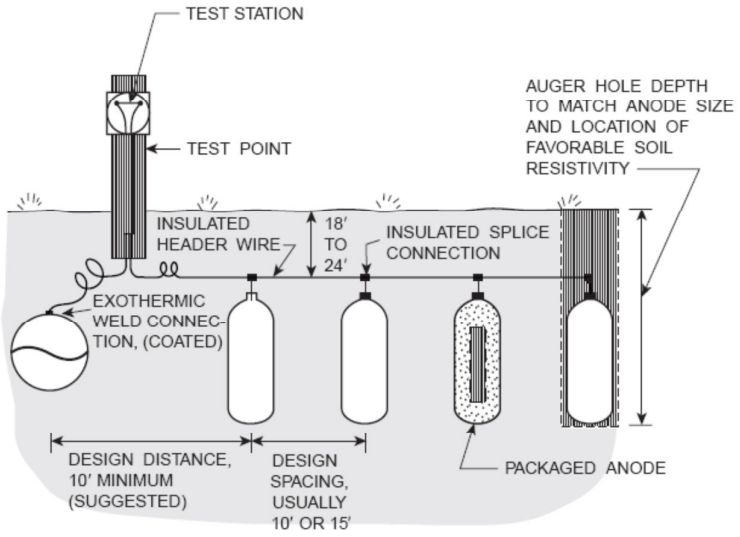


Figura 4.8 instalación de múltiples ánodos pre empacados

Donde las resistividades de suelo y las condiciones de perforación permitan y donde las limitaciones del espacio sean extremadamente críticas, como puede ser verdad en sistemas de la distribución, los ánodos se pueden colocar en agujeros verticales junto a la tubería con buena profundidad y con espaciamiento razonable entre la tubería y el ánodo. Esto se ilustra en la Fig. 4.9. Este tipo de instalación, los agujeros verticales profundos serán requeridos para colocar ánodos múltiples y tan lejanos de la tubería en las distancias laterales paralelas a la tubería. La profundidad recomendada se demuestra en la figura arriba presentada. Éstos son justificados por el hecho que con los ánodos enterrados más profundos los efectos (y donde las resistividades del suelo sean favorables) en la tubería pueden ser menos severos que con los ánodos más cercano a la superficie y en las distancias laterales comparables de la tubería. Otras ventajas de este tipo de instalación son que los ánodos, siendo colocado profundamente, están menos sujetos a la variación estacional de salida de corriente asociada a la humedad del suelo y hay menos cable conector donde puede ser dañado por las excavaciones hechas para otros propósitos.

El espaciamiento entre el ánodo desnudo y la tubería no es crítico. Para mantenimientos de la tubería, un espaciamiento de por lo menos de 1.5 mts del borde cercano de la tubería puede ser utilizado. Un ánodo desnudo debe estar lo bastante profundo para ser utilizado en suelo continuamente húmedo. No se sugiere menos de 0.60 m y mayores profundidades serán necesarias en áreas donde los suelos estén sujetos a períodos secos.

Los ánodos desnudos de Magnesio o de Zinc son suministrados desnudos. Con tales ánodos en tierra sin un backfill especial implica el riesgo de la pasivación del ánodo y los aumentos inadecuados de la corriente. Para la mayoría de los resultados confiables, el ánodo desnudo debe ser instalado con un backfill especial de relleno. Un adecuado flujo de corriente, asumiendo dispersión satisfactoria alrededor del ánodo, es 70 libras de backfill a por 100 pies de ánodo.

Los ánodos desnudos se pueden utilizar favorablemente en áreas donde las condiciones del suelo permitan el uso de Tractor-arador adaptados para llevar carretes del rastro del ánodo y de una fuente del backfill. El terreno rocoso o muy áspero puede imposibilitar el uso de este tipo de ánodo pues abrir una zanja continua de la manera convencional, en la mayoría de los casos, sería demasiado costoso.

Las tres ilustraciones que precedían se refirieron al uso de ánodos empaquetados donde cada ánodo y asociado con el backfill de relleno están instalados como sola unidad. Los ánodos de Zinc o Magnesio están disponible desempaquetados. Deben, sin embargo, ser utilizados con backfill de relleno en las instalaciones enterradas. Los ánodos y backfill pueden instalados en agujeros verticales según las indicaciones del Figura 4.10.

Los ánodos y backfill instalados por separado se utilizan más a menudo para las instalaciones múltiples de ánodos que para las instalaciones de ánodo solo. La ventaja de este tipo de instalación es que el backfill, siendo instalado por separado y apisonado en el lugar, elimina totalmente todos los vacíos en el agujero vertical de instalación. Esto reduce al mínimo la posibilidad de que el backfill se coloque lejos de los ánodos y que reduzca la eficiencia de los ánodos a largo plazo. Esta posibilidad es mayor cuando se utilizan los ánodos empaquetados porque cuando el envase del backfill se deteriora, el rellenar se colocará en los vacíos alrededor de los cuales puede haber salido alrededor o debajo del empaque.

Con las instalaciones de ánodo galvánico, todo cable conectado con el ánodo tiende a ser protegido. Esto significa que si se expone algún tramo del cable, no tenderá a corroerse y causar separación del cable como sucederá si hay cualquier rotura en el aislamiento en los alambres conectados con el terminal positivo de la fuente de poder DC en un sistema de Corriente Impresa de PC. Debido a esto, el aislamiento de conexiones subterráneas en la instalación de ánodos galvánicos no es tan crítico pero debe sin embargo ser bien hecho prevenir pérdida de corriente. También, si cualquier cosa con excepción de conexiones soldadas de cobre, soldadura de estaño o soldadura autógena se utiliza (por ejemplo conexiones de compresión), la conexión se debe impermeabilizar totalmente para prevenir el desarrollo posible de la resistencia dentro del empalme. La conexión más importante de un sistema galvánico desde el punto de vista de aislamiento es probablemente la conexión entre la tubería y la conexión del ánodo que es de cobre. La fuerte corrosión de la celda de metal disímil entre el acero y el cobre necesita impermeabilizarse a fondo y permanentemente para prevenir cualquier posibilidad de corrosión de la tubería adyacente a la conexión donde la celda de corrosión no se puede superar totalmente por la PC aplicada. Esto puede ocurrir particularmente cuando el alambre de cobre se encuentra tendido paralelo al acero desnudo, de tal manera que el cable actúa como revestimiento eléctrico e impide que la corriente protectora alcance el acero.

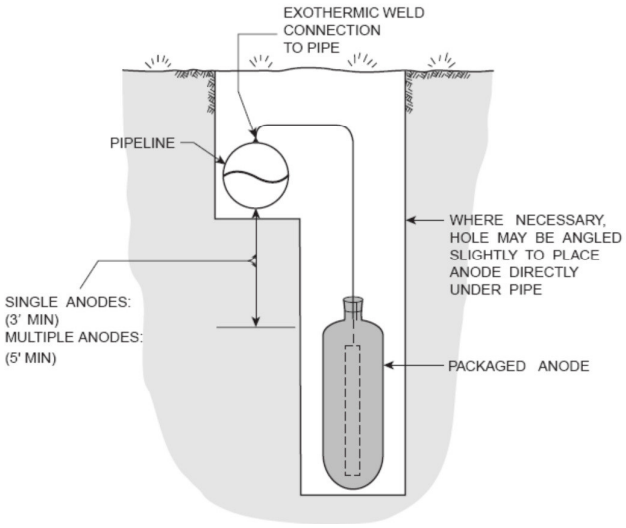


Figura 4.9 Instalación de Ánodo Galvánico debajo de la tubería

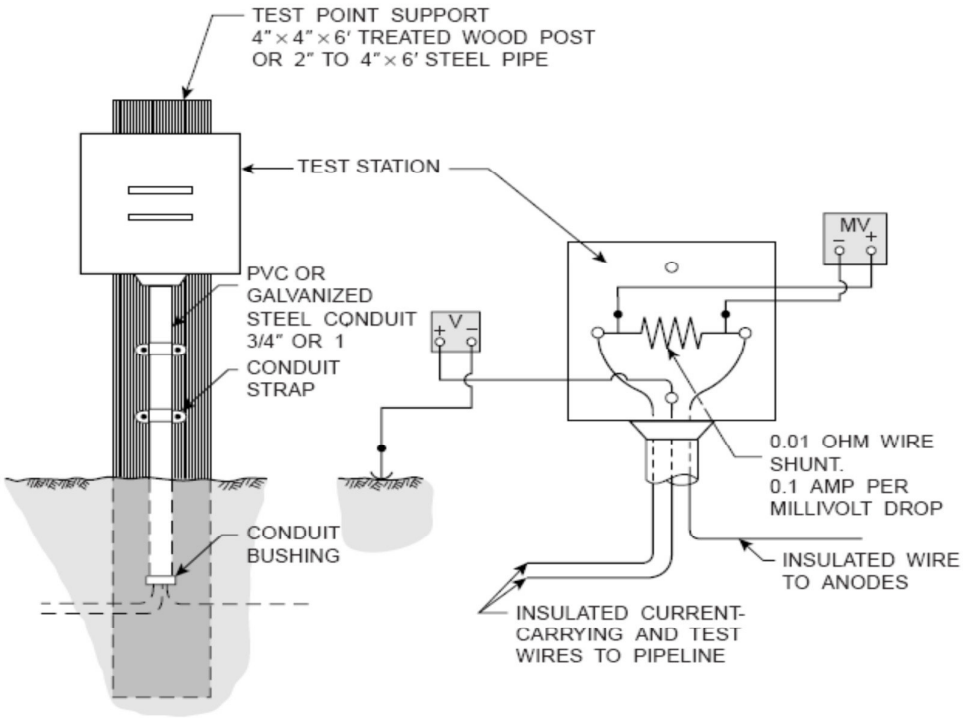


Figure 4.10 Instalación de una estación de prueba para Ánodos galvánicos

Cuando las instalaciones de ánodos galvánicos son por primera vez instaladas, no pueden conseguir el producto en curso máximo durante algún tiempo. Esto es porque la mezcla de relleno seca puede dedicarse a la humedad despacio de la tierra circundante Cuando las instalaciones galvánicas del ánodo son primeras instaladas, pueden no lograr corriente de salida máxima por un tiempo. Esto es porque la mezcla de backfill seco puede tomar lentamente la humedad del suelo circundante. A menos que el suelo circundante este muy mojado, puede pasar varios días o incluso semanas antes de que se logre la máxima salida. Si las condiciones del suelo seco prevalecen, humedecer el suelo sobre el ánodo después de que la instalación puede ayudar. La solución obvia es mezclar el backfill con agua antes de instalarlo, pero no es necesariamente buena porque la contracción del backfill puede resultar, en el posible desarrollo de vacíos cuando el exceso del agua salga del backfill. Por otra parte, apisonar bien el backfill seco tiende a ampliarse sobre la humedad que toma del suelo circundante, asegurando así el contacto íntimo a través de la columna del backfill.

4.8. SISTEMAS DE CORRIENTE IMPRESA

Un sistema de Corriente Impresa consiste en una fuente externa de energía y ánodos. La fuente externa de energía, fuerza la corriente para fluir del ánodo a la estructura a través del electrolito. La fuente externa se deriva generalmente de un transformador rectificador (TR), en que se transforma la corriente alterna (AC) y es rectificado para dar una salida de D.C. Típicamente, la corriente de salida de tales unidades no tiene características puras de D.C.; la "ondulación algo considerable" es inevitable con solamente la rectificación a onda media en la extremidad del espectro. Los ánodos usados en un sistema de Corriente Impresa se construyen generalmente de materiales relativamente inertes.

En estos sistemas la protección catódica es aplicada por medios de una fuente externa de corriente eléctrica (Fig. 11.7). En contraste con el sistema de ánodo de sacrificio, la tasa de

consumo del ánodo es generalmente mucho más bajo. A menos que se utilice un ánodo consumible de "desecho", el rango de consumo de un ánodo insignificante es realmente un requisito dominante para la larga vida del sistema.

Los Sistemas de Corriente Impresa típicamente se favorecen bajo requerimientos de altas cantidades de corriente y/o electrolitos de alta resistencia. Una instalación típica se demuestra en el Figura 3.4.

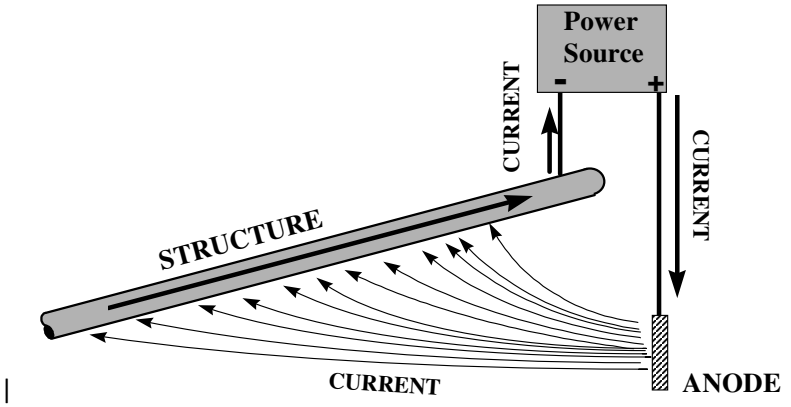


Figura 4.11 Sistema Típico de Corriente Impresa para Protección Catódica.

Otras fuentes de energía incluyen los generadores del combustible o conducido a gas, generadores termoeléctricos, y generadores solares y de viento. Las áreas de aplicación importantes de los sistemas de corriente impresa incluyen tuberías y otras estructuras enterradas, estructuras marinas, y el acero de refuerzo embebido en concreto.

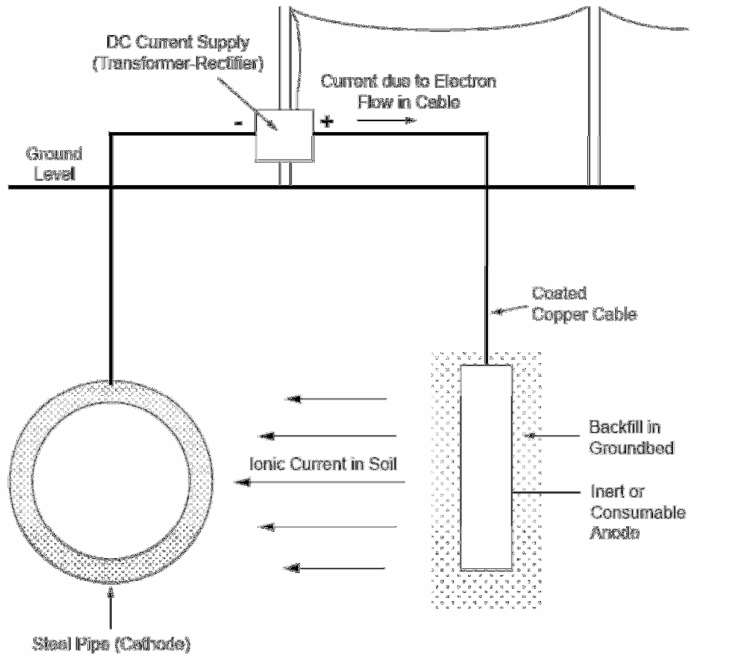


Figura 4.12 Principio de la protección catódica con corriente impresa (esquema)

Donde las Fuentes de AC son económicamente accesibles, los rectificadores tienen ventajas económicas y de funcionalidad que otras Fuentes de corriente para corriente impresa

4.8.1. Aplicaciones de los Sistemas de Protección Catódica por Corriente Impresa

Las aplicaciones típicas de la corriente impresa son:

- Para grandes necesidad de corriente, particularmente para estructuras desnudas o mal revestidas.
- En todas las resistividades de electrolito.
- Como una manera económica de proteger las estructuras que disipan la corriente de los ánodos galvánicos
- Para superar problemas de corrientes parasitas o interferencias catódicas.
- Para la protección de grandes intercambiadores de calor - agua , y de otros recipientes
- Para los interiores de los tanques de almacenaje del agua
- Para los fondos exteriores enterrados (primario y secundario) de tanques de almacenaje de tierra anteriormente dichos.
- ara los tanques de almacenaje subterráneos
- Para los componentes submarinos de las estructuras off shore.

4.8.2. Ventajas De Los Sistemas De Corriente Impresa.

- Flexibilidad con la capacidad para manejar una amplia gama de voltajes y de salidas de corriente.
- Satisface requisitos de gran intensidad de corriente con una sola instalación.
- Eficaz en estructuras sin recubrimiento y mal revestidas.
- Eficaz en ambientes de la alta-resistividad.
- Menor consumo de ánodos que los ánodos galvánicos.

4.8.3. Limitaciones De Los Sistemas De Corriente Impresa.

- Alto costo de inspección y mantenimiento que con los ánodos galvánicos.
- Requiere energía externa
- Costo y consumo continúo de la fuente de energía y energía eléctrica.
- Elevado riesgo de causar interferencia por corrientes parasitas.
- Una confiabilidad más baja y requisitos de mantenimiento más altos.
- Un riesgo más alto de daño por sobreprotección pudiendo ser:
- Fragilidad por hidrógeno.
- Daños en el revestimiento
- Riesgo de conexiones incorrectas en la polaridad (esto ha sucedido en ocasiones con mucha vergüenza a las personas referidas).
- Más complejo y menos robusto que sistemas de ánodo de sacrificio.

4.8.4. Componentes de las partes del sistema de corriente impresa

4.8.4.1. Ánodos

Materiales que se utilizan en estos sistemas:

- Grafito (carbón)
- Hierro fundido de Alto-silicio y aleado al cromo,
- Platino-revestidos con titanio y niobio
- Aluminio
- Magnetita
- Titanio con recubrimiento mezclado de óxidos metálicos (MMO).

- Polímeros conductores.
- Hierro de desecho o acero.
- Plomo Plata

Los ánodos para corriente impresa no tienen que ser menos nobles que la estructura que están protegiendo. Aunque el acero de desecho se utiliza de vez en cuando como material de ánodo, estos ánodos se hacen típicamente del material altamente resistente a la corrosión para limitar su rango de consumo. Después de todo, bajo condiciones de polarización anódica, potencialmente muy altas rangos de disolución pueden ser encontradas. Las cantidades de consumo del ánodo dependen del nivel de densidad de corriente aplicada y también del ambiente operativo (electrolito). Por ejemplo, el índice de la disolución de los ánodos de titanio platinado es más alto cuando está enterrado comparado con su uso en agua de mar. Ciertos contaminantes en agua de mar pueden aumentar el índice de consumo de los ánodos platinados.

La relación entre la corriente derivada y el índice de consumo del ánodo no es de variación lineal simple; el índice de consumo puede aumentar en un porcentaje más alto para cierto aumento del porcentaje en corriente. Bajo estas complejas relaciones, la experiencia es crucial para seleccionar los convenientes materiales. Para los materiales activamente corrosivos (consumibles) el índice aproximado de consumo está en el orden de gramos por amperio hora (Ah), mientras que para los completamente pasivos (no consumible) la correspondencia de consumo está en la escala de microgramos. Los índices de consumo para los materiales de ánodo parcialmente pasivos (semi consumible) se encuentran estos extremos. El tipo del material del ánodo tiene un efecto importante en las reacciones encontradas sobre su superficie.

Para los metales y las aleaciones consumibles los tales como el acero de desecho (Chatarra) o el hierro fundido, la reacción anódica primaria es la reacción anódica de la disolución del metal. En superficies totalmente pasivas del ánodo, la disolución del metal es insignificante, y las reacciones principales son la evolución de gases. El oxígeno se puede desarrollar en presencia del agua, mientras que el Cloro gaseoso puede formarse si los iones cloruro se disuelven en el electrolito. Las reacciones antedichas de la evolución del gas también se aplican a los ánodos que conductores no metálicos tal como el carbón. La evolución del bióxido de carbono es otra posibilidad de este material. En superficies parcialmente pasivas, ambas reacciones de evolución y disolución del gas son importantes.

La acumulación del producto de corrosión se asocia obviamente a la reacción anterior. Es evidente que una amplia gama de materiales se puede considerar para los ánodos de corriente impresa, extendiéndose desde el barato acero de desecho (chatarra) al platino alto costo. Shreir y Hayfield identifican las características deseables de un ánodo ideal" siendo los siguientes:

- Bajo índice de consumo, con independencia del ambiente y de productos de la reacción
- Bajo niveles de la polarización, con independencia de las diversas reacciones del ánodo
- Conductividad eléctrica alta y baja resistencia en el interfaz ánodo-electrolito
- Alta confiabilidad
- Alta integridad mecánica para reducir al mínimo daño mecánico durante la instalación, el mantenimiento, y el uso del servicio
- Alta resistencia a la abrasión y a la erosión
- Facilidad de fabricarlo en diversas formas
- Bajo costo, concerniente al esquema total de la protección de corrosión.

En la práctica, las compensaciones importantes entre las características del funcionamiento y los costos materiales tienen que ser hechas obviamente. en la tabla 11.4 se demuestra la selección de materiales de ánodo en general bajo diversas condiciones ambientales. Los materiales usados para los ánodos de corriente impresa en usos subterráneos se describen más detallo abajo.

Marine environments	Concrete	Potable water	Buried in soil	High-purity liquids
Platinized surfaces Iron, and steel Mixed-metal oxides graphite Zinc High-Si Cr cast iron	Platinized surfaces Mixed-metal oxides Polymeric	High-Si iron Iron and steel Graphite Aluminum	Graphite High-Si Cr cast iron High-Si iron Mixed-metal oxides Platinized surfaces Polymeric, iron and steel	Platinized surfaces

TABLA 4.8 EJEMPLO DE ÁNODOS DE CORRIENTE IMPRESA EN USOS DIFERENTES.

4.8.5. Ánodos De Corriente Impresa Para Usos Enterrados

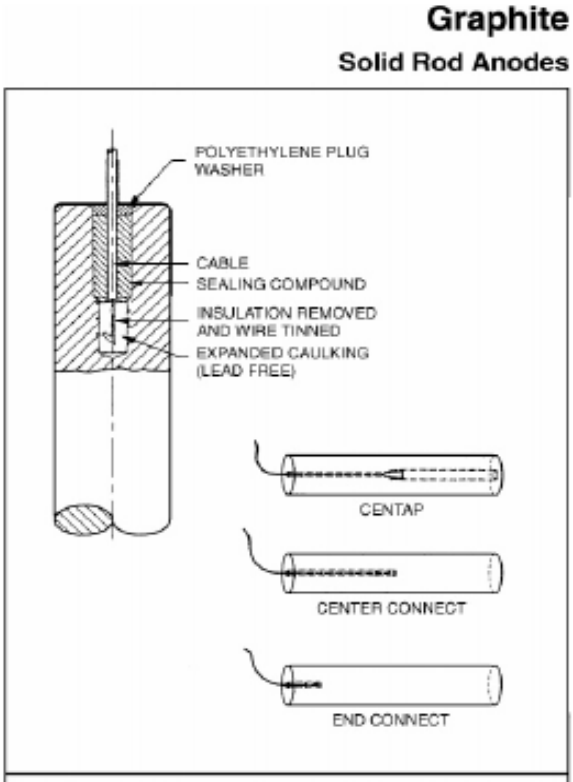
La publicación internacional NACE 10A196 representa una excelente y detallada descripción de los materiales para ánodos de corriente impresa para usos enterrados. Otras cuentas detalladas también son dadas por Shreir y Hayfield, Jarman, y Burstein; solamente un breve resumen se proporciona aquí:

4.8.5.1. Ánodos de grafito.

Han substituido en gran parte a la variedad de ánodos de carbón empleada previamente, la estructura cristalina del grafito es obtenida por la exposición a alta temperatura como parte del proceso de fabricación que incluye la extrusión en la forma deseada. Estos ánodos son altamente porosos, y es generalmente deseable restringir las reacciones del ánodo a la superficie externa para limitar procesos de degradación. La impregnación del grafito con la cera, el aceite, o resinas sellantes tiene que evitarse lo más posible, aunque reduce el consumo hasta en un 50 por ciento. El grafito extremadamente estable químicamente bajo condiciones de evolución de Cloro. La evolución del oxígeno y la formación del gas contaminante bióxido de carbono aceleran el consumo de estos ánodos. Los índices de consumo se han reportado en la práctica entre 0.1 a 1 kilogramo

- Las siguientes limitaciones aplican para ánodos de grafito:
- Las densidades de corriente operacionales son restringidas para niveles relativamente bajos.
- El material es inherentemente frágil, y con relativo riesgo elevado a la fractura durante la instalación y manipuleo.

En usos no enterrados, el desprendimiento el material del ánodo puede conducir a un severo ataque galvánico de los substratos metálicos (más relevantes a los sistemas a circuito cerrado) y, siendo material suave, estos ánodos pueden estar sujetos a daños por la erosión.



Standard Dimensions and Shipping Wts

ANODE TYPE DIMENSIONS in. (mm) Ø		L		BARE WT lbs	(kg)
3	(76.2)	30	(76.2)	13	(5.9)
4	(101.6)	40	(1,016)	35	(15.9)
3	***(76.2)***	***60***	***(1,524)***	***27***	***(12.3)***
4	(101.6)	80	(2,032)	70	(31.8)

CHEMICAL COMPOSITION

Element	Content %
Carbon	99.80
Ash	0.20

Figura 4.13 tamaño típico de los ánodos de grafito y composición química (corrpro companies inc.)

4.8.5.2. Ánodos Platinados.

Son diseñados para seguir siendo totalmente pasivos y utilizar una capa superficial de platino (algunos micrómetros gruesos) en titanio, niobio, y los substratos del tantalio para estos propósitos.

La restricción del platino a una película superficial fina tiene ventajas importantes de costo. Para aumentar el periodo de vida, el grosor de la capa superficial del platino tiene que ser aumentado. La resistencia a la corrosión inherente de los materiales del substrato, con la formación de películas pasivas protectoras, es importante en presencia de las discontinuidades en la capa superficial del platino, que se presentan invariablemente en la práctica. Las películas pasivas tienden a fracturarse a cierto potencial anódico, que es dependiente de la corrosividad

del ambiente donde opera. Es importante que el potencial de áreas de des-platinización en estos ánodos no exceda el valor crítico del de pasivación para un material dado de substrato.

En ambientes con presencia de cloruro, el tantalio y el niobio tienden a tener más altas interrupciones de potencial que el titanio, y los materiales anteriormente dichos son preferidos en sistema de altos voltajes.

Estos ánodos se fabrican bajo la forma de cable, cuplas, barras, tubos, y tiras. Se encajan generalmente en una cama de enterrada de material carbonoso. El backfill carbonoso proporcionan una alta área superficial (partículas finas son usadas) y disminuye la resistencia ánodo/tierra; efectiva transferencia de corriente entre las superficies platinizadas y el backfill son por lo tanto importante. Los índices de consumo reportados de consumo son menores que 10 mg A^{-1} .$año^{-1}$ bajo la evolución anódica de cloruros y densidades corrientes sobre 5400 A/m2. En la evolución de oxígeno reportes ambientales indican índices de consumo en el orden de 16 mg/A-año en densidades de corrientes por debajo de 110 a/m2.

En presencia de efectos de corrientes ondulatorias, el índice de consumo del platino se incrementa, particularmente en frecuencias relativamente bajas.

Las limitaciones incluyen corrientes de atenuación en secciones largas del cable.

Una desigual corriente distribuida da lugar a la prematura degradación localizada del ánodo, especialmente cerca a la conexión para corriente de alimentación. Los múltiples puntos de alimentación mejoran la distribución de corriente y proveen sostenimiento al sistema en caso de exceso de disolución local del ánodo.

Los efectos de corriente ondulatoria, especialmente en las frecuencias bajas, deben ser evitados.

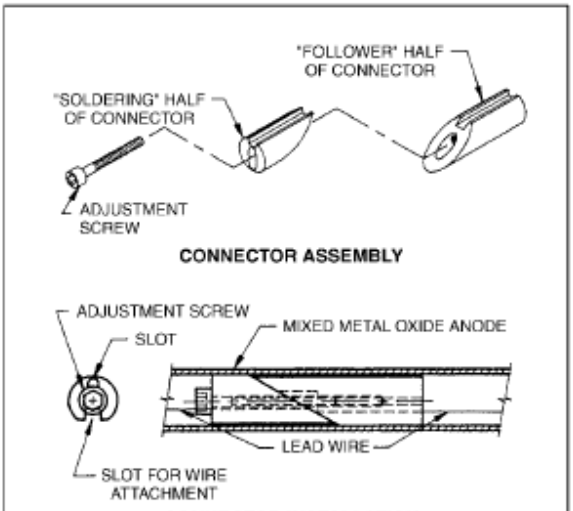
Los materiales del substrato están propensos al daño por hidrógeno si éstos ánodos asumen un carácter catódico fuera de su función normal de operación (por ejemplo, si se des energiza el sistema).

4.8.5.3. Ánodos de Mezclas de Óxidos Metálicos (MMO).

También utilizan Titanio, Niobio, y Tantalio como materiales de substrato. Una película de óxidos se forma en estos substratos, con las características protectoras similares a las películas pasivas en materiales de substrato. La diferencia importante es ésa, mientras que la película pasiva “natural” es un eficaz aislante eléctrico, la película superficial de Mezclas de Metales Oxidados es un conductor de corriente anódica. Las formas del producto son similares al de los ánodos platinizados. Estos ánodos son típicamente utilizados con backfill carbonoso. El consumo del electrodo no es generalmente el factor crítico en la determinación de vida del ánodo; más bien la formación de óxidos no conductivos entre el substrato y la película de superficie conductora limita el funcionamiento efectivo. Las densidades de corrientes excesivas aceleran la acumulación de estos óxidos aislantes a niveles inaceptables.

El acero y el hierro de desecho (Chatarra) representan el material consumible del ánodo y tienden a ser usados bajo la forma de tuberías abandonadas, ferrocarriles o bien recubiertas, como cualquier otras vigas o tuberías. Estos ánodos encontraron aplicación particularmente en los inicios de la PC por corriente impresa. Porque la reacción dominante del ánodo es la disolución del hierro, la producción del gas está restringida al ánodo. El uso de backfill carbonoso ayuda en la reducción de la resistencia eléctrica al terreno asociado con la acumulación de los productos de la corrosión. Periódicas inundaciones con agua puede también aliviar problemas de la resistencia en suelos secos.

Mixed Metal Oxide
Tubular Anodes



Standard Dimensions and Shipping Weights

ANODE TYPE	NOMINAL DIMENSIONS Ø in.	(mm)	LENGTH ft	(mm)	NOMINAL WEIGHT BARE oz/ft	(g/M)	PKGD. lbs	(kg)	CURRENT RATING* amps
M752	0.75	(19.1)	2.0	(610)	3.4	(314)	23	(10.5)	23
M754	*0.75*	*(19.1)*	*4.0*	*(1,219)*	*3.4*	*(314)*	*25*	*(11.4)*	*45*
M103	1.0	(25.4)	3.3	(1,006)	3.8	(351)	25	(11.4)	50
M124	1.25	(31.8)	4.0	(1,219)	5.8	(538)	27	(12.3)	73

**Based on 15 year design life in saltwater*

Tabla 4.9 datos de tamaño y rango de operación de corriente de ánodos de mezclas de óxidos metálicos tubulares

Los índices teóricos para el consumo del ánodo están en 9 kg. $Amp^{-1}año^{-1}$. Para acero fundido los rangos de consumo del hierro (que contiene el grafito) pueden ser más bajas que las teóricas debido a la formación de películas superficiales ricas en carbón. La total utilización del ánodo es muy raro alcanzarlo en la práctica debido a su preferencial disolución en ciertas áreas. Fundamentalmente, estos ánodos no son propensos a fallar a un nivel particular de densidad de corriente.

Para ánodos de longitudes largas, múltiples puntos de alimentación de corriente son incluso recomendados para asegurar una razonable distribución de corriente sobre la superficie y para prevenir prematuras fallas cercanas a los puntos de alimentación. Las limitaciones incluyen la acumulación de los productos de la corrosión que bajan gradualmente la salida de corriente.

Además, en áreas urbanas de alta densidad, el uso de estructuras abandonadas como ánodos puede tener consecuencias serias si éstos se ponen en cortocircuito a los servicios foráneos. Una red de gas abandonada podría, por ejemplo, aparecer como un ánodo conveniente para una tubería nueva de gas. Sin embargo, si las tuberías de agua cortocircuitan con las de gas abandonado en ciertos lugares, las tuberías de agua averiadas serán mucho más dañadas después debido a la disolución anódica excesiva.

4.8.5.4. Ánodos De Hierro Fundido Alto-Silicio Cromo

se conforman por la formación de un revestimiento protector de óxido (principalmente SiO2 hidratado) para la resistencia a la corrosión. Las adiciones de aleación de cromo se hacen para el uso en ambientes que contienen cloruros para reducir el riesgo de daños. Éstos los ánodos se pueden utilizar con o sin backfill carbonoso; del último caso la resistencia a la tierra aumenta (particularmente bajo condiciones secas) al igual que las índices de consumo. Los índices son reportados típicamente entre 0.1 a 1 Kg. A^{-1} $año^{-1}$. Estos ánodos son relativamente frágiles y así susceptible a la fractura bajo fuerte manipuleo.

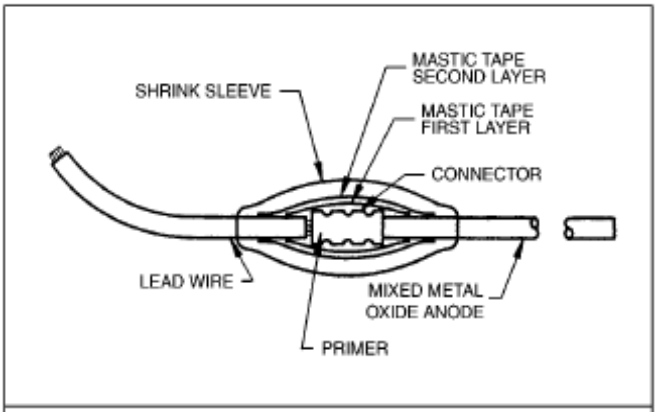
4.8.5.5. Ánodos Poliméricos

Son ánodos de cables flexibles con una base de cobre rodeado por un material polimérico que se impregne con el carbón. El carbón impregnado es consumido gradualmente en la conversión al bióxido de carbono, y subsecuentemente ocurre la perforación del filamento de cobre. Los ánodos se utilizan conjuntamente con backfill carbonoso, que aumenta según se informa su periodo de vida substancialmente. Porque estos ánodos están instalados en longitudes largas excesivas, las fallas prematuras son posibles cuando la resistencia del suelo varía extensamente.

Element	Content %
Petroleum Coke Backfill	
Fixed Carbon	99.77
Ash	0.1
Moisture	0.0
Volatile Matter	0.0
Metallurgical Grade	
Fixed Carbon	85.89
Ash	8–10
Moisture	6–9
Sulfur	0.8
Volatile Matter	0.5

Tabla 4.10 Composición Química De Backfill Coque de Petróleo y Metalúrgico

Mixed Metal Oxide
Solid Rod Anode



Standard Dimensions and Shipping Weights

ANODE TYPE	NOMINAL DIMENSIONS in. (mm) Ø		NOMINAL DIMENSIONS ft (mm) L		NOMINAL WEIGHT BARE WT oz/ft	(g/M)	NOMINAL WEIGHT PKG WT lbs	(kg)	CURRENT RATING* amps
M 84	0.125	(3.175)	4	(101.6)	0.38	(35.6)	22	(10)	7.0
M 88	*0.125*	*(3.175)*	*8*	*(203.2)*	*0.38*	*(35.6)*	*44*	*(20)*	*14*
M 44	0.25	(6.350)	4	(101.6)	1.5	(43.4)	22	(10)	15
M 48	0.25	(6.350)	8	(203.2)	1.5	(43.4)	44	(20)	30
M 24	0.50	(12.7)	4	(101.6)	6.1	(173.8)	23	(10.5)	29
M 28	0.50	(12.7)	8	(203.2)	6.1	(173.8)	46	(21)	58

*Based on 15 year design life and XE coating in saltwater

Tabla 4.11 tamaño típico y rango de datos de operación de corriente.ánodos sólidos de mezclas de óxidos metálicos

4.8.5.6. Backfill

Para usos subterráneos, los ánodos para corriente impresa se rellenan casi siempre con un material carbonoso. El relleno responde a tres propósitos:

- ✓ Reduce la resistencia ánodo-tierra.
- ✓ Aumenta la capacidad de salida de corriente del ánodo ampliando el área superficial del ánodo.
- ✓ Reduce el consumo del ánodo puesto que el relleno es conductor y cuando se está compactado correctamente parte del ánodo y es consume además del ánodo.

4.8.5.6.1. Materiales de Relleno (Backfill)

El término "backfill carbonoso" utilizado anteriormente describe los ánodos enterrados circundantes de la cama enterrada. Hay tres materiales comunes que caben en esta descripción:

- Braza de carbón coque,
- Braza de coque petróleo calcinada,
- Partículas naturales o artificiales de grafito.

La composición química para el coque de petróleo y el coque de grado metalúrgico se enumera en la tabla 4.10

Los rellenos carbonosos sirven de dos propósitos cuando rodean los ánodos de corriente impresa:

- Para aumentar el tamaño del ánodo y obtener una resistencia más baja a la tierra
- Para llevar los resultados de consumo de descarga de corriente.

La última función requiere el buen contacto eléctrico entre el ánodo y las partículas del backfill. Para lograr esto, el backfill se debe compactado sólidamente alrededor de la base.

De vez en cuando, las condiciones sub superficiales del suelo pueden no permitir la presión adecuada de contacto, o pueden soltarlo con tiempo, de modo que mucha de la corriente descargue directamente del ánodo al electrolito. Esto tiende para reducir vida del ánodo.

El índice de consumo del backfill no debe exceder dos libras por amperio por año.

En ausencia de la información específica sobre la unidad de peso del material usado, los pesos pueden ser estimados usando la tabulación de la tabla 8.8. Los fabricantes pueden proporcionar la información específica del material braza de coque.

La braza de coque se debe procurar por la especificación. El tamaño y la resistividad son importantes.

Algunos usuarios especifican, como ejemplo, que el tamaño de partícula máximo no excederá 3/8 pulg. , que el polvo no sea más del 10% será incluido y que la resistividad no excederá 50 ohm-cm. El coque de petróleo se debe calcinar (sometido a un tratamiento térmico) para quitar el resto de los productos de petróleo; si no su resistividad será demasiado alta

Material	Lb/Ft^3
Coal coke breeze.....	40 to 50
Calcined petroleum coke breeze...	45 to 70
Natural graphite particles.....	70 to 80
Crushed man-made graphite.....	70

Tabla 4.12 Pesos del backfill Carbonoso

El grafito natural o manufacturado tiene baja resistividad. Aunque el grafito natural está disponible en forma de escama, las escamas no son deseables para la cama enterrada donde el gas debe ser venteado, porque las escamas pueden bloquear la descarga. Esto se aplica particularmente a las camas enterradas bien profundas. El grafito natural se puede obtener en forma granular (menos costosa que el grafito de escama) e implicaría menos posibilidad de gas y sus dificultades de bloqueo.

Las camas enterradas de ánodos bien Profundas han reportado buenos resultados cuando un coque calcinado de petróleo bajo la forma de gránulos o granos redondeados se utiliza. Con el material de este tipo, habrá poco agrupamiento entre las partículas para bloquear el paso del gas.

4.8.6. Fuentes De Energía

La fuente de energía para un sistema de corriente impresa produce corriente directa (DC.). Varias fuentes de energía se han utilizado con los sistemas de corriente impresa incluyendo:

- Rectificadores
- Celdas solares (fotovoltaicas)
- Motores Generadores
- Generadores movidos por viento
- Celdas termoeléctricas

4.8.7. Rectificadores

A lo qué se refiere comúnmente un rectificador es realmente a una unidad transformador-rectificador. Contiene un transformador paso bajo, un significado de medios para ajustar el voltaje, un rectificador cambia la AC hacia DC., y varios controles además de otros componentes dependiendo del uso. El Figura 3.5 demuestra un diagrama esquemático del rectificador.

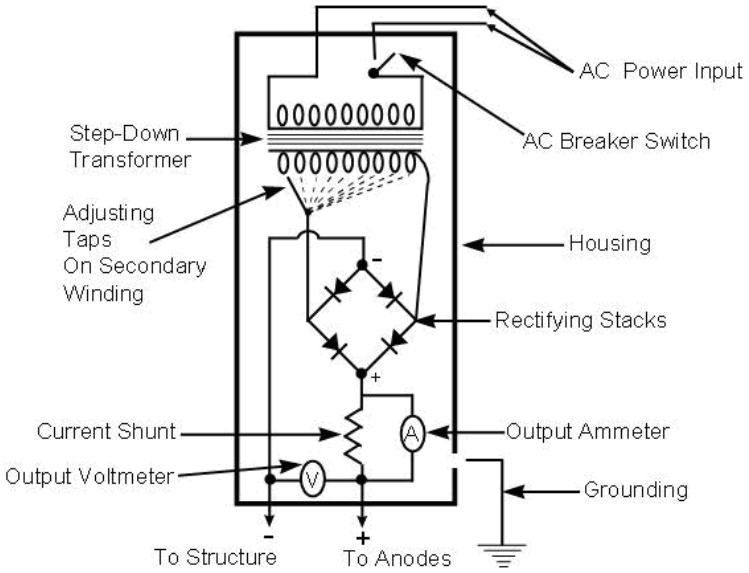


Figura 4.14 Esquema de un Rectificador de Protección Catódica.

Hay tres tipos básicos de rectificador:

- Voltaje constante - el voltaje de DC. en los terminales se mantiene constante para todas las salidas de corriente hasta la corriente máxima clasificada por el rectificador.
- Corriente constante – la corriente de salida se mantiene constante sobre un amplio rango de resistencias del circuito hasta el voltaje clasificado máximo de la salida.
- Potencial constante - la salida de corriente y de voltaje varía para mantener un potencial pre-seleccionado de la estructura.

Donde está económicamente disponible la CORRIENTE ALTERNA (AC), los rectificadores tienen ventajas económicas y de funcionamientos sobre otras fuentes de energía.

4.8.7.1. Tipos De Rectificador

Los rectificadores de protección catódica (PC) tienen los siguientes componentes principales. Éstos incluyen típicamente un transformador para reducir la línea voltaje de AC a una AC de baja tensión en secundario con un arreglo de TAP para permitir la selección de un rango de voltaje, un elemento de rectificación (generalmente diodos de silicio de onda completa para la rectificación), y una cubierta para el montaje al aire libre. Estos componentes son suplidos por un interruptor de AC y DC. Las unidades monofásicas y trifásicas son de uso común. Figura 8.1, ilustra diagramas de unidades del tipo monofásico y trifásico puente-conectado de onda completa.

Donde la actividad de tormentas eléctricas es prevalerte, es admisible proveer protección contra rayos

- Pueden ocurrir de la línea eléctrica de la distribución (lo más probable) y/o

- Oleadas que vienen de la tubería (ambas relámpago y fallas AC de tierra)

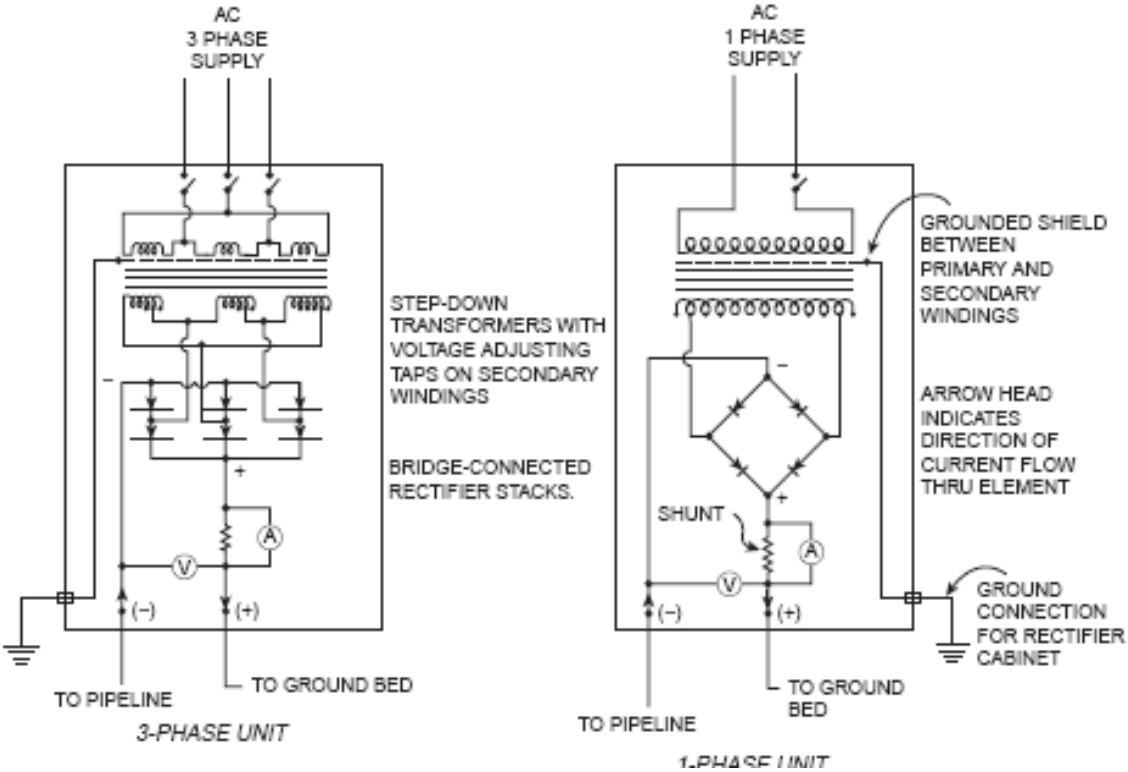


Figura 4.15 diagramas esquemáticos de rectificadores

Los elementos del Rectificador usados típicamente en unidades son los de diodo de silicio. Un diodo del silicio tiene alta resistencia al flujo de corriente en una dirección y baja resistencia en la otra. Esta característica hace la rectificación posible. Los diagramas del 4.15 demuestran eso para una dirección dada del flujo de corriente en la bobina secundaria del transformador, la corriente pueden fluir solamente una dirección a través del elemento de rectificación (en la dirección de las cabezas de la flecha). Este flujo está hacia fuera el terminal positivo a la cama enterrada y la parte posterior de la conexión el terminal negativo a la tubería. Cuando la dirección del flujo de corriente en los reveses secundarios del transformador (ésta ocurre 120 veces en normal 60 ciclo de frecuencia completa de AC, la corriente tomará una ruta diferente a través del elemento de rectificación pero fluirá hacia fuera al terminal positivo y detrás en el terminal negativo. El resultado es la corriente directa (D.C.).

Un diodo de rectificación es clasificado por el fabricante para el flujo de corriente máximo específico en una temperatura ambiental dada y para el voltaje inverso máximo (el voltaje impresionado a través del elemento en la dirección de alta resistencia). Los diodos están montados en serie o tramas con combinaciones serie-paralelas para lograr el voltaje de D.C. total y el grado de corriente necesitado para el rectificador. En rectificadores más antiguos, los elementos de rectificación eran discos o pilas del selenio, pero los rectificadores modernos utilizan principalmente los diodos como elementos de rectificación.

Los elementos de rectificación se han mejorado continuamente sobre los años en características y eficiencia de funcionamiento. Al usuario del rectificador se le aconseja revisar los avances en este campo y sustituir los viejos elementos de rectificación por los apilados mejorados cuando se justifica por las características y la eficiencia mejorada.

Los rectificadores para protección catódica pueden ser equipados con filtros en la salida de D.C. para disminuir la ondulación en la D.C. rectificada y permitir una eficiencia total más alta. Estos filtros son prácticos donde los ahorros en energía justifican el costo de la inversión adicional. Bajo ciertas circunstancias, los rectificadores "potenciales constantes" son útiles en sistemas de tuberías. Tales rectificadores se diseñan para mantener un potencial protector constante en la tubería en la localización del rectificador, que cambia a los requisitos de corriente de la tubería. Los usos incluyen áreas sujetas a corriente perdidas de sistemas de tránsito o en operaciones de explotación minera donde no están las variaciones potenciales más allá de la capacidad correctiva de este tipo de unidad.

Los rectificadores de potencial constante (véase el Figura 4.16) difieren de los rectificadores convencionales (que requieren el ajuste manual del transformador de taps para cambiar la salida) en un circuito de detección que mantenga chequeos continuos en el potencial tubería-suelo y cambia la corriente de salida automáticamente. Típicamente, esto puede ser logrado enterrando un electrodo de referencia permanente en el punto donde el potencial mantenido de tubería - suelo es constante. Una vez que el rectificador se ajuste según el potencial deseado del tubería-suelo, cualquier aumento en valor absoluto de los servicios de este potencial (a través del regulador electrónico) para aumentar la reactancia del reactor. Esto corta la parte posterior de la corriente de salida hasta un equilibrio preestablecido de potencial se recupera. Asimismo, cualquier disminución del valor absoluto de este potencial entre la tubería y el electrodo de referencia hará que la corriente de salida del rectificador aumente automáticamente hasta que se recupere el balance.

4.8.7.2. Selección Del Tamaño Del Rectificador

El tamaño del rectificador (rango de salida) dependerá sobre todo de la corriente requerida en el sitio de la instalación y el voltaje de la salida requerida para forzar la corriente a través de la tubería para la resistencia del circuito de la cama. Las pruebas de requerimiento de corriente, u otros procedimientos de diseño, determinan el amperaje. La resistencia del circuito es determinada por el diseño de la cama enterrada

El grado del voltaje de la salida se debe dimensionar 15 a 25% sobre valor de diseño calculado a tener en cuenta para cualquier cambio en la resistencia de la cama enterrada. Esto permite el mantener un total rango de salida cuando la resistencia de la cama enterrada aumenta mientras que los ánodos se deterioran con el tiempo. Los rangos finales de salida de corriente y voltaje se pueden entonces coordinar con los rangos estándares de salida definidos en los datos de la placa del rectificador o en el catálogo del fabricante. Los rangos iniciales de corriente del rectificador pueden dar una cierta comprensión de los requerimientos futuros del sistema conforme a los ejemplos siguientes. Por ejemplo, la corriente necesaria para proyectar una sección de línea desnuda no es probable que aumente con tiempo, el rectificador se puede dimensionar para resolver las necesidades existentes de corriente del diseño.

Por otra parte, una tubería bien revestida que es nuevamente puesta en funcionamiento puede requerir inicialmente solo una cantidad pequeña de corriente, pero como el recubrimiento se estabiliza con el tiempo (o se deteriora con la tensión del suelo, efecto de la temperatura, del etc.), puede requerir varias veces la corriente inicial. En estos casos, es práctico instalar rectificadores que tienen máxima capacidad de corriente varias veces mayor que lo necesitado inicialmente. Las líneas revestidas que han estado enterradas por un tiempo suficientemente largo para estabilizarse bien no tienden a requerir tanta capacidad de reserva. No porque las variables tales como longitud de sección de la tubería protegida, revestimiento usado, cambian en condiciones del suelo, los efectos probables de la temperatura, y otras condiciones se aplicará en cada caso.

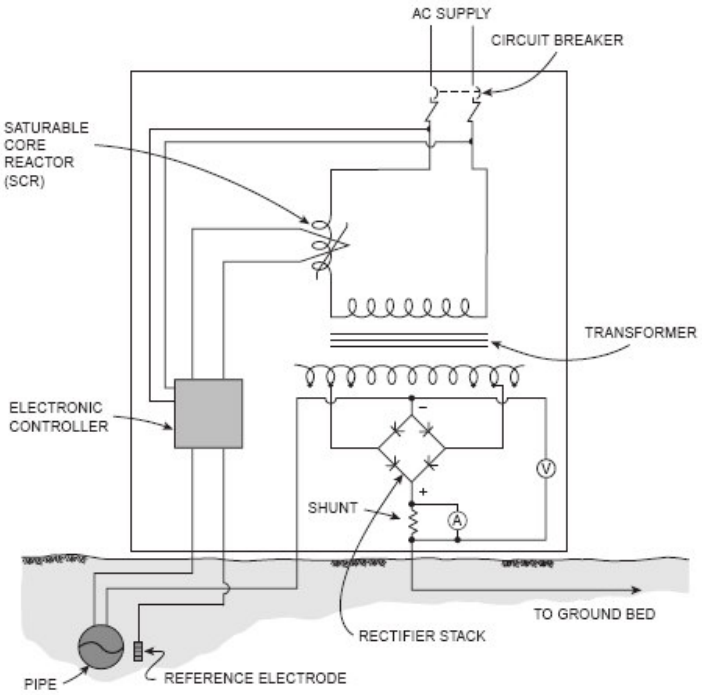


Figura 4.16 Diagrama Típico de un Rectificador de Potencial Constante

Cuando el tiempo permite, algunos ingenieros de corrosión de tuberías diseñan e instalan camas enterradas de corriente impresa antes de decidir el nivel del rectificador. Siguiendo este procedimiento, es posible medir la resistencia instalada del circuito y hacer nuevas pruebas de requerimiento de corriente usando la cama enterrada terminada. El voltaje del rectificador y los rangos de corriente se pueden seleccionar con la total seguridad que la instalación trabajará tal y como fue previsto. Aunque los resultados son positivos, este procedimiento requiere más tiempo e implica el costo adicional para las visitas del personal de construcción para hacer instalaciones del rectificador. Sin embargo, cuando los diseños de la cama enterrada se pueden elaborar con exactitud razonable, este procedimiento no es necesario.

En la determinación de costos de energía, el ingeniero de corrosión debe reconocer que los rectificadores más pequeños a lo largo de la tubería (tuberías particularmente bien revestidas) pueden marcar tan poca energía que los costos no exceden la facturación mínima de la compañía de la energía (cuando sea aplicable). En tales casos, la eficiencia relativa del rectificador puede tener poca concernencia a la opción económica.

Aunque los rectificadores que funcionan con energía trifásica son más eficientes que unidades monofásicas, la energía trifásica puede estar disponible en relativamente pocas localidades a lo largo de la tubería. Donde está disponible, la opción entre las unidades monofásicas y trifásicas se debe basar en un estudio de costo relativo. Los resultados de este estudio pueden esperar favorecer a las unidades trifásicas para las instalaciones grandes.

El uso de los filtros para la mejora en eficiencia debe ser considerado solamente cuando reducirán el costo neto anual de la instalación completa. Los ahorros serán un resultado de una reducción en costo de energía. Las tarifas aplicables de energía deben ser determinadas al hacer comparaciones de costos. Los fabricantes del rectificador que equipan los filtros para su equipo deben proporcionar datos en la mejora de la eficiencia.

4.8.7.3. Especificaciones Del Rectificador

Después de decidir sobre el tamaño y tipo del rectificador que se utilizará, las especificaciones para ordenar un equipo, deben incluir por lo menos la siguiente información para asegurar la obtención de la unidad correcta al comprar de las líneas estándares de los fabricantes del rectificador.

a) **AC input**: Voltaje, mono o trifásico y frecuencia. Por ejemplo: 120/240 V, monofásico, 60 ciclos. (La expresión 120/240 significa que la unidad puede ser conectado en campo para la operación en la AC de 120 o 240 V).

b) **Máxima D.C**. de salida en amperios y voltios.

c) **Tipo de Refrigerado**, inmerso en aceite, o por aire y a prueba de explosiones.

d) T**ipo de Montaje**: poste, pared, o en piso (cojín).

e) **Elementos de rectificador** tipo silicio y cualquiera puente de onda completa o TAP central de onda completa.

f) **Funcionamiento** máxima a temperatura de ambiente.

g) **Equipo protector**: Interruptor en entrada (breaker) de AC. Bobina blindada del transformador. Pararrayos de relámpago, etc.

h) **Instrumentos**: Voltímetro y amperímetro con exactitud (tal como 2 por ciento de escala completa).

i) Las provisiones para los terminales de corriente externos de desviación (SHUNTS) y los terminales de potenciales para los chequeos periódicos de los instrumentos del rectificador deben ser especificados.

j) Encajonar la construcción tal aluminio anodinada, galvanizada acero revestido

Cuando las unidades estándar no resuelven requisitos necesarios, es necesario especificar disposiciones complementarias. Éstos pueden incluir un filtro de la salida para la mejora de la eficiencia, los terminales positivos adicionales (para los ánodos enterrados individuales bien profundos de la cama por ejemplo), los terminales negativos adicionales por donde do la corriente es drenada a una tubería, las desviaciones que miden corrientes adicionales, los pararrayos de relámpago u otro equipo protector especial, cubierta especial final y/o diseñado, y otras características especiales como sea necesario

Algunos usuarios de una gran cantidad de rectificadores PC preparan de detalle especificaciones estándar, que incluyen los requisitos mínimos para todos los componentes de montaje del rectificador. Éstos son utilizados para hacer que los equipos sean uniformes en vez de unidades que ordenan de la línea estándar de un fabricante. A menos que el número de las unidades pedidas sea substancial, éste puede implicar costo adicional porque los fabricantes pueden tender a modificar sus técnicas de producción del estándar para resolver las especificaciones.

4.8.7.4. Eficiencia Del Rectificador

En adición al tipo de los elementos usados del rectificador y si se utilizará un filtro de salida, la eficiencia del rectificador es afectada por el porcentaje corriente o voltaje cargado. El efecto es ilustrado por la Figura 4.17, que demuestra las curvas de eficiencia típicas para las unidades operativas (1) a corriente completa pero en voltaje reducido y (2) en voltaje completo pero a corriente reducida.

Las curvas demostradas son para ilustración solamente y no se deben utilizar para los cálculos. Si se requieren cálculos, utilizar curvas que se aplican al equipo que es considerado. Las curvas en la figura demuestran que la eficiencia sufre más cuando las unidades funcionan en un porcentaje pequeño del voltaje clasificado. La eficiencia total real de una unidad de funcionamiento del rectificador se puede determinar como sigue:

$$Eficiencia\ \% = \frac{DC\ poder\ de\ salida}{AC\ poder\ de\ entrada}\ x\ 100$$

La salida de la potencia DC Es la corriente de salida multiplicada por el voltaje de salida. La entrada de la AC se puede medir por un vatímetro. Si el rectificador tiene un medidor de kilovatio-hora (proporcionado por la compañía de energía) se mide la energía tomada por el rectificador solamente, use esto para medir la entrada de energía. Si el medidor está marcado con una constante de medición, medir el número de segundos para que el disco del medidor haga una revolución. El consumo de energía es entonces (3600 s/h/s para una revolución de disco) x medida constante D vatios de entrada. La constante de medida se demuestra generalmente en la cara del medidor del kilovatio-hora.

Simplemente midiendo el voltaje de entrada de AC y corriente y multiplicándolos para obtener la entrada de la AC si se descuida el factor de la energía no será exacto. Si, sin embargo, es imposible medir la entrada de energía verdadera, usando la corriente de entrada y el voltaje, se tendrá una aproximación razonable. Si se hace esto, la eficiencia total de las medidas subsecuentes de curva de eficiencia para la línea con una unidad rectificadora refrigeradas por aire conectado con puente de selenio clasificada en 60 V, 60 Amp de carga completa de salida DC. 230-V, monofásico, entrada AC.

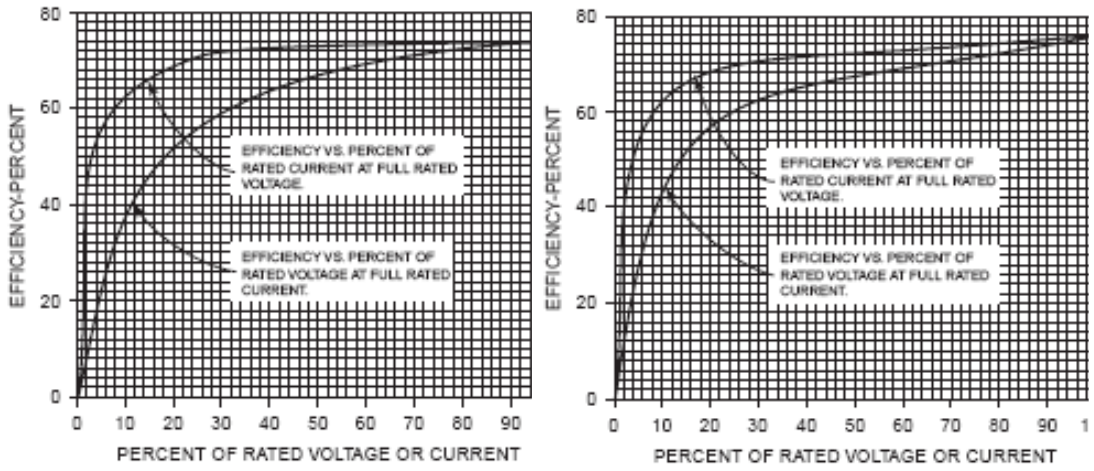


Figura 4.17 Eficiencias Del Rectificado. Top: Selenio – Típico

Top: Silicio - curvas típicas de eficiencia total para línea refrigerado por aire, puente de silicio conectada a la unidad del rectificador den rangos de 40 V, 34 amperios salida D.C. de carga total. 230 V, entrada de AC monofásico. (Cortesía de Universal Rectifier, Inc.) se debe hacer de manera semejante para detectar cualquier deterioro de eficiencia en períodos de tiempo.

4.8.7.5. Detalles De La Instalación Del Rectificador

Varios estándares para instalación de rectificador son utilizados por compañías operadoras de tuberías. Las prácticas de la instalación difieren dependiendo de las condiciones locales y preferencias individuales. En efecto no hay un estándar universal. Los bosquejos de la instalación de rectificadores se demuestran abajo, se pueden adaptar cuanto sea necesario para resolver las

exigencias del usuario. El Figura 8.5 ilustra un método para instalar un rectificador montado en poste de PC.

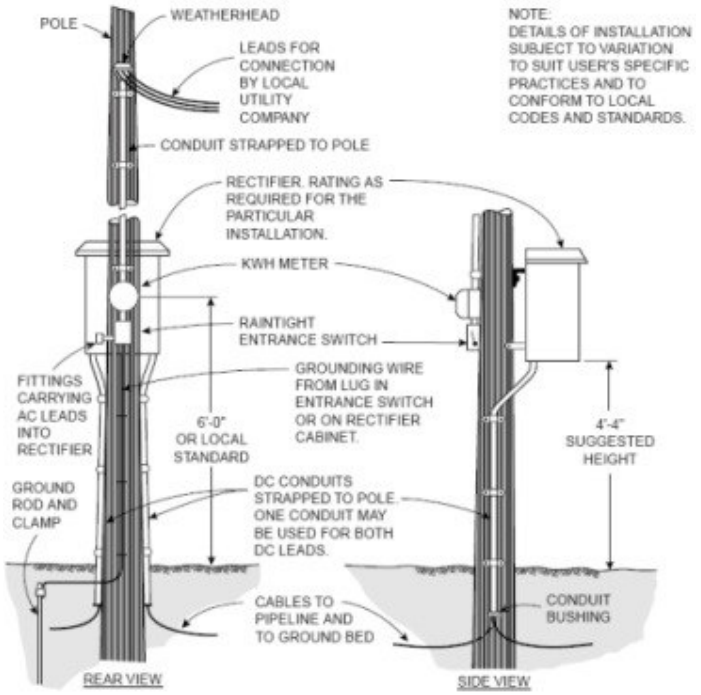


Figura 4.18 Rectificador Montado En Poste.

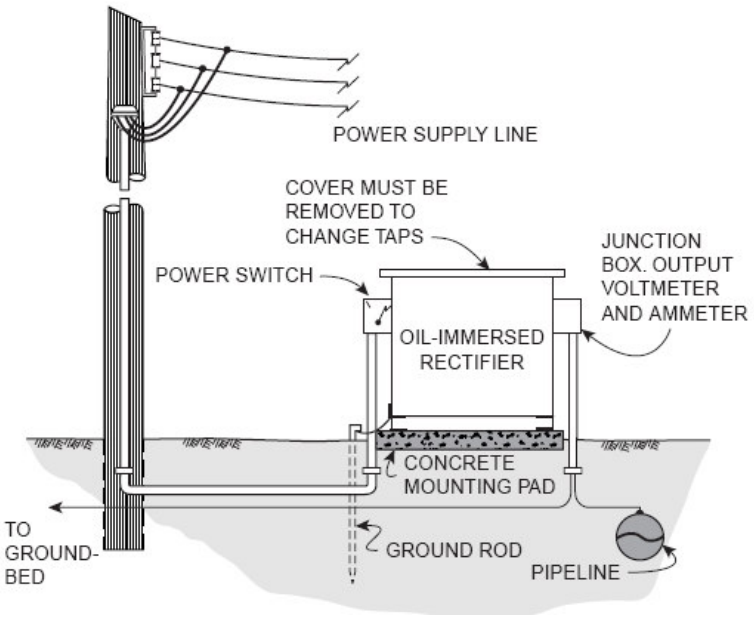


Figura 4.19 Rectificador Montado En Concreto.

El Figura 4.19 demuestra el uso de una cama de concreto para los rectificadores refrigerados por aire (tipo pedestal), llenados con aceite y a prueba de explosiones. Ninguna de estas figuras representa una tentativa de estándar para las prácticas de instalación del rectificador. Se incluyen para servir solamente como guía a los que puedan preparar los estándares de instalación que se aplican a los propios requisitos específicos del sistema.

4.8.8. Paneles Solares

Los paneles solares generan la DC por una acción fotovoltaica con la luz del sol. Los paneles se combinan con baterías de almacenaje para proporcionar energía durante horas de oscuridad y en días nublados.

4.8.9. Unidades Moto generadoras

Las unidades Moto generadoras se pueden utilizar como fuente de energía para los sistemas de corriente impresa. Estas unidades accionan generalmente los rectificadores estándares según las indicaciones del Figura 3.6.

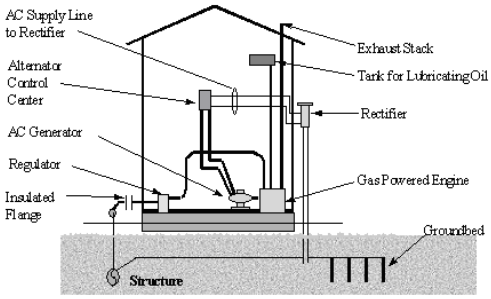


Figura 4.20 Unidad Moto generadora.

4.8.10. Generadores Accionados Viento

Los generadores accionados por aire pueden ser utilizados en áreas con vientos predominantes de suficiente velocidad. A estos generadores también se cargan las baterías de almacenaje para proporcionar una constante corriente de protección catódica.

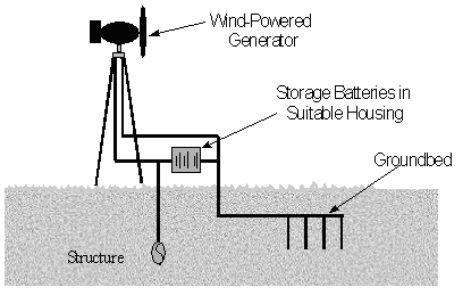


Figura 4.21 Instalación del Generador movido por viento

4.8.11. Generadores Termoeléctricos

Estas unidades generan voltaje calentando una unión de dos metales disímiles. Generan corrientes pequeñas, se utilizan en lugares que tienen poca intensidad de corriente

4.9. CONEXIONES ELÉCTRICAS

Todas las conexiones eléctricas usadas en sistemas de protección catódica por corriente impresa (excepto las superficies activas del ánodo) se deben sellar totalmente con material dieléctrico

4.9.1. Tipos De Cable

Todo cable subterráneo, que es parte de una cama enterrada para corriente impresa, que está en un potencial positivo con respecto a la tierra. Si no es aislado perfectamente, el cable descargará

la corriente y lo corroerá en dos, cortando así la todo o parte de la corriente desde la cama enterrada. Así el aislamiento de primera calidad debe ser usado en todos los conectores del ánodo y conexiones de cables de la cama enterrada.

El aislamiento debe tener por lo menos un grado 600-V y sea conveniente para el entierro directo. El alambre con un aislamiento de polietileno de alto peso molecular (HMW/PE) es ampliamente utilizado para la construcción de camas enterradas. Esto ha sido eficaz en la mayoría de los casos. El polietileno se puede utilizar con o sin una chaqueta protectora. Donde el cloro gaseoso puede ser generado debido a la operación de cama enterrada o los ambientes químicos severos pueden ser encontrados, una chaqueta protectora de KYNARTM o de HALARTM puede ser necesaria.

El cable se debe examinar cuidadosamente durante la instalación para que sea absolutamente seguro de que no existan raspones o cortes que pueden presentar problemas más adelante. Cualquiera marca con un raspón o corte adentro del aislamiento debe ser sellada con una manga termo contraíble. Se seleccionan backfill libre de piedras agudas o de otros materiales dañinos que puedan entrar en contacto con el cable de la cama enterrada La información del catálogo sobre el cable para la construcción de la cama enterrada está disponible a través de fabricantes y a través de surtidores del material de PC.

Seleccionar tamaño del cable tiene un aspecto práctico y económico. Desde punto de vista práctico, el cable debe ser bastante grande para llevar la corriente prevista (véase código eléctrico nacional para las tablas del grado de corriente) y soportar las tensiones mecánicas encontradas durante la construcción de la cama enterrada. Cables más pequeños que el Nº 8, para ánodos de corriente impresa no son adecuados. Los ánodos nunca se deben instalar por el cable. Similarmente, el cable que es inusualmente grande puede causar problemas de manipuleo y conexión durante la construcción. Desde el punto de vista económico, el seleccionar un tamaño del cable basado en una comparación del costo del cable con la capacidad de carga y el coste de pérdida de poder por la resistencia del cable cuando la corriente fluye a través de él.

4.9.2. Conexiones

Las conexiones eléctricas entre los ánodo y los cabezales del cable son una parte crítica en la construcción de las camas enterradas para corriente impresa Los conectores del ánodo se deben conectar con el cabezal del cable por un método que tenga permanentemente baja resistencia. La conexión, una vez que esté hecha, debe ser aislada de modo que sea impermeable a fugas de corriente y a corrosión del cable.

Los métodos aceptables de conexión para cables de cobre incluyen soldadura suave, la soldadura en polvo (térmico), soldadura dura (de plata), soldadura de cobre, acopladores a compresión (tipo clamp), y acopladores de perno partido. Los primeros cuatro métodos dan lugar a ensambles completos de metales y tienen baja resistencia permanente. Los métodos mecánicos, si se utilizan correctamente, también dan conexiones de baja resistencia, que seguirán siendo bajas si el aislamiento común elimina totalmente la humedad y el aire de modo que ninguna película de corrosión se pueda formar dentro del empalme para introducir resistencia. Al usar los métodos de soldadura que implican el uso fuego, el aislamiento del cable adyacente a la conexión se debe proteger contra el daño por calor. Cualquier sección dañada por calor se debe quitar antes de aislar la conexión.

Los empalmes se deben aislar con materiales y métodos para igualar, por lo menos, la fuerza de aislamiento eléctrico original del cable. El trabajo debe ser hecho de manera muy cuidadosa de modo que el aislamiento cubra todo el metal expuesto y traslape el aislamiento del cable por lo menos 1 pulg Donde se utiliza el cable revestido, la chaqueta se debe quitar alrededor de los

primeras 12 pulg para poder exponer el aislamiento básico del cable, y entonces el aislamiento común aplicado se adherirá al aislamiento del cable y al material de la chaqueta.

Un aceptable aislamiento común incluye el aislamiento de la resina epoxy fundido y varias cintas. Hay varios fabricantes del empalme para las aplicaciones en PC. Estos materiales utilizan un molde diseñado para rodear el empalme que se cubrirá. Entonces se llena de una resina catalizada que fije rápidamente para formar un molde sólido alrededor del empalme y del aislamiento traslapado del alambre. Hecho correctamente, el material vertido llena todas las grietas del empalme para excluir la humedad y el aire. Tales conexiones se recomiendan particularmente para los empalmes mecánicos pero se utilizan también con otros tipos.

El aislamiento común se puede alcanzar con el caucho de alto voltaje de alta calidad que empalma la cubierta compuesta el metal común y que traslapa el aislamiento del cable. Esto es seguido por dos capas mitad traslapadas de cinta de goma seguidas por dos capas mitad traslapadas de cinta plástica. Los puntos o las esquinas agudas se deben quitar de los empalmes. Si no pueden ser redondeados suficientemente para prevenir la ruptura de la cinta, pueden ser rellenados con masilla eléctrica. Los detalles de materiales de juntas y aislantes se pueden obtener de los catálogos de los proveedores de material de PC.

Las conexiones del empalme son generalmente el acoplamiento más débil de una instalación cama enterrada.

4.10. CAMAS ENTERRADAS PARA ESTRUCTURAS SUBTERRÁNEAS

De la descripción anterior, el importante rol actuado por las camas enterradas en las cuales los ánodos de corriente impresionados están situados debe ya ser evidente. El material carbonoso (tal como coque braza y grafito) usado como relleno (backfill) aumenta el tamaño eficaz del ánodo y baja la resistividad al suelo. Es importante realizar que, con tales rellenos, la reacción anódica se transfiere principalmente al relleno. De tal manera el consumo real del material del ánodo se reduce. Para asegurar la baja resistividad del material del backfill, su composición, la distribución de tamaño de partícula, y grado de compactación (apisonamiento) necesitan ser controlados. El alterar dos variables también afecta el grado en el cual los gases generados en la instalación del ánodo pueden escaparse. Si es difícil establecer la continuidad de las características deseables del backfill en la tierra, los ánodos pre embaladas.

Los ánodos se pueden arreglar horizontal o verticalmente en la cama enterrada. Los más comúnmente usados son los ánodos de barras cilíndricas que pueden ser de longitud continua variada o un sistema de barras paralelas. Algunas características ventajosas de las camas profundas verticales de ánodos incluyen una resistividad más baja en la cama del ánodo, un riesgo más bajo de corrientes perdidas inducidas, baja área superficial de un derecho de paso requerida, y mejora en la distribución corriente en ciertos geometrías.

Las limitaciones que necesitan ser tratadas extra incluyen un costo inicial más alto por unidad de corriente salida, reparar dificultades, y riesgo creciente de la obstrucción del gas.

En muy altas resistividades de suelo, un diseño de cama enterrada con un funcionamiento continuo de ánodos paralelos a una tubería puede ser requerida. En tales ambientes los ánodos darán lugar a una distribución pobre de corriente, y el perfil de potencial de la tubería será insatisfactorio. El potencial del Tubería-suelo puede alcanzar solamente niveles satisfactorios en proximidad cercana a los ánodos si los ánodos discontinuos se emplean en suelos de alta resistividad.

4.10.1. Diseño del sistema

El diseño de los sistemas de corriente impresa de PC es una cuestión para especialistas experimentados. Los primeros tres pasos básicos son similares a los diseños para ánodo de sacrificio, nombrando; evaluación de la corrosividad ambiental (la resistividad del suelo es considerado generalmente el factor principal), determinar el grado de continuidad eléctrica en el sistema, y subsecuentemente estimar los requerimientos de corriente total.

Un concepto extremadamente útil para determinar los requerimientos de corriente en sistemas existentes es prueba la corriente drenada. En estas pruebas, una corriente de PC se inyecta en la estructura con una fuente de poder temporal DC. Las unidades comerciales pequeñas que proveen hasta 10 A de corriente están disponibles para estos propósitos. Una cama enterrada de ánodo temporal también se requiere; los accesorios puestos a tierra tales como cercas, hidrantes contra incendios, o luces de calle se han utilizado. Los potencial logres son instalados en las seleccionadas estaciones de prueba para monitorear el potencial de respuesta a la corriente inyectada. La relación registrada entre el potencial y la corriente se utiliza para definir qué nivel de corriente será requerido para alcanzar cierto criterio de protección.

Un ejemplo de resultados de una prueba de drenaje de corriente se realizó en una tubería de acero enterrada revestida y se muestra en el Fig. 4.22. Una vez que los data loggers y hardware hayan sido instalados, estas pruebas requieran generalmente algunos minutos de tiempo.

Después de culminar los tres pasos antedichos, la geometría y el material del ánodo tienen que ser especificado, junto con un diseño de la cama enterrada. El diseñador necesita considerar los factores tales como la uniformidad de la distribución de, efectos posibles de interferencia, la disponibilidad de la corriente eléctrica, y ordenanzas municipales y políticas locales con respecto a localizaciones del rectificador. Una vez que se defina la disposición del circuito y el cableado, la resistencia del circuito puede ser calculada y el rectificador se puede clasificar posteriormente en términos de salida de corriente y potencial. Por última consideración se debe diseñar el equipo auxiliar para propósitos de control y estaciones de la prueba para propósitos de supervisión. Los diseños modernos incluyen las provisiones para la supervisión del funcionamiento alejado del rectificador y los ajustes alejados de la salida del rectificador.

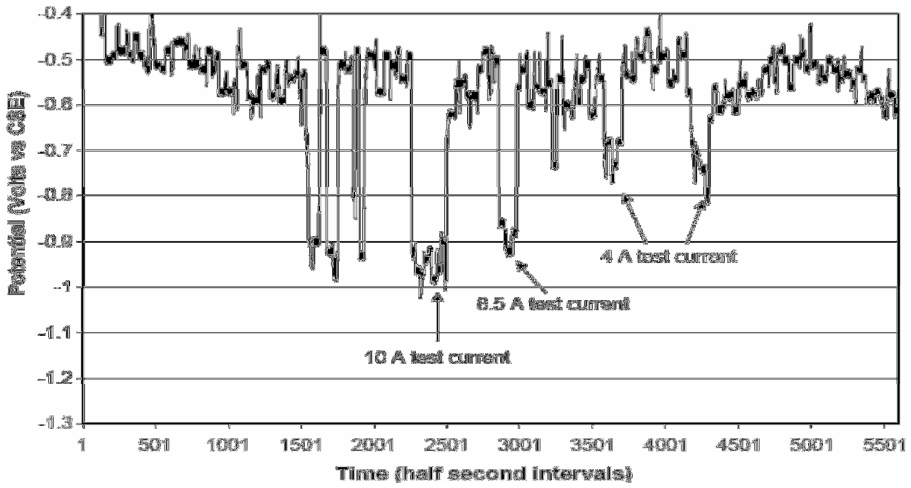


Figura 4.22 Prueba de drenaje de corriente

5. CAPITULO V MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA EFICIENCIA Y REGISTROS.

5.1 INTRODUCCIÓN

Las mediciones en terreno representan una parte muy importante para supervisar cualquier sistema de control de corrosión. Aunque hoy hay en operatividad muchos sistemas de monitoreo remoto, sigue siendo necesario tomar datos de campo para asegurarse que los sistemas de protección catódica esté funcionando correctamente y proporcione la protección adecuada a la estructura.

Es esencial que los datos sean tomados claros y exactos. Los datos serán utilizados para evaluar la eficiencia de la protección catódica, de los enlaces de interferencia, de los dispositivos de control de corrientes parásitas, y demás. Si los datos no son exactos ni correctos, la evaluación fallará y estas responderán al programa de control de corrosión que será engañado, pensando que los sistemas están trabajando correctamente cuando puede no ser cierto. Esto podía conducir a fallas, fugas, fuegos, explosiones, y a otras situaciones peligrosas.

Se debe saber cómo los instrumentos funcionan y qué errores son posibles. Esto significa tener una comprensión cuidadosa de los instrumentos que se utilizan y un conocimiento de cómo los datos deben aparecer. Significa que se debe tomar un tiempo en campo para repasar los datos y asegurarse de que sean correctos. Recordar, si los datos no parecen correctos, probablemente no lo están. Por supuesto, los datos inusuales pueden indicar un malfuncionamiento, y es importante que se reconozcan estas situaciones, también.

5.2 RAZONES DE MONITOREO

La razón más obvia de supervisar la protección catódica es cerciorarse de que la corrosión está bajo control. Cuando una estructura se corroe, las fugas pueden ocurrir, se puede perder producto, y los daños estructurales pueden ocurrir. Hay también de la preocupación pública sobre la seguridad y daños ambientales. Por esta razón, las regulaciones se han decretado en muchas industrias y los países se aseguran que estructuras que contienen productos peligrosos se protegen adecuadamente para reducir el riesgo al público y ambiental.

5.3 REQUISITOS DE MONITOREO

Aunque las agencias reguladoras han adoptado los estándares dispuestos por NACE, la organización de estándar internacional (ISO), Det Norske Veritas (DNV), etc. con respecto al control de la corrosión, muchas han ido un paso más lejos especificando medidas e intervalos específicos de tiempo en los cuales estas medidas deben ser tomadas. Las medidas no sólo incluyen potenciales estructura-a-electrolito, pero otros métodos indirectos de monitorear la protección en un sistema entre Pruebas de potencial. También, en la industria de tubería de Estados Unidos, los esfuerzos están siendo hechos por el U.S. Department of Transportation (DOT) al decretar “Operator Pipeline Qualification” estándares que gobernarán las calificaciones requeridas del personal que supervisarán la protección catódica.

En los Estados Unidos, una mayoría de instalaciones que contienen los materiales peligrosos son reguladas por agencias que hacen cumplir el Code of Federal Regulations (CFR). Los requisitos del control de corrosión que se pueden encontrar en estas partes del código son:

- Tuberías del gas natural del - 49 CFR, parte 192, Subpart I
- Gas natural licuado - 49 CFR, parte 193, de Subpart G líquidos peligrosos 49 CFR, parte 195, Subpart D
- Tanques de almacenaje subterráneos 40 CFR, parte 280

5.4 MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA

Para determinar que un sistema de protección catódica está funcionando correctamente y está protegiendo una estructura contra la corrosión, los siguientes datos se registran sobre una base rutinaria:

- Potencial Estructura-a-electrolito
- Voltaje del rectificador y
- Corriente de salida ánodos galvánicos.
- Magnitud y dirección de la corriente a través de enlaces de la mitigación.
- Resistencia de las camas enterradas
- Integridad de los rectificadores, juntas aislantes, enlaces eléctricos, y otras características físicas asociadas al sistema de control de corrosión.

La medición de los potenciales estructura-a-electrolito es el único método para determinar cuándo se alcanza la protección catódica adecuada. Después de que se haya conducido una prueba de potenciales, sin embargo, otras medidas indirectas se pueden utilizar para monitorear un sistema antes de la siguiente prueba de potencial. Por ejemplo, la salida de corriente que se mide de un rectificador no proporciona ninguna información sobre el nivel de protección de un sistema.

¿Si una prueba anual de corrosión indica que una estructura bien cubierta fue protegida adecuadamente con 10 amperios y después de la prueba la estructura se puso en cortocircuito eléctricamente cerca de una gran estructura desnuda, midiendo 10 amperios en el rectificador representaría la protección adecuada en la estructura de interés?

La respuesta es probablemente no. La única manera de que la salida de corriente puede ser usada, como una medida de protección catódica es si el sistema ha seguido sin cambiar desde que la prueba de potencial fue conducida. Por lo tanto, el resto de medidas y de pruebas que se hacen entre las pruebas de potenciales se basan en la conjetura de que todo es igual durante la prueba de potencial.

Otros procedimientos para supervisar la eficiencia de la protección catódica, es que se puede conducir en intervalos específicos, incluyen:

- Estaciones de la prueba de cupón
- Estaciones de la prueba de prueba de resistencia eléctrica
- Examinación de la estructura de la excavación o vibraciones
- Prueba de potencial a intervalo cercanos (Close interval potential surveys).

5.4.1 Mantenimiento de Registros

La documentación es la única manera de seguir la historia de un sistema. Los datos que se obtienen se convierten en parte de los expedientes de protección catódica de la compañía.

5.4.2 Técnico

Los datos exactos son esenciales para la detección de malfuncionamientos en sistemas de PC. Las tendencias se pueden analizar sobre tiempo extendido y los planes se pueden hacer para el mantenimiento y la reparación.

5.4.3 Legal

En caso de un accidente o de un pleito, los buenos registros son esenciales para la defensa legal.

5.4.4 Hojas De Datos (Data Sheet)

Las hojas de datos son extremadamente importantes. Los datos se deben incorporar exacta y cuidadosamente. Obviamente, no siempre es posible mantener las hojas de datos aseadas, particularmente al trabajar en tiempo inclemente o condiciones adversas o sucias. Puede ser necesario copiar los datos sobre las hojas nuevas después de volver del campo.

Las hojas de datos deben ser guardadas de una manera tal que cualquier otra persona pueda ir después en el mismo trabajo, repetir las mediciones, y obtener datos en las mismas localizaciones que se hicieron. Recordar que se puede ser asignado para hacer una inspección anual en una estructura desconocida usando solamente las hojas de datos de la persona que estuvieron anteriormente.

5.4.5 Fecha, Tiempo, y tiempo,

La fecha, el tiempo, y las condiciones atmosféricas se deben observar siempre en las hojas de datos.

5.4.6 Planos

- Mostrar la disposición de la estructura.
- Mostrar la localización de las mediciones con la polaridad de la medida.
- Nombre del registro y números de serie de todos los instrumentos usados.

5.4.7 Condiciones del sitio

Indicar siempre condiciones inusuales del sitio.

5.4.8 Legibilidad

Los datos deben ser legibles de lo contrario no tienen valor.

5.4.9 Registros computarizados y hojas de balance

Casi todos los expedientes de corrosión se guardan actualmente en bases de datos en computadoras. Estas bases de datos demuestran generalmente los puntos de prueba, fecha de prueba pasada, las medidas mismas, si los datos resuelven el criterio seleccionado o no, y cuando se debe hacer la siguiente prueba. Las impresiones se generan las veces necesarias por los técnicos para tomar en campo y programar las siguientes pruebas. Los datos más últimos entonces se incorporan a la base de datos. Las hojas de balance se pueden también generar demostrando los puntos de prueba que no resuelven criterios. Éstos se pueden tomar en el campo para la investigación de averías.

Si se han estado recogiendo datos en un Data logger, los datos se pueden incorporar directamente a una computadora. Los gráficos y las hojas de balance de datos pueden ser generados, o los datos se pueden descargar en el sistema informático de la compañía

Las compañías grandes, particularmente las que tienen operaciones extendidas en un área grande, ahora están utilizando el acceso del Internet para el control de los datos de corrosión. Esto permite para todos los datos en el área de un técnico estar disponible sin tener que tener un sistema informático grande en oficinas locales.

5.4.10 Facilidad de Mapas y Documentación de Trabajo

Las compañías que operan plantas subterráneas, tales como tuberías o cables, mantienen atlas de mapas donde demuestran la localización de estructuras, puntos de prueba, instalaciones de

protección catódica, y muchos otros datos. Lo mismo sucede en muchas plantas industriales grandes, refinerías, campus de universidad, e instalaciones similares. Se necesita estar al corriente de lo que demuestra y puedan trabajar con estos mapas en campo.

La documentación del trabajo es esencial. La responsabilidad de poner al día los mapas dependerán de esta información para mantener los mapas actuales o para generar mapas nuevos. Por lo tanto, los planos as-built (construcción) de las instalaciones del control de corrosión deben ser exactos. Asimismo, si se está implicado con reparaciones de estructuras o componentes del control de corrosión, la información exacta debe ser exacta. La exactitud en esta documentación de trabajo es tan importante como la exactitud en las hojas de datos, según lo discutido arriba en "hojas de datos."

5.5 ELECTRODO DE REFERENCIA PORTATILES

Electrodos de referencia de plata - cloruro de plata (Ag-AgCl)

Se utilizan para mediciones en agua de mar. El electrodo Ag-AgCl también se utiliza en estructuras concretas.

5.5.1 Electrodo de referencia Calomel

El electrodo saturado de la referencia Calomel consiste en mercurio - cloruro mercurioso en una solución saturada del cloruro de potasio. Esto es sobre todo un electrodo del laboratorio

5.5.2 Electrodo de referencia de Zinc

El Zinc se utiliza a veces como electrodo de referencia puesto que el potencial del zinc es relativamente estable. El zinc es realmente un electrodo de pseudo-referencia puesto que el potencial del zinc puede cambiar mientras que el ambiente cambia. Para el uso subterráneo, el electrodo de zinc se empaqueta en un bolso del paño que contiene un relleno (backfill) según lo utilizado alrededor de ánodos de zinc. En agua, los electrodos del zinc son usados desnudos

5.5.3 Dióxido de manganeso

El electrodo del dióxido del manganeso también se utiliza en estructuras de concreto reforzadas.

5.5.4 Electrodo de grafito

El grafito es un electrodo de pseudo-referencia que se utiliza a veces en estructuras de concreto reforzado.

5.6 COMPARACIÓN DE VALORES DE POTENCIAL DE ELECTRODOS DE REFERENCIA TÍPICOS VS. ELECTRODO DE REFERENCIA COBRE-SULFATO DE COBRE

Los valores relativos de los electrodos se muestran en la tabla 4.1

Electrodo (Media-Celda) *	**Potencial (Volt)**
Cobre – Sulfato de Cobre	0.000
Calomel Saturado	–0.070
Plata – Cloruro de Plata (Saturado)	–0.050
Zinc	–1.100

Tabla 5.1 Valores relativos de Electrodo de Referencia Típicos para el Electrodo de Referencia Cobre – Sulfato de Cobre **Electrodo usado bajo condiciones estándar (del RP0169-99)*

5.7 ELECTRODOS DE REFERENCIA PERMANENTES

Un electrodo de referencia de Cobre-Sulfato de Cobre es usado en instalaciones subterráneas. Estos electrodos son usado para reducir la caída IR en la medidas de potencial en locaciones inaccesibles Figura 4.1 muestra una unidad estacionaria CSE.

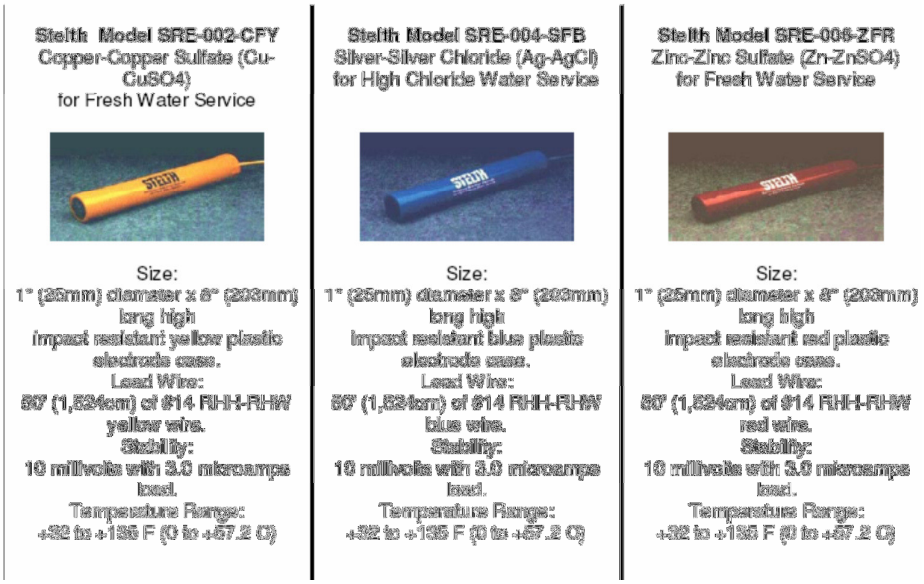


Figura 5.1 ELECTRODOS DE REFERENCIA PERMANENTE

Electrodos de referencia estacionarios que contienen ambas zinc y Ag-AgCl se utilizan en las estructuras construidas mar adentro.

Para los tratamientos térmicos de aceite, las cajas intercambiadoras de calor de agua, y otros recipientes, los electrodos de referencia se pueden instalar a través de la pared del recipiente en lugares estratégicos.

Similarmente, los electrodos de referencia son instalados en estructuras de concreto reforzado. Varios tipos de electrodos se utilizan para este propósito.

5.7.1 APLICACIONES TÍPICAS

5.7.1.1 Potencial Estructura-Electrolito

a) Base De Medición

Un potencial estructura-electrolito se refiere comúnmente como el potencial estructura-a-electrolito o estructura-a-suelo. La definición de un potencial del estructura-a-electrolito es:

"La diferencia de potencial entre la superficie metálica de la estructura y el electrolito que se mide referente a un electrodo en contacto con el electrolito."

Un potencial estructura-a-suelo es una medida paralela. El circuito externo de esta medición es alto, así que un voltímetro de alta resistencia de entrada se requiere para la medida exacta.

b) Rangos Del Voltímetro

Las escalas más comunes del voltaje D.C. en los medidores y su uso son como sigue:

- • 200 mili voltios lecturas de desviación de corriente
- • 2 Voltios potenciales Estructura-a-electrolito
- • 20 Voltios potenciales Estructura-a-electrolito y salida del voltaje del rectificador
- • 200 Voltio- voltaje de salida del Rectificador
- • 1000 Voltios - Voltaje Desconocido

c) Localización Del Electrodo De Referencia

Para reducir al mínimo la caída IR en el electrolito, el electrodo de referencia se debe colocar tan cerca a la estructura como sea posible. Al tratar de tuberías o de tanques subterráneos, la posición apropiada del electrodo está sobre el centro de la estructura. Hay épocas, sin embargo, cuando el electrodo se coloca adrede a cierta distancia de la estructura; esto se discute más adelante bajo sección "Pruebas superficiales de potencial - Surface Potential Survey" y bajo "determinación de la tierra remota".

En tanques de almacenamiento de agua, el electrodo se debe colocar tan cerca de la pared del tanque como sea posible. Igual es verdad para la línea de costa y las estructuras construidas mar adentro; el electrodo debe estar tan cerca como sea posible. En aguas en movimiento, el electrodo puede moverse alrededor, así que algunas estructuras se equipan de alambres guía o de conductos plásticos perforados para restringir el movimiento de un electrodo portátil.

Para los tanques de almacenaje, los datos se toman con frecuencia alrededor de la periferia del tanque. Esto puede no rendir datos exactos sobre los potenciales bajo el fondo del tanque, particularmente si los ánodos están en un anillo alrededor del tanque. Los electrodos permanentes de referencia bajo el fondo del tanque rinden los mejores datos.

5.8 CLOSE INTERVAL POTENTIAL SURVEY

Una serie de potenciales estructura-electrolito medidos sobre una tubería puede ser provechoso en la determinación de variaciones de niveles de protección catódica. Un perfil de potencial se realiza para determinar si la protección catódica alcanza en todos los puntos a lo largo de la estructura. El cuadro 4.2 ilustra un perfil del potencial del tubería-a-suelo. Observar que el electrodo de referencia de cobre-sulfato de cobre (Media celda o celda de referencia) está conectado con el terminal negativo del medidor.

En una prueba de intervalos cerrados (close interval survey), los datos de potenciales tubería-suelo se recogen continuamente. Esto es hecho generalmente llevando un data logger y equipado con un dispositivo dispensador de alambre capaz de medir la distancia atravesada. Dos electrodos de referencia, montados en el extremo de postes cortos, se utilizan, uno en cada mano. El alambre se une a una estación de prueba y el operador camina sobre la tubería, haciendo el contacto entre los electrodos y la tierra en intervalos cercanos. Los registros del operador sobre las ocurrencias y otras notas que identifican la localización de los datos pueden ser establecidos claramente. Sobre la terminación de la prueba, los datos se descargan en una computadora y se imprimen en forma de gráficos.

La prueba se hace sobre la línea, así que otro personal es asignado el para localizar y para estacar la línea y para proporcionar otra ayuda.

Cuando se prueban tuberías múltiples que se enlazan juntas, los datos de la prueba pueden representar un promedio de todas las tuberías.

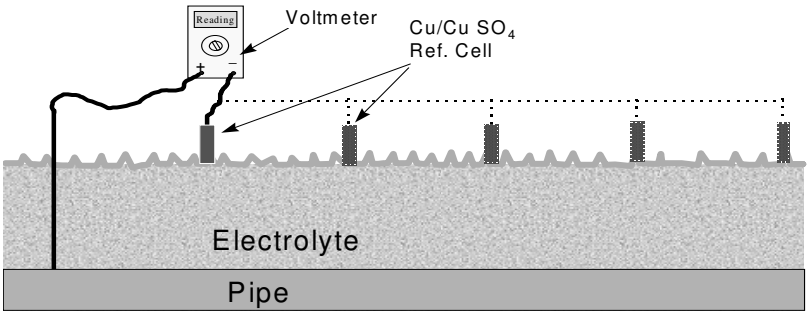


Figura 5.1 Medición de Potenciales

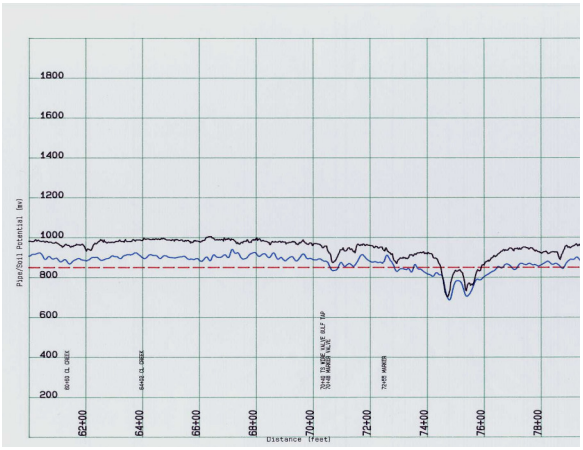


Figure 5.2 Perfil de potencial Tubería-a-Suelo.

5.9 MEDIDAS DEL FLUJO DE CORRIENTE DE TIERRA Y POTENCIAL DE SUPERFICIE.

Una serie de potenciales medidos entre dos electrodos de referencia puede indicar el flujo de corriente y su dirección en tierra, según las indicaciones de la figura 5.3. Este tipo de medida se utiliza a veces para determinar si la corriente está fluyendo hacia o lejos de una estructura. La dirección del flujo de corriente es del electrodo positivo al electrodo negativo.

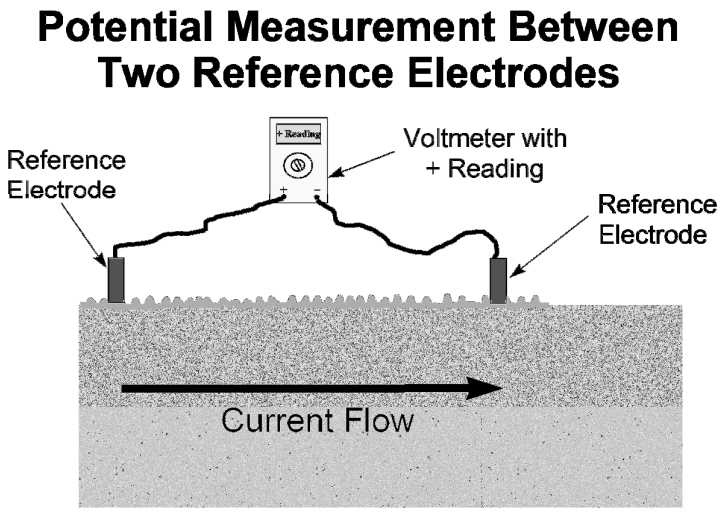


Figura 5.3 Medición De Potencial Entre Dos Electrodos De Referencia

5.9.1 Caída De Voltaje (Ir) En Datos De Potenciales

La exactitud de los datos es una de las responsabilidades más importantes. Sin datos exactos, ésos responsables del programa de control de corrosión no sabrán cómo se protegen las estructuras.

El conocimiento de las caídas de voltaje en el potencial que se mide en el circuito de potencial es crítico para obtener datos exactos.

5.9.2 Voltímetros De Grabación

Se utilizan los voltímetros de grabación cuando un registro permanente de datos en forma de gráficos se desea o donde se desea para registrar voltaje durante tiempo. También se utilizan en las áreas de pérdida de corriente donde los voltajes pueden fluctuar. Las fluctuaciones son fácilmente perceptibles en la pantalla del equipo. Los voltímetros de grabación pueden exhibir datos sobre la pantalla o pueden registrar los datos para una impresión posterior.

5.9.3 Data Logres

Los Data Loggers son instrumentos computarizados en los cuales los datos, los puntos de control, y otra información pueden ser ingresados. Algunos de ellos son tan pequeños que pueden caber en una estación de prueba a nivel de suelo. En uso posterior, los Data Loggers son conectados a una computadora y se descarga la información. La computadora puede también crear gráficos de datos.

5.9.4 X-Y PLOTTERS

Estos instrumentos tienen dos lápices que registran los datos en eje X (horizontal) y el eje Y (vertical). Son muy útiles en áreas de pérdidas de corriente donde los voltajes varían constantemente. Son usados frecuentemente para hacer curvas de correlación entre el voltaje de carril-a-tubería y los potenciales del tubería-a-suelo en tránsito masivo de corrientes parásitas.

LIBRO II PARTE EXPERIMENTAL

6. CAPITULO VI ELECCIÓN - DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA

6.1. GENERAL

Como se describió anteriormente el ducto de Gas de Lima y Callao empezó a construirse en agosto 2002, finalizándose en julio 2004 y puesta en servicio en Agosto 2004. Este ducto es de 20" de diámetro y cuenta con 61.6 Km. de longitud atravesando por 13 distritos de Lima.

Hacia Octubre 2003 la empresa Concesionaria GNLC (Gas Natural para Lima y Callao), dispuso instalar la protección catódica a los primeros 35 Km. Desde el City gate (Distrito de Lurín) hasta el Puente Santa Anita (Distrito de Santa Anita), pues este tramo tenía 6 meses de construido y enterrado, y según lo dispuesto en la norma ASME B31.8 indica la implementación de este sistema de PC..

Hacia marzo 2003 luego que la tubería se encuentra construida en su totalidad, se inicia la construcción de los sistemas de protección catódica por corriente impresa, considerando un sistema por cada rectificador. Debido a la longitud de la tubería se consideró instalar 2 rectificadores uno en la estación lanzadora de Lurín CITY GATE en el Km. 0 + 000 de la progresiva kilométrica de la tubería. El segundo Rectificador fue instalado en la estación receptora de Ventanilla TERMINAL STATION Km. 61+600 luego de 2 meses se concluyó con la construcción y montaje de los sistemas por corriente impresa. En conversaciones con la Concesionaria GNLC se convino no encender el sistema hasta culminar con la instalación de los postes de medición de potenciales, lo que tomo alrededor de 1 mes.

En julio 2004 se puso en marcha los sistemas de corriente impresa, a consecuencia de la alta cantidad de corrientes inducidas AC en la zona del rectificador del Terminal Station ubicado en Ventanilla tomo 2 meses para poder calibrar a un potencial adecuado el sistema completo.

En septiembre 2004, el sistema fue entregado en completa operación.

Las consideraciones de diseño tanto para el sistema de ánodos galvánicos como para los sistemas por corriente impresa se detallan a continuación. También se detalla la construcción y los datos recopilados durante la calibración y monitoreo de entrega.

6.2. CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO.

6.2.1.RESISTIVIDAD DE SUELOS

6.2.1.1. Estándares de Referencia

ASTM. G 57-9A Standard Test method for the Measurement of Resistivity in Field using Method WENNER for four pins.

6.2.1.2. Calibración del equipo.

Para la calibración se debe seguir lo siguiente los terminales C1 y P1 (Ver Fig 6.1): deben ser puestos en by pass al igual que los terminales C2 y P2 y cada uno de los by pass deberán ser conectados a los terminales de una resistencia, deben seguir los siguientes valores 1000 ohms y 10000 ohms, la Resistencia será medida y evaluada en comparación con cada una de las resistencias, si el equipo está fuera de punto central, no debe ser utilizado.

6.2.1.3. Verificación de frecuencia de calibración.

La verificación de la calibración se hará semanalmente, por resistencias tal como se describe en el numeral 6.2.1.2

6.2.1.4. Procedimiento.

El siguiente procedimiento puede se basa en el método Wenner:

a. Enterrar los 4 pines y línea recta en espaciamientos de iguales distancias uno del otro (La longitud de espacio es equivalente a la profundidad o la medición de resistividad requiera). Asegurando el buen contacto entre los pines y el suelo (ver figura 6.1).

b. Conectar los pines al dispositivo usando el cable que tiene cada uno, como sigue:

c. Los pines centrales: uno marcarlo en el Terminal P1 y el otro en el P2

d. Los pines de los extremos, uno en el terminal C1 y el otro en el terminal C2.

e. Observar que los pines de la izquierda son P1 y C2. (Ver fig. 6.1).

f. Dar vuelta a las dos perillas a la posición máxima (a la derecha). El equipo está listo ahora hacer la medición.

g. Tomar la manija de la izquierda marcada con las posiciones ALTO y BAJO mantener en la posición BAJO (mantenerlo abajo), la aguja se moverá inmediatamente a la parte derecha del aparato de medición.

h. Cambiar la posición pequeña de la perilla gradualmente (en sentido a las agujas del reloj), que está situada en la mano derecha del equipo hasta que la aguja excede una pequeña mitad del aparato de medición.

i. En este momento, se regresa un paso la misma perilla (la que está a la derecha del equipo) y suelta la manija del lado izquierdo.

j. Ahora, llevar la manija de la izquierda a la posición ALTO (Mantenerlo arriba). La aguja se moverá a la derecha otra vez, da vuelta a la perilla central contraria al reloj hasta que la aguja llega exactamente a la línea central del aparato de medición.

k. En este momento la resistencia puede ser calculada:

RESISTIVIDAD (ohm-cm) = A* B * C Donde,

A: Posición de la perilla grande central.

B: Posición de la perilla pequeña derecha.

C: Constante según el espaciamiento de los pines. (314, 628, 942, 1256, 1570, y 1884, para la longitud de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, y 3.0 m respectivamente)

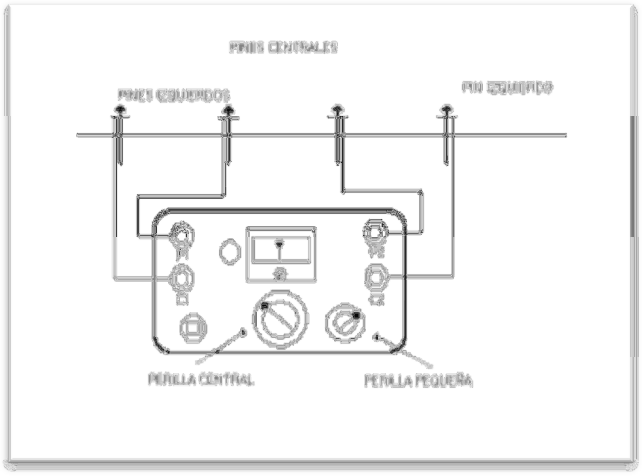


Figura 6.1 medidor de resistividad

6.2.1.5. Resultados

Los valores de resistividad son los promedios de las resistividades del suelo (electrolito) a igual profundidad de espaciado entre los electrodos adyacentes.

6.2.1.6. Análisis de Resultados

La tabla siguiente clasifica las características corrosivas del suelo de acuerdo a la resistividad.

TABLA 6.1 CLASIFICACION DE RESISTIVIDAD DE TERRENOS		
Rango de resistividad Ohm-cm	Classificación	Rango general de resistividad
0 - 1,000	Muy Bajo	EXTREMADAMENTE CORROSIVO
1,000 - 5,000	Bajo	USUALMENTE MUY CORROSIVO
5,000 – 10,000	Medio	MUCHAS VECES CORROSIVO
10,000 – 25,000	Alto	RARAMENTE CORROSIVO
25,000 – 100,000	Muy Alto	RARAMENTE CORROSIVO , UNLESS MIXED
100,000 – 1,000,000	Super Alto	RARAMENTE CORROSIVO , A MENOS QUE ESTE MEZCLADO
Mas de 1,000,000	Extra Alto	MUCHAS DE LAS VECES NUNCA, A MENOS QUE ESTE MEZCLADO.

La clasificación previa es de prioridad estándar para mantenimiento y control de corrosión que se muestra para tuberías a través de suelos corrosivos.

6.3. PERFIL DE RESISTIVIDAD

Se tienen a continuación la toma de resistividad de 1 y 2 m de profundidad y según la progresiva establecida

Tabla 6.2 Prueba de Resistividad

	Profundidad	
Progresiva (Km.)	*1m (ohm-cm)*	*2m (ohm-cm)*
CITY GATE		
0+107	6100	7500
0+588	7300	10050
1+097	12000	10200
1+385	7000	10200
1+920	6100	10000
2+586	63000	75000
3+054	1000	1100
3+552	3800	4200
4+030	7500	7500
4+531	18000	6200
5+051	1300	5000
5+533	1300	7500
6+305	1100	1300
6+810	2500	4900
7+309	3300	3800
7+784	4200	7500
9+003	2200	2600
9+687	2600	4500
10+170	2700	3700
10+276	2200	3000
CRUCE RIO LURIN		
CAMPOS DE CULTIVO SIN INGRESO POSIBLE		
13+784	8900	15000
14+727	7500	11000
15+721	8100	13000
16+863	9500	16000

17+778	10000	11000
19+789	6100	10000
20+380	7500	12000
21+444	8900	10000
26+141	13000	13000
26+698	17000	20000
27+302	14000	18000
27+765	15000	14000
28+256	16000	13000
28+759	15000	16000
29+278	13000	10000
29+716	15000	14000
30+258	15000	11000
CRUCE PUENTE PRIMAVERA		
33+500	14000	23000
33+950	16000	28000
34+405	15000	25000
34+980	22000	35000
35+415	14000	24000
38+600	14000	24000
39+000	16000	24000
39+500	17000	23000
40+000	18000	25000
44+000	28000	25000
48+000	30000	25000
52+000	39000	25000
56+000	27000	30000
60+000	28000	20000
TERMINAL STATION		

La gráfica de los perfiles de resistividad se muestra en el anexo de planos.

6.4. CLASIFICACIÓN DE SUELO ESTRUCTURA CORROSIVIDAD, RESISTIVIDAD

6.4.1. CLASIFICACION DE CORROSIVIDAD POR MUESTRAS DE SUELO

6.1.1.1. Standars De Referencia

ASTM. G 57-9A — Standard Test Method for the Measurement of Resistivity in Field Using the WENNER four Electrodes Method.

ANSI / AWWA — C105/A21.5-99: ANSI Standard for Polyethylene Encasement for Ductile-Iron Pipe Systems, (Appendix A contains notes on procedures for soil survey tests and observations for corrosiveness)

6.1.1.2. Procedimiento y resultados

Para determinar la corrosividad del suelo de una celda local y por lo tanto la amenaza de la corrosión, todos o por lo menos la magnitud de las diez variables del anexo 1, deben ser determinados.

En el acuerdo con la suma de los números obtenidos del anexo 1, una evaluación cuantitativa se puede obtener de la Corrosividad del suelo según la tabla de clasificación de suelos siguiente.

Tabla 6.3

Suma de Resultados	Corrosividad	Tipo de Suelo
> 0	No Corrosivo	I
0 a - 4	Medianamente Corrosivo	II
- 5 a - 10	Corrosivo	III
< - 10	Muy Corrosivo	IV

6.1.1.3. Clasificación de suelos

6.1.1.3.1. Descripción

A fin de determinar en orden a lo establecido con la agresividad de los suelos, muestras de tierra son recolectadas y clasificadas entre el 12 al 20 de marzo y del 12 al 16 de marzo 2003, obteniendo los resultados en la tabla 6.4.

6.1.1.3.2. Resultados

Cada muestra fue probada en orden para obtener la información requerida establecida en la sección anterior, un total de 10 muestras fueros colectadas obteniendo las hojas de datos.

El índice de severidad obtenido, en el derecho de vía es clasificado en 3 zonas bien diferenciadas.

a) El primero Km. 0+000 Lurin City Gate Station hasta el Km. 20+000 en donde el suelo es clasificado como corrosivo,

b) Segundo entre Km. 20+000 y Km. 40+000 exhibiendo Corrosividad Media, y

c) El tercero comprende Km. 40+000 hasta Km. 70+000 en donde nuevamente el índice incrementa a Corrosivo, el perfil de resistividad de la Tubería de Gas en el derecho de vía se muestra en la sección Anexos..

6.1.1.3.3. Tipo de suelo

El suelo se clasifica como arena a través de la longitud de la ruta de tubería mostrando un comportamiento muy homogéneo que lo caracteriza. Se clasifica el suelo mientras que arena a través de la longitud entera de la ruta de la tubería que demuestra un comportamiento muy homogéneo. El confiar solamente en este parámetro que no se espera que los suelos sean agresivos, no obstante el potencial redox y el contenido de cloruros deben ser considerados, en la tabla 6.4

Las condiciones en las cuales las muestras fueron obtenidas demostraron suelos principalmente naturales y no saturados.

6.1.1.3.4. Resistividad

Los suelos tienen una capacidad muy variable de transportar corriente en términos de magnitud de la resistividad. Los valores se extienden a partir de 7000 Ohmio-centímetros a más de 1.000.000 Ohmio-centímetros. Los valores están generalmente sobre 80.000 Ohmio-centímetros que no implican ninguna condición dañosa, sin embargo otros parámetros se deben tomar en la consideración.

6.1.1.3.5. Acidez y pH

Los valores de pH dividen la traza del ducto en dos zonas, una desde el Km. 0+000 hasta el Km. 54+000 mostrando valores de pH entre 7.2 y 7.9; la otra zona desde el Km. 54+000 hasta el Km.70+000 mostrando rangos de pH desde 8.1 a 8.4. La acidez para todas las muestras es < 2.5 expresados en mEq/kg, la figura 6.2 concuerda con la figura del pH.

La tendencia del suelo obtenida tiende a la baja corrosividad debido a su neutralidad relativa y basicidad leve.

6.1.1.3.6. Potencial Redox

El derecho de vía es oxígeno agotado a través de su longitud entera; el valor más alto es -36 mV. Hay tendencia marcada hacia el agotamiento del oxígeno en el suelo del km 54+000 y luego, donde el valor más bajo alcanza -90 mV.

La asunción inmediata es que la actividad microbiológica está altamente favorecida bajo tales condiciones; no obstante no hay garantía de tal fenómeno. El alto contenido de sulfato aumenta la probabilidad de la actividad de SBR.

6.1.1.3.7. Carbonatos

El alto contenido de carbonatos obtenido tiende a oponer la acción agresiva de otros elementos. Los valores están de acuerdo a la acidez y a los valores de pH.

6.1.1.3.8. Cloruros

Aunque no hay patrón entre la concentración de cloruros y la abscisa de alto contenido de iones cloruro fue obtenida en las diez muestras. El cloruro es retirado del acero para la estabilidad pues tiene factible actividad corrosiva.

Es importante considerar el uso de los electrodos de referencia permanentes de Ag/AgCl para el sistema de protección catódica, pues el electrodo más común de CSE (Cu/CuSO4) será contaminado eventual con los cloruros circundantes y por lo tanto dará valores potenciales no fiables.

6.1.1.3.9. Sulfatos

Solamente dos muestras K 28+000 y K 40+000 dieron como resultado la tendencia general del alto contenido de sulfatos más de 700 PPM. Ésta era la razón principal de seccionar el derecho de via según el índice de la severidad.

El alto contenido de sulfatos hace actividad factible de SBR.

6.1.2.Conclusiones

El uso de los electrodos de referencia permanentes de Ag/AgCl es necesario para obtener valores confiables de potencial.

El alto contenido de sulfatos y el hecho de que los suelos contengan oxígeno agotado a través de su longitud entera hacen actividad factible de SBR. Los entendimientos de SBR serán evaluadas según NACE TM0194-94 estándar.

La clasificación del suelo por severidad de corrosión presenta los resultados siguientes:

LOCALIZACION DE MUESTRA	VALOR TOTAL	CLASSIFICACION (Corrosividad)	COMENTARIOS
K 0 + 000	-6	Tipo III	Suelo Corrosivo
K 4 + 000	-7	Tipo III	Suelo Corrosivo
K 12 + 000	-7	Tipo III	Suelo Corrosivo
K 20 + 000	-6	Tipo III	Suelo Corrosivo
K 28 + 000	-3	Tipo II	Medianamente Corrosivo
K 40 + 000	-3	Tipo II	Medianamente Corrosivo
K 46 + 000	-6	Tipo III	Suelo Corrosivo
K 54 + 000	-6	Tipo III	Suelo Corrosivo
K 64 + 000	-7	Tipo III	Suelo Corrosivo
K 70 + 000	-5	Tipo III	Suelo Corrosivo

Tabla 6.4. Clasificación de Suelos por severidad de Corrosión.

La tabla 6.4 presenta una clasificación de las muestras colectadas en el campo, sin embargo las observaciones de campo muestran suelo mezclado que fue encontrado a lo largo del derecho de vía de la línea de gas.

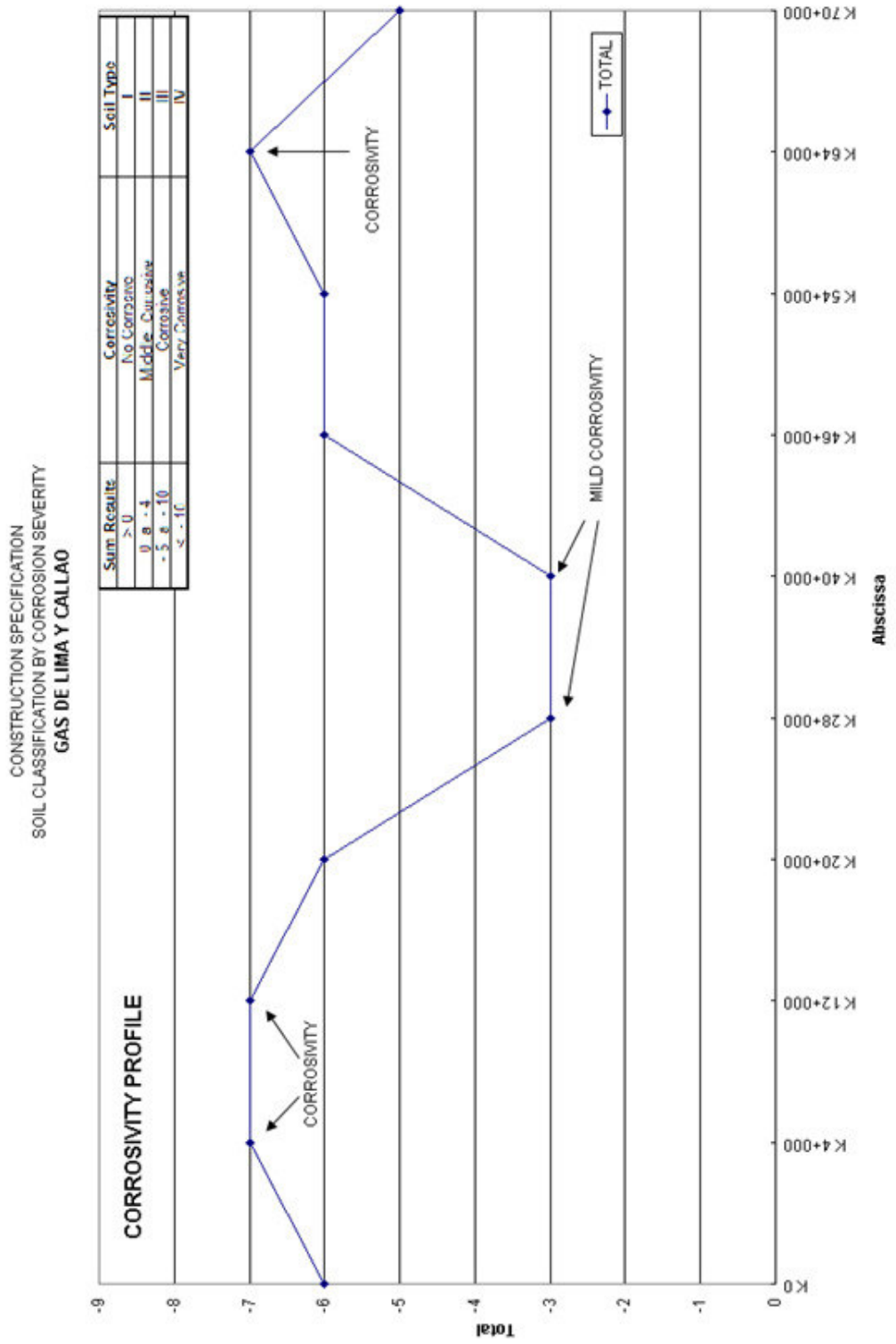


Figura 6.2. Perfil de Corrosividad

6.2. REVESTIMIENTO DE TUBERIA

La tubería principal cuenta con un sistema de recubrimiento Tri-capa polietileno.

El revestimiento tri-capa usado en el proyecto se hace de pegamento epoxy (hecho por el código 0681-1081 de Glaspó Basepox Amarelo o 3M Scotchkote 226N), Copolímero adhesivo (hecho por MB 206D del fusabond de DUPONT) y la capa final de HDPE plástico (hecho por la banda de IPIRANGA PETROQUIMICA GM 5240).

La fuerza dieléctrica interrupción de voltaje del HDPE por ASTM D149 es 450 - 500 V/mil (fuente: IPIRANGA PETROQUIMICA/enciclopedia moderna 99, P.B-198/plásticos de los plásticos de San Diego incorporan, 2003.)

Las mangas de encogimiento usadas en las soldaduras circunferenciales tienen un espesor de 2.5 milímetros aproximadamente y se identifican como Canusa GTS con una fuerza dieléctrica de 675 V/mil por ASTM D 149 (fuente: Hoja de datos técnica de Canusa GTS, 2003.)

Basado en esta información y si se asume que un espesor medio conservador de 2 milímetros para la tri-capa, 2 milímetros de tri-capa puede aislar 2mm x40 mil /mm x 450 V / mil = 36,000 Volts., por lo tanto este revestimiento se considera para el uso práctico como una capa dieléctrico y revestimiento de alta eficiencia.

Estos tipos de revestimientos se clasifican como revestimientos dieléctricos altos; característica excelente desde el punto de vista de corrosión pero al mismo tiempo produce una alta resistencia de la tubería a la tierra para longitudes cortas de tubería. Para revestimientos de alta calidad y suelo de alto resistividad la conductancia de capa típica es a partir 1 a 10 micro-Mhos por pie cuadrados. Con las densidades de corriente generalmente usadas para revestimientos 3-layer y áreas grandes de tubería que se protegerá, la resistencia de la tubería a la tierra es bajo, esta razón es posible para adquirir los niveles adecuados del PC para largas distancias

6.3. DISPOSITIVOS DE AISLAMIENTO ELECTRICO.

Las bridas aislantes serán instalados en:

LOCALIZACION	LINEA DE GAS	PROGRESIVA
City Gate Station	NG	K 0+000
Terminal Station	NG	K 60+700

Tabla 6.5. Localización de las juntas monolíticas

6.4. ESTRUCTURAS METÁLICAS CERCANAS ENTERRADAS

No se ha determinado ninguna estructura metálica próxima en este momento que tenga influencia catódica.

6.5. DISEÑO DE PROTECCIÓN CATÓDICA CON ÁNODOS GALVÁNICOS

6.5.1.DOCUMENTOS DE REFERENCIA

a) Standards

ASTM G 57-9A	Standard Test Method for the Measurement of Resistivity in Field Using the WENNER four Electrodes Method.
NACE RP 0169-1999	Control of External Corrosion of Underground or Submerged Metallic Pipeline Systems.
NACE TM 0497-2000	Measurement Techniques Related to Criteria for Cathodic Protection on Underground or Submerged Metallic Piping Systems.

b) Libros

CONTROL OF PIPELINE CORROSION, A.W. Peabody, National Association of Corrosion Engineers, 2001.

6.5.2.DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

Las pruebas de campo fueron realizadas el 25 de marzo y el 1 de abril de 2003.

El sitio seleccionado es el kilómetro Km. 4+000 al km. 7+000, en la tubería de 20 pulgadas NG. Había una longitud continua de tubería de aproximadamente 3 kilómetros.

Las pruebas de corriente fueron realizadas con un ánodo desnudo de magnesio de 4 libras (L=30 centímetro; W=6 centímetro) localizado 3 m de la tubería. El suelo en el cual el ánodo fue colocado no era natural.

6.5.3.RESULTADOS DE LA PRUEBA

NACE RP0169-99 estándar en su numeral 6.2.2.1.2: establece criterios para la protección catódica de como el "Un potencial polarizado negativo por lo menos de 850 mV concerniente a un electrodo de cobre/sulfato de cobre" Estos potenciales se llaman comúnmente como instante de potenciales Off o potenciales Off

6.5.4.RESISTIVIDAD.

La resistividad del suelo fue medido en la abcisa K 4+000 (Fig 6.2):

- Resistividad a 1 mt. de profundidad = 27,980ohm- cm, aprox. 28,000 ohm-cm
- Resistividad a 2 mts de profundidad = 28,178 ohm – cm, aprox. 28,200 ohm-cm

6.5.5.RESULTADOS DE LA PRUEBA CON ÁNODO DE 4 LBS.

- Resistencia del ánodo al terreno = 415 ohm.
- Resistencia de tubería al terreno = 70 ohm.
- Flujo de Corriente = 1.7 mA.
- Potencial K4+000 = On/ Off: -1080 mV CSE/-736 mV CSE.
- Potencial K7+000 = On/ Off: -870 mV CSE/-720 mV CSE.

Potencial Natural fue aproximadamente -710 mV vs. CSE.

6.5.6.CORRIENTE REQUERIDA PARA LA PC TEMPORAL

Aunque no se alcanzó ninguna protección en esta prueba, se calcula la corriente requerida basada en el cambio de la polarización de la estructura (potencial Off - potencial natural) y de la longitud de la tubería bajo examen.

$$K = dI / dV$$

Donde:

K = Factor de corriente de diseño (A/V)

dI = Corriente drenada (mA)

dV = Cambio de Polarización (mV)

La ecuación previa determina el factor K como:

dI = 1.7 mA

dV = (Pot Off) - Pot Nat = -738 + 710 = - 28 mV

Entonces: K = - 0.0607 A/V

Con el factor y el cambio de polarización requerida de -265 mV (Pot off [1] +710) la corriente es: I = 16 mA.

Para la longitud de tubería bajo pruebas el valor es 16 mA / 3 Km = 5.4 mA / Km.

6.5.7.FLUJO DE CORRIENTE Y CANTIDAD DE ÁNODOS.

Con los requerimientos de corriente, la resistividad del derecho de vía a 1 m de profundidad y prevista la duración de la protección temporal el paso siguiente es diseñar el ánodo de modo que su resistencia a la tierra permita que fluya la corriente preestablecida

Se aplican los siguientes datos:

- Corriente Requerida (no factor de seguridad): 5.4 mA / km
- Resultado de Resistividad a 1m de profundidad: 13,400 Ohm-cm
- Voltaje conducido (Driving voltage) de un ánodo de magnesio: -1550+925= -625 mV
- Eficiencia electroquímica del ánodo: 50 %
- Factor de Utilización: 0.85
- Vida de Diseño: Al menos 5 años.

Debajo los resultados de resistencia del ánodo:

Dwight's Equation for Single Vertical Anode Resistance to Earth - meters

$$R_v = \frac{0.00159\ \rho}{L}\left(ln\frac{8L}{d} - 1\right)$$

ρ =	Resistivity of backfill material (or earth) in ohm-cm	ρ =	13,400 ohm-cm
L =	Length of anode in meters	L =	0.40 m
d =	Diameter of anode in meters	d =	0.150 m
R_v =	Resistance of one vertical anode to earth in ohms	R_v =	109.7 ohms

[1] El potencial off es calculado entre el punto de drenaje (-1100 mV) y el punto de la tubería mas lejana (-850 mV) = -975 mV.

Flujo de Corriente = -625 mV/ 110 Ohm = 5.7 mA

La corriente drenada prevista está levemente sobre el valor del diseño.

Abajo, vida del ánodo en el rango de corriente drenado:

Galvanic Anode Life

$$Magnesium\ Years\ Life = \frac{0.256 \times Anode\ Wt.\ in\ kg \times Efficiency \times Utilization\ Factor}{Current\ in\ Amps}$$

Mag Anode	
Weight =	1.8 kg
Efficiency =	0.50
Utilization Factor =	0.85
Current =	0.007 A
Mg Life =	28.3 yrs

El índice de consumo no es un problema para la protección catódica temporal aunque la resistencia se dividida.

EN CONCLUSIÓN UN ÁNODO PROTEGERÁ UN (01) KM DE TUBERÍA APROXIMADAMENTE

ESTA INFORMACIÓN SE PROVEE SOLAMENTE COMO GUÍA, no obstante después de que cada ánodo esté instalado se requiere realizar una medición de potenciales. Con esa información se comprobará el área eficaz de la cobertura y la instalación apropiada y la frecuencia de ánodos también.

6.5.8.CARACTERÍSTICAS DEL ÁNODO.

De acuerdo con experiencias de campo 20 kg de backfill se requiere para utilizar con cada ánodo estándar de magnesio de 4 libras. El backfill estará compuesto de una mezcla del yeso de 75%, 20% de bentonita y sulfato de sodio 5%. El peso embalado aproximado es 22.2 kilogramos, uniformemente dispuesto alrededor del ánodo.

6.6. DISEÑO DE UNA SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA

6.6.1.DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE DE DISEÑO (DESIGN CURRENT DENSITY – DCD)

6.6.1.1. Descripción de trabajo

Las pruebas de requerimiento de corriente fueron realizadas del 17 de marzo al 18 de marzo y del 2 de junio al 3 de junio de 2003.

El primer sitio seleccionado para la instalación temporal del equipo de inyección de corriente era el Km. 4+000. La cobertura de la zona de prueba era Km. 4+000 al Km. 7+000 porque no había segmentos más grandes de tubería disponibles en ese entonces. La cobertura adicional de la prueba fue obstaculizada porque entre K 8+000 y K 9+000 no había continuidad eléctrica a la hora de la prueba. Había puntos en los cuales no se encontró ningún cable de potencial.

En los datos subsiguientes se indican los resultados de las pruebas de requerimiento de corriente para el diseño de la protección catódica permanente. Los resultados se basan en datos de campo, consideran las hojas de datos adjuntas.

6.6.1.2. Resultados

Las estructuras reportadas a los potenciales del electrolito están en los miliVolts - milivoltio vs la media celda de referencia $Cu/CUSO_4$ - CSE-. El terminal negativo del voltímetro fue conectado con la celda de referencia y el terminal positivo a la tubería. La muestra potencial reportado es negativo a menos que se indique de otra manera 850 mV CSE potencial de polarización – potencial Off – será el criterio de protección de acuerdo con el estándar NACE SP 0169-2010.

Tabla 6.6 Prueba 1

1. CONDICIONES DE OPERACION	
Locación (K)	4+000
DC Voltage Output (V)	4.7
DC Current Output (mA)	41
On Potential (mV CSE)	4100
Off Potential (mV CSE)	1100
Interruption cycle (s)	5 On: 2.5 Off
Numero de Anodos	6
Espaciado entre anodos (m)	6
Espaciado Primer anodo - Tubería (m)	40

2. RESULTADOS	
Longitud bajo proteción (Km)	3
Area bajo proteción (m^2)	4787.8
Mean On Potential (mV CSE)	4083.8
Mean Off Potential (mV CSE)	1093.3
Atennuation (mV/Km)*	-5.67
Densitdad de Corriente (mA/ m^2)	0.008563455

(*) For the stated coverage

Tabla 6.7 Prueba 2

1. CONDICIONES DE OPERACION	
Locación (K)	7+000

DC Voltage Output (V)	2.4
DC Current Output (mA)	45
On Potential (mV CSE)	1950
Off Potential (mV CSE)	1040
Interruption cycle (s)	5 On: 2.5 Off
Numero de Anodos	6
Espaciado entre anodos (m)	5
Espaciado Primer anodo -Tubería (m)	55

2. RESULTADOS	
Longitud bajo proteción (Km)	8
Area bajo proteción (m^2)	12767.4
Mean On Potential (mV CSE)	2028.0
Mean Off Potential (mV CSE)	1070.0
Atennuation (mV/Km)*	0.00
Densitdad de Corriente (mA/ m^2)	0.003524593

(*) Virtualmente no existente

Tabla 6.8 Prueba de Corriente 1

Lugar De Prueba	ON	OFF	Comentarios
Km	mV CSE	mV CSE	
4.00	4100	1100	Instalación temporal de corriente impresa.
5.00	4090	1100	
6.00	4089	1090	
7.00	4056	1083	

1. Condiciones de Operación	
Lugar (K)	04+000

2. Tubería	
Diametro (pulg)	20

DC Voltaje de Salida (V)	4.7
DC Corriente de Salida(mA)	41
Potencial On (mV CSE)	4100
Potencial Off (mV CSE)	1100
Ciclo de Interrupción (s)	5 On: 2.5 Off
Numero de Anodos	6
Distancia entre ánodos (m)	6
Distancia 1er ánodo – tubería (m)	40

Revestimiento	Tricapa

3. RESULTADOS	
Longitud bajo protección (Km)	3
Area bajo proteccion (m^2)	4787.8
On Potential (mV CSE)	4083.8
Off Potential (mV CSE)	1093.3
Atenuacion (mV/Km)*	-5.67
Densidad de Corriente (mA/ m^2)	0.008563455

(*) para la cobertura establecida

Tabla 6.9 Prueba de Corriente 2

Lugar de Prueba	ON	OFF	Comentarios
Km	mV CSE	mV CSE	
7.00	1950	1040	Instalación temporal de corriente impresa.
3.00	2050	1080	
5.00	2070	1070	
5.40	2070	1080	
8.00	2000	1080	

1. OPERATION CONDITIONS	
Lugar (K)	0+00
DC Voltaje de Salida (V)	2.4
DC Corriente de Salida(mA)	45
Potencial On (mV CSE)	1950
Potencial Off (mV CSE)	1040
Ciclo de Interrupción (s)	5 On: 2.5 Off
Numero de Anodos	6
Distancia entre ánodos (m)	6
Distancia 1er ánodo – tubería (m)	55

2. PIPELINE	
Diametro (pulg)	20
Revestimiento	Tricapa

3. RESULTS	
Longitud bajo protección (Km)	8
Area bajo proteccion (m^2)	12767.4
On Potential (mV CSE)	2028.0
Off Potential (mV CSE)	1070.0
Atenuacion (mV/Km)*	0.00
Densidad de Corriente (mA/ m^2)	0.003524593

(*) Virtualmente no existente

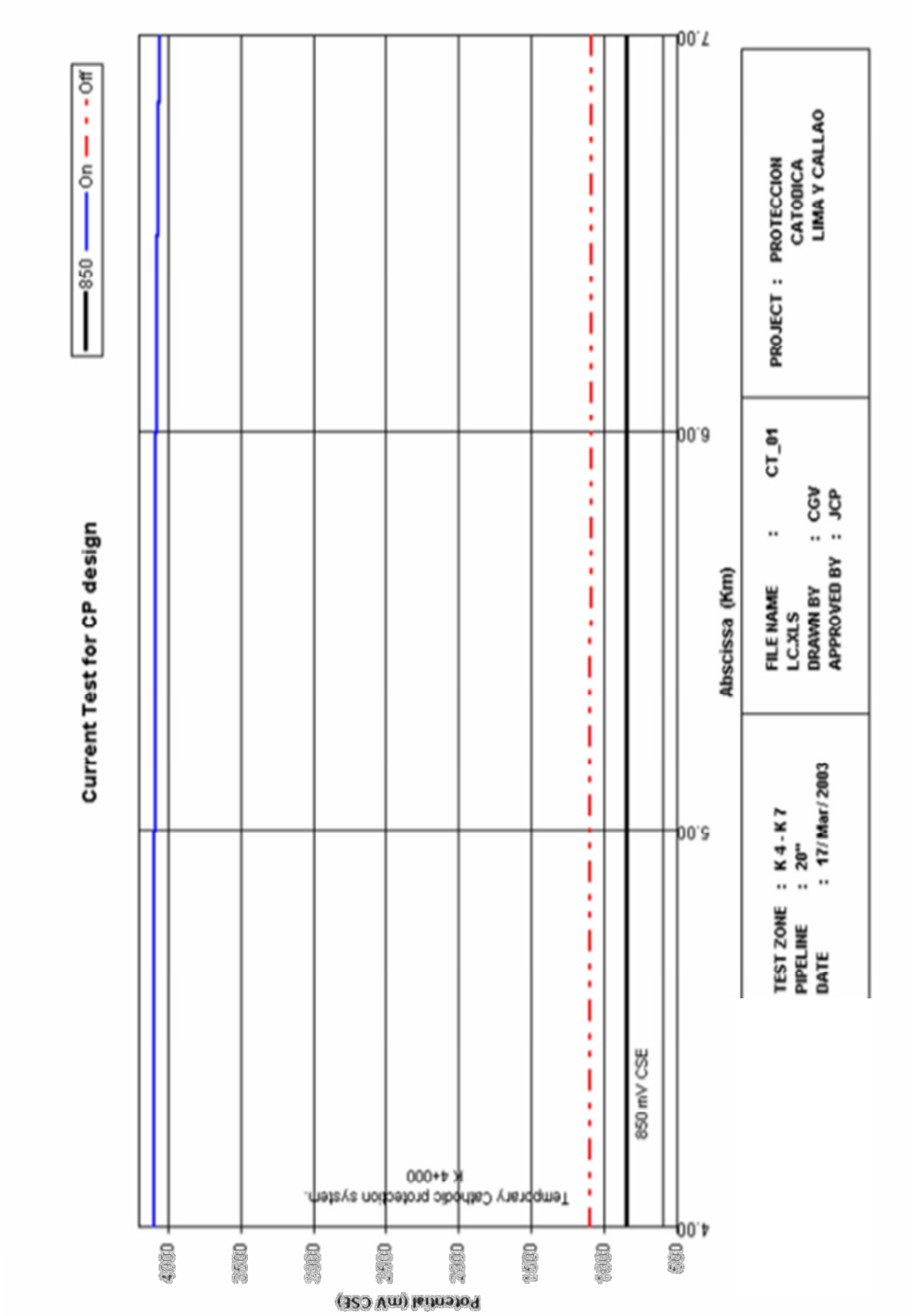


Figura 6.3 Grafico de prueba 1

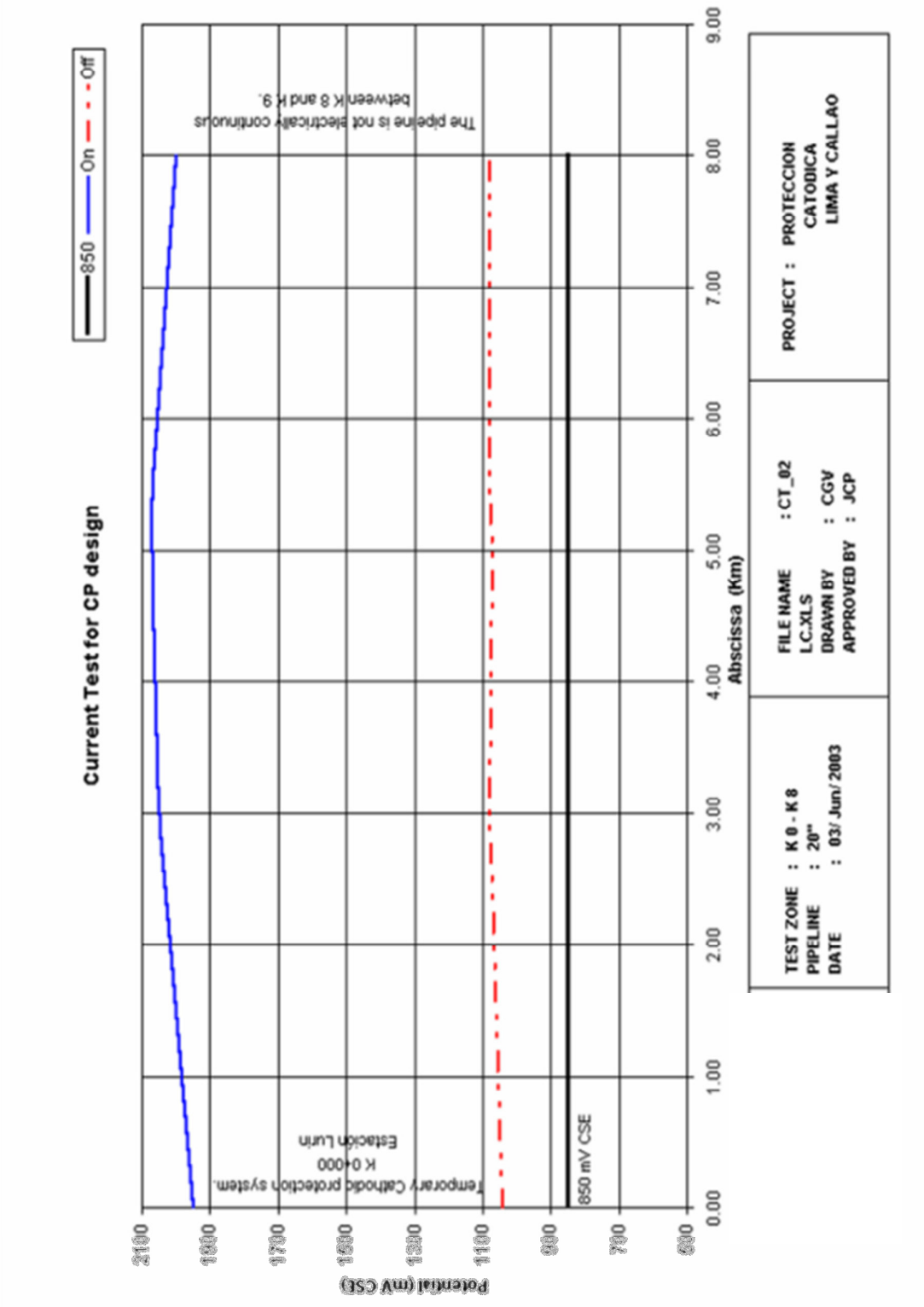


Figura 6.4 Gráfico de prueba 2

6.6.2.DENSIDAD DE CORRIENTE REQUERIDA.

Corriente requerida es como sigue::

$$I = A * \rho *(\% / 100)$$

Densidad de Corriente de Diseño es:

$$DCD = \rho *(\% / 100)$$

Entonces la corriente requerida puede ser expresado como:

$$I = A * DCD$$

Donde:

I = Corriente requerida (mA)

A = Area externa de tubería (m^2)

ρ = Densidad de Corriente (mA/ m^2)

$\%$ = Porcentaje de area desnuda. (%)

DCD = Densidad de Corriente de Diseño (mA/m^2)

Aislando el DCD de la ecuación:

$$DCD = I / A$$

- De los primeros datos de prueba sección 6.9.1.2:

  I = 41 mA.

  A = Π x Φ x L = Πx(20"x(0.3048 m/12")) x3000m = 4,787.8 m^2 (3 Km, 20" Area externa de tubería)

  Entonces el DCD es 0.0086 mA / m^2.

- De los segundos datos de prueba sección 6.1.9.2:

  I = 45 mA.

  A = ΠxΦxL = Πx(20"x(0.3048 m/12")) x8000m = 12767.4 m^2 (8 Km, 20" Pipeline external area)

  Entonces el DCD es 0.0035 mA / m^2.

El DCD seleccionado es 0.0035 mA / m^2.

Basado en experiencias de campo se espera que la eficiencia del revestimiento (permeabilidad) disminuya con el tiempo, el factor anual estimado de deterioro para las áreas urbanas es el 10%. Por lo tanto el DCD de revestimiento anticipado para 20 años en servicio es:

El DCD final = Inicial DCD* (1+ % DETERIORO / 100)^{AÑOS} = 0.0035 * 1.1 ^{20} =

DCD Final = 0.0237 mA / m^2.

Porque este valor es basado en pruebas de campo, se considera para el periodo de vida esperado para el proyecto.

El flujo de corriente es expresado en términos de DCD.

Es una práctica estándar sobredimensionar la cantidad de corriente- factor de seguridad- en 30% para anticipar futuras demandas no incluida en la densidad de corriente, como estaciones adicionales, cambio en las distancias de protección o by pass de líneas.

Muchos factores afectan los rangos de corrosión y correspondientemente, la corriente requerida para ejecutar una adecuada Protección catódica, algunos de los factores incluyen:

6.6.2.1. Área de la estructura.

Longitud del área superficial tubería 20 pulgadas en los 60.50 Km. subdivididos en dos tramos de 39600 m siendo 63199 m2. cada uno sobreponiéndose la zona central de la tubería para mantener un potencial estable.

6.6.2.2. Cantidad de Ánodos en Paralelo.

El aumento de ánodos para ser usados es básicamente establecido por dos aspectos, la resistencia final deseada de la cama enterrada y la expectativa de vida del material enterrado depende de la expectativa de vida del proyecto.

Para ello se instalaran 4 ánodos por cama anódica

6.6.2.3. Espaciamiento de Ánodos.

Un espaciamiento de 20 pies (6 m) entre los ánodos fue considerado, esto está basado en pruebas previas de corriente realizado, para reducir la cantidad de excavación en el sitio debido a disponibilidad limitada de área en el lugar - y para bajar la resistencia de tierra de la cama.

6.6.2.4. Longitud de Protección.

Las pruebas de corriente darán los alcances de distribución y cobertura de protección:

Tramo 1 desde el Km. 0+000 hasta el Km. 39+000.

Tramo 2 desde el Km. 31+000 hasta el Km. 70+000

6.1.1.Resistividad.

La resistividad promedio es de 30000 ohm-cm., según los datos obtenidos en las pruebas de resistividad.

6.6.2.5. Voltaje Conducido (Driving Voltage)

Los ánodos en un sistema Impreso ofrecen una amplia gama de voltajes conducidos porque el voltaje depende solamente de la capacidad de la salida de la fuente de poder DC (Rectificador). La selección del tamaño de la fuente de energía se basa en la resistencia total del circuito.

6.6.2.6. Resistencia del Circuito.

La Resistencia total del circuito esta compuesta de:

- Resistencia tubería a tierra,

- Resistencia de la cama anódica y la
- Resistencia del cable.

6.6.2.6.1. Resistencia de la Tubería a Tierra.

La resistencia de la tubería a la tierra depende de la calidad del revestimiento de la tubería. Cuanto mejor es la capa, más altas son las resistencias eficaces en la localización de la cama enterrada. Sin embargo la resistencia eficaz a la tierra es inversamente proporcional al área enterrada.

$$RPE = CF / (Cc \times A)$$

Donde:

RPE = Resistencia tubería a tierra, ohm

Cc = Conductancia del revestimiento, u MHO / ft2

A = Area en metros cuadrados.

CF = Factor de Conversión, 92900

La conductancia del revestimiento depende de calidad del mismo, la fuerza dieléctrica de y la resistencia circundante del suelo. Más alta es la conductancia cuando más baja es la resistencia de la tubería. Para el revestimiento excelente y el suelo de alta resistencia la conductancia del revestimiento se extiende a partir de la 1 a 10 microMhos. Un valor conservador de los micro-Mhos 1 es utilizado para los cálculos.

6.6.2.6.2. Resistencia de la Cama Anódica

La resistencia total de la cama anódica se compone de la resistencia interna del ánodo hacia el backfill y de la resistencia del backfill a la tierra

$$R_{BED} = R_I / N + R_N$$

Donde:

R_{BED} = resistencia de la cama anódica en ohmios

R_I = resistencia interna de un ánodo al backfill.

N = número de ánodos.

R_N = resistencia de N ánodos en paralelo a la tierra.

Debajo se presenta las fórmulas para los datos necesarios. El arreglo seleccionado del ánodo es horizontal basado sobre condiciones del sitio

6.6.2.6.3. Resistencia Interna de los Ánodos Horizontales hacia el Backfill.

La Resistencia total de cada ánodo al backfill consiste en la Resistencia del ánodo al material carbonoso menos la Resistencia de la columna de relleno del mismo; se obtienen estas resistencias usando la ecuación siguiente:

$$R_h = \frac{0.00521\rho}{L}\left(2.3\log\frac{4L^2+4L\{S^2+L^2\}^{1/2}}{dS}+\frac{S}{L}-\frac{\{S^2+L^2\}^{1/2}}{L}-1\right)$$

where

R_h = resistance of horizontal anode to earth in (ohms)
ρ = resistivity of backfill material (or earth) in (ohm-cm)
L = length of anode in (feet)
d = diameter of anode in (feet)
S = twice depth of anode in (feet)

La resistencia interna para cualquier número de ánodos en paralelo es la resistencia interna de un ánodo dividido por el número de ánodos en paralelo. El efecto de esta resistencia interna disminuye mientras que el número de ánodos se aumenta

6.6.2.6.4. Resistencia de ánodos horizontales múltiples a Tierra.

La resistencia de múltiples ánodos horizontales es influenciada por la interacción mutua de los ánodos, esta resistencia es mostrada y aplicando el siguiente factor de corrección

F = 1 + (ρ / (Π S R)) x Ln (0.66 N)

Entonces la resistencia de múltiples ánodos horizontales es dada por el fórmula

Rn = (Rh/N) x F

Donde:

Rn = Resistencia de múltiples ánodos horizontales

F = Factor de ánodos Múltiples

ρ = Resistividad del suelo *(ohm-cm)*

S = Espaciamiento entre ánodos *(cm)*

R = Resistencia de un ánodo (ohm)

N = Numero de ánodos

6.6.2.7. Salidas principales de diseño.

El objetivo es dimensionar y especificar un rectificador y la cama enterrada conociendo la demanda de corriente y las variaciones de voltaje no mayores que 50 V.

Considerando también que al observar la variación de suelo existentes en el derecho de vía por donde atravesará la tubería es recomendable situar dos rectificadores con sus respectivas camas anódicas y toda la instrumentación necesaria, el primero en la estación lanzadora: CITY GATE DE LURIN, y el segundo en la estación receptora TERMINAL STATION VENTANILLA.

6.6.2.8. Capacidad del Rectificador.

La capacidad esta relacionada con la Resistencia total del circuito y la corriente de salida. El voltaje es simplemente V = I*R y el Watiaje es W = V*I.

La capacidad o tamaño de cada unidad está basado en el voltaje y corriente requerido para cada instalación y entonces se ajusta para razones comerciales estándar, es usualmente ubicada en múltiplos de 5 para voltaje y amperaje en rectificadores.

Adicionalmente cada unidad dimensionada esta seleccionada en términos de Watiaje.

Tabla 6.10 Capacidad de Rectificador

NUMERO	UNIDAD	Poder	DISEÑO DE RECTIFICADOR		RECTIFICADOR SELECCIONADO	
			Voltaje	Amps	Voltaje	Amps
1	R-1	480 V AC	47	4	50	10
2	R-2	480 V AC	35	4	50	10

6.6.2.9. Resistencia del Cable.

La siguiente tabla presenta los tamaños recomendables de cables como una función del flujo de amperios en el conductor.

Esta tabla esta basada en la carga de 1 ampere por cada 2000 mils de área circular o transversal en el conductor.

Tabla 6.11 Resistencia de Cable según el calibre de diametro

CONDUCTOR SIZE AWG	RECCOMENDED MAXIMUM AMPS. (A)	Ohm / 1,000 m. of Cable, 25º C.
8	8	2.1391
6	13	1.3484
4	20	0.8465
2	30	0.5315
1	40	0.4232
1/0	55	0.3346
2/0	65	0.2657
3/0	85	0.2064
4/0	105	0.1673

Fuente : ELK ENGINEERING

SI considerables variaciones de temperatura son obtenidas a lo largo de la tubería, las siguientes correcciones por temperatura deben ser aplicadas.

Temperature C = F	Multiply Resistance at 25°C by:
−10 14	0.862
−5 23	0.882
0 32	0.901
5 41	0.921
10 50	0.941
15 59	0.961
20 68	0.980
30 86	1.020
35 95	1.040
40 104	1.059

[1] 25°C = 77°F

Tabla 6.12 Factores de corrección para otras temperaturas

Las consideraciones mecánicas y la resistencia a largo plazo del HMWPE - High Molecular Weight Polyethylene - aislamiento del cable se deben considerar también para clasificar adecuadamente el cable. Es práctica común que sea cable 8 o un tamaño mayor de AWG.

Basados en consideraciones mecánicas, la Resistencia lineal y experiencia del cable a ser usado como positive y negativo es el AWG # 2.

$$Rc = R_L \times Lc$$

Donde:

Rc = Resistencia del Cable ohm

R_L = Resistencia lineal del Cable, ohm

Lc = Longitud del Cable, m

El cable seleccionado para los sistemas de PC es AWG # 2 con aislante HMWPE a 25 °C.

R_L = 0.5315 Ohm / 200 m= 0.0266 Ohm / km.

Este cable es típicamente utilizado para manipularlo con 35 A de corriente DC, bastante capacidad para cada sistema que proveen como máximo 10 amps. El cable es sobre dimensionado para que pueda trabajar con picos de corriente, que puedan daños durante la construcción y para resistir la expectativa de vida del proyecto

6.6.2.10. Expectativa de vida de la cama anódica

Ambos el ánodo y el backfill se consumen porque la corriente está saliendo de estos materiales. Las índices de consumo deben ser incluidas en la vida de diseño del sistema de protección catódica. La esperanza de vida de los ánodos de Titanio se determina usando un índice de consumo de 0.0202 lbs/(Amp.año). Y la vida prevista del ánodo es el usar determinado después de la ecuación:

$$LIFE = N * PA * UF / (0.0202 * i)$$

LIFE = Expectativa de vida de los ánodos. (Años)

N = Numero de anodos

PA = Peso del anodo de titanium (lb)

UF = Factor de Utilizacion

i = Corriente Drenada por cada ánodo.

El índice del consumo del carbón de relleno se considera como 2 libras/(año del amperio).

Entonces la vida prevista del Backfill se calcula usando el relleno agregado al sistema de PC, se utiliza la ecuación siguiente:

$$B\_LIFE = PA / (2*I)$$

B_LIFE = Expectativa de vida del backfill (años)

PA = Peso del Backfill (lbs)

I = Corriente Total drenada por el sistema de PC. (Amps)

6.6.3.CALCULO DE DISEÑO

A continuación se podrán observar todos los parámetros de diseño descritos anteriormente y los resultados de los cálculos usando las formulas descritas anteriormente.

En los parámetros de diseño se consideran 39.60 km de protección para cada rectificador, pues la PC diseñada para la tubería de 20" debe de proteger a su vez, una tubería de 8" de Diametro y una longitud de 7 km en Ventanilla, y 6 tuberías que sumadas nos dan una longitud de 10 km con diámetro de 6", por ello en total se recubrirán aproximadamente 79 km de tubería.

6.6.4.PARÁMETROS DE DISEÑO

6.6.4.1. Para el Rectificador 1 en City Gate Lurin

Diámetro exterior de tubería	20	(pulg)
Longitud de la tubería	39600	(m)
Revestimiento de tubería	Tri-capa de polietileno	
Factor de seguridad	50	(%)
Resistividad	30000	(ohm-cm)
Dimensiones del ánodo	Ø1 x 60	Pulg x pulg
Tipo de ánodo	TITANIO	
Longitud del cable 1er ánodo al rectificador	200	m
Longitud del cable negativo-proviene tubería	50	m
Cable tipo HMWPE calibre	2	AWG
Vida util de los ánodos	100	años

Densidad de corriente DCD	0.0237	mA/m^2
Espaciado entre ánodos	6	m
Densidad del backfill	960	Kg/m^3
Tipo de cama	HORIZONTAL	
Profundidad de cama	2	m
Conductancia del Recubrimiento	1.0	$uMHO/ft^2$
Diseño calculado:		
Área total de tubería	63198.4	m^2
Corriente mínima requerida	1.50	A
Corriente total requerida	2.25	A
Peso de ánodo seleccionado	1.60	Lbs
Longitud cable entre ánodos	18	m
Longitud cable positivo	200	m
Longitud cable negativo	50	m
Longitud total de cable	268	m
Cantidad de ánodos requerido	4	pzas
Diámetro de backfill	0.75	m
Longitud de backfill	4.1	m
Peso backfill por ánodo	1738	Kg/und
Peso total de backfill	6953	kg
Vida útil de ánodos recalculada	128	años
Vida útil de backfill	773	años
Cálculo y análisis de resistencia		
Resistencia de la tubería- tierra	1.469	ohm
Resistencia cable rectificador	0.106	ohm
Resistencia cable entre ánodos	0.009	ohm
Resistencia cable negativo	0.026	ohm
Resistencia interna de ánodos	0.047	ohm
Resistencia cama anódica	11.306	ohm

Resistencia total del circuito	12.966	ohm

Finalmente se obtienen las características del rectificador siendo:

Voltaje de alimentación AC	41	V
Amperaje de alimentación AC	3	A
Elemento del rectificador	Diodos de Silicio	

Se elige un rectificador de 50V y 10 A, con diodos de silicio.

6.6.4.2. Para el rectificador 2 en el Terminal Station Ventanilla

Diámetro exterior de tubería	20	(pulg)
Longitud de la tubería 20”	39600	(m)
Liongitus de tubería 8”	7200	(m)
Revestimiento de tubería	Tri-capa de polietileno	
Factor de seguridad	50	(%)
Resistividad	30000	(ohm-cm)
Dimensiones del ánodo	Ø1 x 60	Pulg x pulg
Tipo de ánodo	TITANIO	
Longitud del cable 1er ánodo al rectificador	200	m
Longitud del cable negativo-proviene tubería	50	m
Cable tipo HMWPE calibre	2	AWG
Vida util de los ánodos	100	años
Densidad de corriente DCD	0.0237	mA/m^2
Espaciado entre ánodos	6	m
Densidad del backfill	960	Kg/m^3
Tipo de cama	HORIZONTAL	
Profundidad de cama	2	m
Conductancia del Recubrimiento	1.0	$uMHO/ft^2$

Diseño calculado:

Área tubería 20”	63198.94	m^2
Área tubería 8”	4851.64	m^2
Área total de tubería	68050.57	m^2

Corriente mínima requerida	1.61	A
Corriente total requerida	2.41	A
Peso de ánodo seleccionado	1.60	Lbs
Longitud cable entre ánodos	18	m
Longitud cable positivo	200	m
Longitud cable negativo	50	m
Longitud total de cable	268	m
Cantidad de ánodos requerido	4	pzas
Diámetro de backfill	0.75	m
Longitud de backfill	4.1	m
Peso backfill por ánodo	1738	Kg/und
Peso total de backfill	6953	kg
Vida útil de ánodos recalculada	118.85	años
Vida útil de backfill	718.48	años

Cálculo y análisis de resistencias

Resistencia de la tubería- tierra	1.365	ohm
Resistencia cable rectificador-primer ánodo	0.106	ohm
Resistencia cable entre ánodos	0.009	ohm
Resistencia interna de ánodos	0.026	ohm
Resistencia de cable negativo	0.026	ohm
Resistencia cama anódica	11.306	ohm
Resistencia total del circuito	12.801	ohm

Finalmente se obtienen las características del rectificador siendo:

Voltaje de alimentación AC	41	V
Amperaje de alimentación AC	3	A
Elemento del rectificador	Diodos de Silicio	

Se elige un rectificador de 50V y 10 A, con diodos de silicio.

7. CAPITULO VII CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA

7.1. PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION.

7.1.1.APLICACIÓN DE LA SOLDADURA EXOTÉRMICA

7.1.1.1. Estándares

ANSI/ASME B31.8-1992 Gas transmission and distribution piping systems

7.1.1.2. Alcance

EL procedimiento aplica Solamente para:

- Cables negativos desde el rectificador hacia la unión a la tubería.
- Uniones Cable a tubería para conexión eléctrica.

7.1.2.PROCEDIMIENTO

7.1.2.1. Cable AWG No 4 o menores a la tubería

a) Seleccionar el molde apropiado.

b) Limpiar el área de la tubería sobre la cual el cable será soldado. Dejar la superficie libre de polvo, agua y suciedad si está presente.

c) Remover un área del revestimiento de tubería aproximadamente 8 centimetros x 8 centímetros aproximadamente.

d) Limpiar la superficie expuesta con cepillo metálico, y con lija fina hasta la obtención de metal brillante.

e) Quitar tres a cuatro centímetros de aislamiento del extremo del cable. Secar y limpiar el molde.

f) Introducir el cable conductor en la cavidad del molde - ver Figura. 7.1 -.

g) Fijar el cable y moldear en superficie expuesta de la tubería del metal.

h) Colocar el disco metálico en el molde -ver Figura. 7.1-

i) Verter los 15 gramos de la soldadura encima del disco metálico - ver Figura. 7.1. Espolvorear el compuesto detonante sobre la soldadura y sobre el labio del molde. Ambos el metal de la soldadura y el detonante vienen en el mismo paquete.

j) Cerrar la cubierta del molde y encender con fósforos o encendedor de pedernal. Tener cuidado de no respirar los gases del subproducto de la ignición.

k) Después de que el metal solidifique retirar el molde. Quitar la escoria del molde y la soldadura.

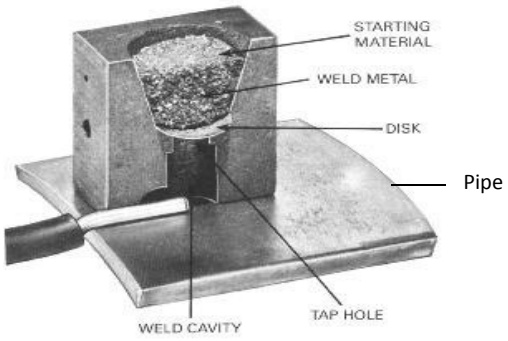


Figura 7.1. Arreglo de soldadura exotérmica.

Para reparar el revestimiento de la tubería y el aislamiento del cable, ver anexo 1

7.1.2.2. AWG No 2 Cable a Tuberías Mayores.

Realizar el procedimiento 7.1.2.1- soldar la carga metálica de 15 g ramos, si una buena soldadura no es posible realizar lo siguiente:

Cortar 50 centímetros del cable AWG # 8. Este cable servirá para conectar eléctricamente el cable más grande con la Tubería.

a) Soldar cada cable AWG # 8 y seguir los pasos siguientes de final indicados en la sección 5.1. La separación de la soldadura estará por lo menos a 30 centímetros una de la otra.

b) Conectar el cable del AWG #8 con el cable más grande vía el procedimiento de instalación del kit de empalme. En este caso el cable más grande actúa como la derivación. Ver el Fig. 7.2

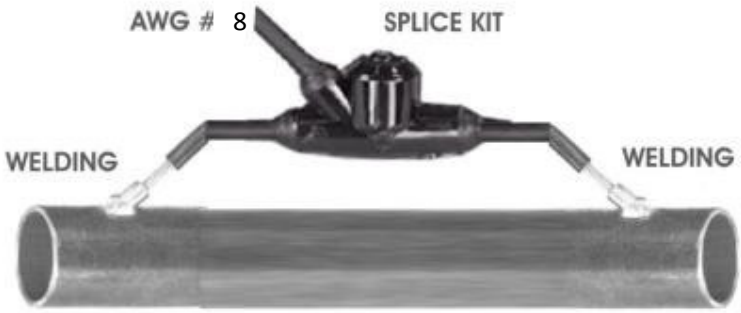


Figura 7.2. Arreglo de soldadura para cable AWG 2 o mayores.

7.1.3.PRUEBAS DE UNIÓN

El cable conductor no se debe exponer dentro del área de la soldadura. La altura de la soldadura debe ser superior al tamaño del conductor pero no demasiado grande. El color de la soldadura después de cepillar la conexión es oro a bronce, el color plata es normal también. La superficie de la soldadura debe ser razonablemente lisa y liberar la mayor cantidad de depósitos de escoria. La superficie debe básicamente estar libre de porosidad. La soldadura debe soportar un golpe transversal hecho con un martillo de tamaño medio.

7.1.4.INSTALACIÓN DEL PROTECTOR MECÁNICO

7.1.4.1. Procedimiento de aplicación

Paso 1. Limpiar todo el fango, suciedad, grasa, aceite y otros contaminantes de la superficie del metal y de cualquier parte del revestimiento que debe ser cubierta. Aplicar una capa de PRIMER y dejar secar a un aspecto no-brillante, que tomará cerca de 5 minutos, dependiendo de la humedad y la temperatura.

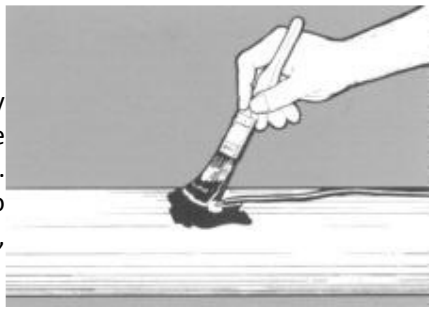


Figura 7.3

Paso 2. Quitar el papel del lanzamiento del fondo del protector mecánico. Doblar el interior plástico de la hoja en las en dentaduras a aplicarse a tuberías de diámetro pequeño. Posicionar y colocar el casquillo en el área soldada con el túnel sobre el cable**.**

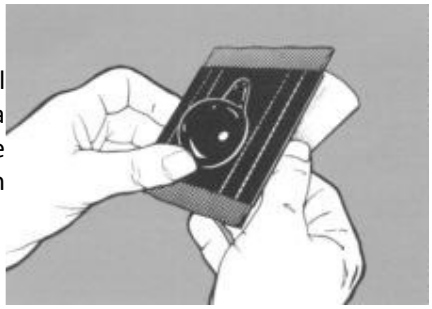


Figura 7.4

Paso 3. Presionar el domo de la tapa firmemente en el área de la soldadura. Ahora levantar el cable sobre la tubería y presionar el compuesto de goma negro totalmente alrededor y por debajo del alambre. Después empujar la parte posterior del cable abajo en la tubería y presionar el compuesto elastomerico en contacto firme con la tubería sobre el área entera.

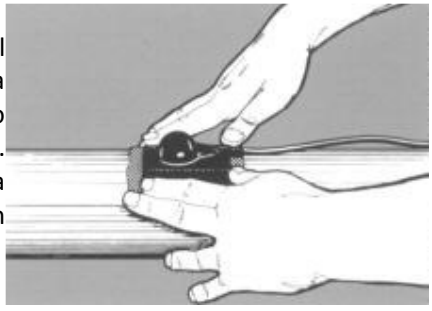


Figura 7.5

No hay otra protección necesaria cuando el protector mecánico cubre el área expuesta entera del metal. Las áreas descubiertas deben ser protegidas aplicando cinta o masilla.

Al cubrir o envolviendo el protector mecánico, quitar las tiras estrechas de la película plástica del lanzamiento en la tapa del casquillo. Esto asegurará la protección máxima efectuando un sello impermeable.

7.1.5.INSTALACIÓN SPLICE KIT

7.1.5.1. Alcance:

a) Unir Cables del mismo tamaño y del tipo.

b) Unir Cables de diversos tamaños y tipo.

c) Empalmar dos cables de tamaño y de tipo iguales.

d) Empalmar dos cables de diversos tamaños y tipo.

e) Este procedimiento es especialmente diseñado para unir los cables de los ánodos de corriente impresa principal N° AWG 2 HMWPE del cable positivo del rectificador.

7.1.1.1 Proceso

A) *Empalmes.*

Cortar los cables a los extremos a unir, tres (03) centímetros a cada extremo pues generalmente se encuentra polvo o suciedad en el interior del aislamiento y el cable. Lo siguiente es retirar todo, polvo y suciedad de la parte siguiente siete (07) centímetros de cada extremo del cable. Luego pelar cinco (05) centímetros de aislamiento externo en cada cable y lijar la misma longitud del cable conductor descubierto con el propósito de eliminar todo tipo de contaminación - fango, arena, hierba, etc y asegurar un buen contacto eléctrico. Tomar ambos conductores y colocarlos extremo a extremo en forma paralela y con un conector apropiado tal como el tipo Crimp o el tipo Burdny que hacen una conexión mecánica entre los cables. Una vez que la conexión se ajuste totalmente preparar el uso del kit de empalme que debe contener:

- Molde de para la resina epoxy exotérmica (dos mitades).
- Cinta sellante
- Conectores de plástico
- Termos de flujo de resina epoxica
- Embudo (canalón de vertido).

Colocar los cables unidos dentro de cualquier mitad del molde y asegurar el conector al centro. Tomar el otro pedazo del molde y poner ambas mitades cara a cara, encajarlas a presión firmemente y comprobar la costura de sello. Colocar la cinta a los extremos del molde y los cables excedentes para evitar que la resina se escape. Insertar el embudo (canalón de vertido) dentro de cualquiera de los dos agujeros que vierten del molde - el otro agujero que vierte se debe sellar con un tapón plástico pequeño. Una vez que la resina se mezcle homogéneamente y este listo para ser utilizado - ver las instrucciones de mezcla del fabricante de la resina - verter la resina en el molde hasta que el embudo se llenan totalmente. Rellenar el embudo después de que el aire escape. Acortar el tubo del embudo, si es necesario.

B) *Derivaciones:*

Cortar los cables a los extremos que a unir tres (3) centímetros a cada extremo pues generalmente se encuentra con polvo o suciedad en el interior del aislamiento y el cable. Lo siguiente es retirar todo, polvo y suciedad de la parte siguiente 7 centímetros de cada extremo del cable. Luego pelar (5) centímetros de aislamiento externo en cada cable y lijar la misma longitud del cable conductor descubierto con el propósito de eliminar todo tipo de contaminación - fango, arena, hierba, etc y asegurar un buen contacto eléctrico. Tener cuidado de no cortar el conductor eléctrico del cable principal.

Tomar el cable principal y por medio de un destornillador separar en dos (2) porciones los hilos hasta abrir un boquete bastante grande para permitir que el cable de la derivación lo pase. Introducir la sección expuesta cable del conductor de la derivación en los hilos del cable principal y hacer un nudo de lazo alrededor del cable principal.

Colocar ambos cables en forma paralela y con un conector apropiado tal como tipo Crimp o Burdny hacer la conexión mecánica entre los cables. Una vez que la conexión se apriete totalmente preparar el uso del kit de empalme que debe contener:

- Molde de para la resina epoxy exotérmica (dos mitades).
- Cinta sellante
- Conectores de plástico
- Termos de flujo de resina epóxica
- Embudo (canalón de vertido).

Colocar los cables unidos dentro de cualquier mitad del molde y asegurar el conector al centro. Tomar el otro pedazo del molde y poner ambas mitades cara a cara, encajarlas a presión firmemente y comprobar la costura que de sello. Colocar cinta a los extremos del molde y los cables excedente para evitar que la resina se escape. Insertar el embudo (canalón de vertido) dentro de cualquiera de los dos agujeros que vierten del molde - el otro agujero que vierte se debe sellar con un enchufe plástico pequeño.

Una vez que la resina se mezcle homogéneamente y llegue a estar lista para ser utilizado verter la resina en el molde hasta que el embudo se llene totalmente. Rellenar el embudo después de que el aire se escape. Acortar el embudo, si es necesario

7.1.5.2. Prueba de Empalme

La operación correcta de estos cables eléctricos se puede verificar midiendo la continuidad entre los dos finales. También haciendo una inyección de corriente y midiendo el flujo de corriente en diversas secciones del conductor - por medio de un amperímetro tipo tenaza, también es posible verificar la efectividad del aislamiento.

7.2. SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR ÁNODOS GALVÁNICOS

7.2.1.NORMAS DE REFERENCIA Y DOCUMENTOS TÉCNICOS.

NACE SP 0169-2010 Control of External Corrosion of Underground or Submerged Metallic Pipeline Systems.

NACE TM 0497-2000 Measurement Techniques Related to Criteria for Cathodic Protection on Underground or Submerged Metallic Piping Systems.

Peabody's CONTROL OF PIPELINE CORROSION, 2nd edition, A.W. Peabody, NACE International, Houston, 2001.

7.2.2.PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN

7.2.2.1. Procedimiento.

El personal a cargo de la instalación debe entender los pasos a continuación establecidos con el objeto de realizar un trabajo correcto.

La forma preferida de realizar las excavaciones es la manual ya que así se pueden evitar daños graves a la tubería. Sin embargo la excavación mecánica no se excluye como apoyo. El ánodo, especificado según el diseño, se entierra usualmente entre 0.5 y un (1) metro de profundidad desde la superficie y se separa al menos tres (3) metros del eje de la misma.

La instalación se puede realizar a cualquier costado de la tubería; sin embargo se prefiere hacerlo donde se encuentre terreno natural que tenga menor resistencia al flujo de corriente (no sobre rellenos, ni rocas). Las áreas húmedas son ideales.

Los ánodos NO deben ser manipulados sosteniendo su peso desde el cable que viene adherido. Se puede llegar a romper la conexión entre el cable y ánodo si no se sigue la recomendación anterior.

Una vez se tengan soldados los cables de conexión a la tubería se siguen los siguientes pasos:

a) Delimitar el área de seguridad de los trabajos.

b) Establecer el lugar donde se encuentra la tubería.

c) Se debe hacer una excavación para el ánodo tal que se obtenga un hoyo en donde quepa el ánodo puesto en posición vertical. El hoyo debe conservar una distancia de al menos tres (03) metros al eje de la tubería y al menos un (1) metro desde la superficie.

d) Se debe desempacar el ánodo (quitar la bolsa plástica) antes de enterrarlo. Si se entierra con la bolsa plástica, el ánodo no funcionará.

e) Colocar el ánodo en el hoyo. Asegurar que el ánodo quede haciendo buen contacto con las paredes del hoyo. Verter agua en suficiente cantidad sobre el ánodo (20 litros o más) para activarlo. Rellenar con tierra natural la cual debe estar sin piedras ni elementos cortantes.

f) El cable del ánodo debe llevarse a la superficie para posteriormente ser unido con el cable que viene de la tubería.

g) Si existe estación de prueba disponible, y una vez subidos los cables a la caja de toma de potencial, unir un terminal de cobre estañado al cable del ánodo y otro al cable de potencial de la tubería. Realizar la unión sobre la bornera.

h) Si NO existe Poste (estación) de potencial instalado es recomendable usar un Split Bolt KS 20 para realizar la unión eléctrica. Los cables se pueden enterrar solo si antes se ha recubierto la parte expuesta. Se debe dejar demarcado el lugar de enterramiento de los cables para futuras referencias.

i) Medir la corriente del circuito después de 48 horas de iniciada la activación. Se coloca un amperímetro en serie entre el cable del ánodo y el de la tubería. La corriente esperada está en el orden de los miliamperios. Luego de cinco (5) minutos consignar los datos obtenidos en el formato indicado.

j) Medir el potencial. Conectar el multimetro a la estructura a través del cable de la tubería que está libre. Para este caso particular no es necesario realizar interrupción de corriente sincronizada, se puede interrumpir local y manualmente el flujo de corriente.

k) Restaurar el nivel y estado natural del terreno intervenido.

NOTAS:

De acuerdo con las pruebas realizadas en la línea y las observaciones de campo, se observa Caída de Voltaje IR de aproximadamente 400 mV, de acuerdo con lo anterior se considera que la tubería está debidamente protegida con Potenciales *On* iguales o mas negativos de - 1250

mV On CSE, con lo cual se adquiere un potencial mínimo de polarización de -850 mV CSE. La frecuencia de instalación de los ánodos dependerá de la cobertura de los mismos. Esto es, si se alcanza a proteger más de un kilómetro de tubería por ánodo éstos deben colocar cada dos kilómetros.

7.2.2.2. Registro de instalación

La instalación se registra indicando la cantidad de ánodos, la profundidad del ánodo, distancia a la tubería, potencial original, potencial On de conexión,

7.2.2.3. Recursos

- Ingeniero / Técnico Eléctrico.
- Personal de instalación

7.2.2.4. Equipo

- Multímetro (Con capacidad de lectura de mili-Amperios)
- Electrodos de referencia CSE
- Herramientas manuales de excavación
- Caja de herramientas

7.2.2.5. Materiales

- Ánodo de magnesio según diseño.
- Un (1) Split Bolt KS 20 (si no hay estación instalada) o dos (2) conectores de cobre a presión (uno para cable # 8 y otro para cable # 4).
- Cinta Scotch 23 y cinta aislante 3M.

7.2.2.6. Seguridad

Previo al inicio de las actividades el supervisor informará al grupo de trabajo de los riesgos potenciales en la actividad utilizando el formato respectivo.

Todo el personal utilizará como mínimo lo siguiente:

a) Casco de seguridad.

b) Botas de Cuero con punta de acero.

c) Guantes con material anti deslizante.

d) Lentes de seguridad.

Todo el personal debe conocer el plan de contingencia. El procedimiento se ejecutará siguiendo los lineamientos generales de seguridad.

7.2.2.7. Protección Ambiental

Las siguientes medidas serán acatadas por el personal constructor:

a) Las áreas de trabajo se mantendrá ordenadas y limpias, libres de obstaculos.

b) Las basuras orgánicas e inorgánicas se dispondrán en los contenedores destinados para tales residuos.

c) No se perturbará la vida Silvestre.

d) Pescar, cazar o poseer armas de fuego está prohibido.

e) En caso de derrame de gasolina o aceites se deben usar espumas oleofílicas para limpiar el área afectada.

7.2.3.PROCESO CONSTRUCTIVO

La construcción del sistema de PC Temporal por ánodos galvánicos se inició el 5 de Noviembre y culminó el 18 de Noviembre 2003.

En dias previos se tomó en consideración los datos de diseño en el que indicaba la proteccion de 1 km de tubería por ánodo, según diseño; estableciendo la instalación de un ánodo por cada cama anódica cada 5 km desde el km 0+000 ubicado en las afueras del City Gate de Lurin hasta el km 38+000, donde finaliza la primera etapa. Esta primera etapa se subdivide en 03 tramos tal como se indicará posteriormente.

Se establece que si el es necesario se puede colocar un ánodo adicional por cama anódica.

Se deben instalar ánodos en los siguiente Km.:

Cama anódica Km. 00+000	Cama anódica Km. 25+000
Cama anódica Km. 05+000	Cama anódica Km. 30+000
Cama anódica Km. 10+000	Cama anódica Km. 35+000
Cama anódica Km. 15+000	Cama anódica Km. 38+000

Tabla 7.1 Ubicación de ánodos instalados

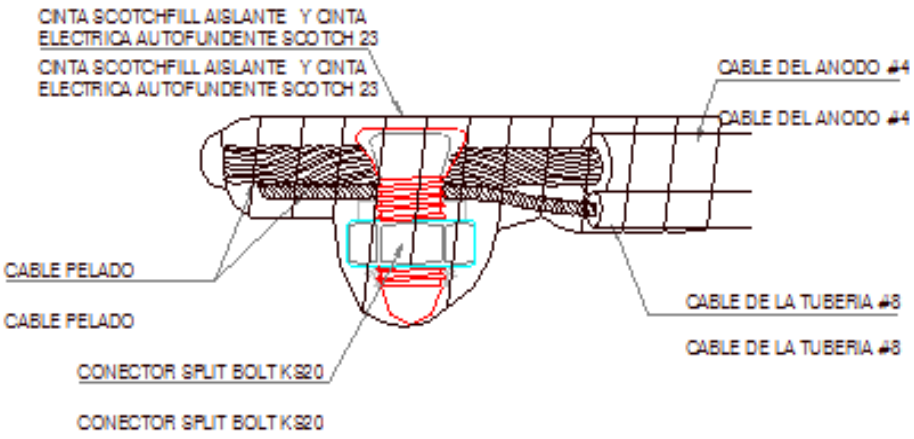


Figura 7.6 Conexión temporal cable ánodo - cable de la tubería

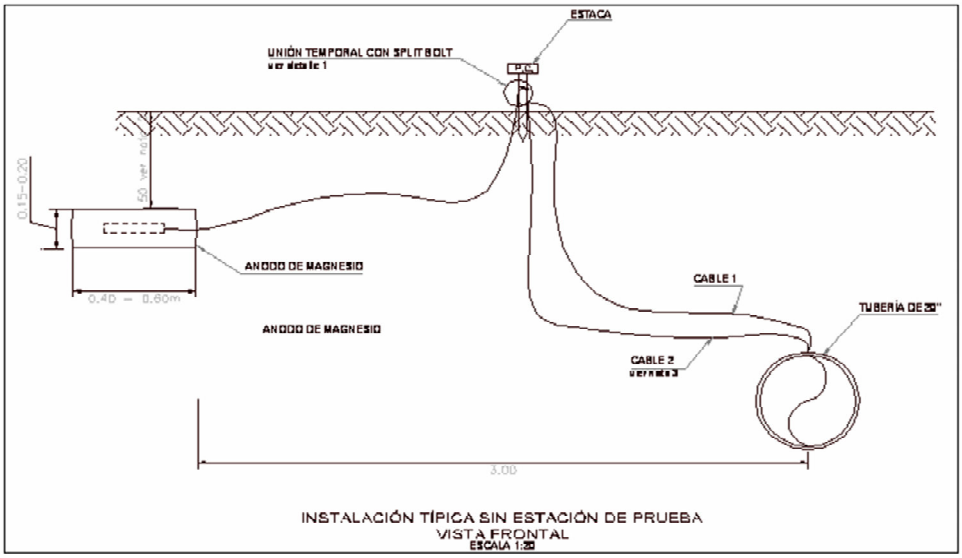


Figura 7.7 Instalación sin estación de prueba

7.2.3.1. Instalación de los ánodos

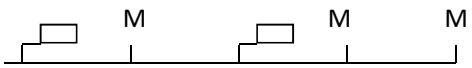
Los ánodos fueron instalados a 1.50 mt. de profundidad a 3mts del eje de la tubería. Una vez que la excavación estuvo concluida, se instaló el ánodo en posición horizontal paralela a la tubería, luego es hidratado con agua hasta cubrirlo completamente, para asegurar una buena conducción de corriente a través de la tierra. Simultáneamente se ubica el cable proveniente de la tubería y se mide el potencial catódico en el que se encuentra la tubería en ese momento llamado Potencial Natural.

Una vez instalado el ánodo se procede a la conexión temporal, tal como se indica en la Figura 7.6 de conexión temporal del cable del ánodo con el cable proveniente de la tubería. Realizada la conexión se mide el potencial On con el ánodo conectado.

Una vez que ya se completo la instalación y medición de potencial se rellenó con terreno natural libre de piedras u objetos cortantes regresando a nivel de terreno natural, demarcando el lugar donde se ubicaba el punto temporal, mediante GPS, y por estaca.

La tubería a la fecha de la instalación de los ánodos se encontraba en tres tramos:

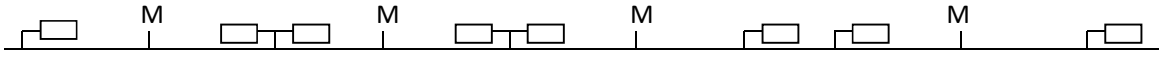
TRAMO 1



0+000 2+000 5+000 8+000 10 +000

Este tramo constituía desde el Km. 00+000 City Gate de Lurín hasta el km 10+600, 100 mts antes del Rio Lurín Cabezal de Prueba Hidráulica Instalado. Se instalaron 02 ánodos

TRAMO 2



13+000 13+500 15+004 18+000 20+000 25+015 30+000 30+500 33+202 33+508

Este tramo consistía desde el Km. 10+900, 100 mts después del Rio Lurín hasta el Km. 33 +600, 100 mts antes del Peaje de la Panamericana Sur. Se tomo inicio el km 13+000 pues desde el km 11+000 no se ubicaban los puntos catódicos ya que atravesaba campos agrícolas y no se permitió el ingreso en ese momento para la ejecución de las obras. Se instalaron 08 ánodos.

TRAMO 3



36+550 36+607 38+000

Consistía desde el Km. 36+000 hasta el Km. 38 + 400. Se instalaron 02 ánodos

Estos 03 tramos fueron protegidos catódicamente pues ya contaban con 06 meses de construcción y según las especificaciones técnicas y normas internacionales, debían de estar protegida. El otro tramo desde el km 39+000 hasta el 60+500, no contaba con más de 1 mes de construido por lo que se optó por no ser protegido y más bien se le aplicaría la PC por corriente impresa.

PROGRESIÓN KILOMETRICA	ANODOS INSTALADOS	PUNTO MONITOREO
00+000	1 anodo.	----------
02+000	----------	Monitoreo
05+000	1 anodo.	----------
08+000	----------	Monitoreo
10+000	----------	Monitoreo
13+000	1 anodo.	----------
13+500	----------	Monitoreo
15+004	2 anodos	----------
18+000	----------	Monitoreo
20+000	2 anodos	----------
25+015	----------	Monitoreo
30+000	1 anodo.	----------
30+500	1 anodo.	----------
33+202	----------	Monitoreo
33+508	1 anodo.	----------
36+550	1 anodo.	----------
36+607	1 anodo.	----------

38+00	----------	Monitoreo

Tabla 7.2

De esta manera se han realizado los gráficos correspondientes a los potenciales de los puntos monitoreados, que se encuentra en el capitulo IX Puesta en marcha y monitoreo

7.3. SISTEMA DE PROTECCION CATODICA POR CORRIENTE IMPRESA

7.3.1.NORMAS DE REFERENCIA Y DOCUMENTOS TECNICOS.

NACE SP 0169-2010. Control of External Corrosion of Underground or Submerged Metallic Pipeline System.

NACE TM 0497-2000 Measurement Techniques Related to Criteria for Cathodic Protection on Underground or Submerged Metallic Piping Systems.

Peabody's CONTROL OF PIPELINE CORROSION, 2nd edition, A.W. Peabody, NACE International, Houston, 2001.

7.3.2.INSTALACIÓN DE LA CAMA ANÓDICA

7.3.2.1. Configuración de Instalación.

La profundidad de la instalación ánodo, las dimensiones y disposición deberán ser registradas. Los requisitos del diseño permiten el uso de la excavación manual. La excavación para instalar el ánodo deberá ser de manera escalonada para prevenir para prevenir derrumbes.

Las condiciones del suelo dictarán la necesidad de esto. Ambas camas anódicas serán instaladas horizontalmente**.**

NUMERO	Unidad	Poder	EQUIPO SELECCIONADO		CAJA A CONSTRUIR		
			Unidades PC		Profundidad	ancho	Longitud
			Voltaje	Amps	(m)	(m)	(m)
1	R-1	220 V AC	50	10.0	0.75	0.75	3.22
2	R-2	220 V AC	50	10.0	0.45	0.45	2.36

Tabla 7.3 Dimensiones de Instalación de los Ánodos.

7.3.2.2. Procedimiento de Instalación

Una vez que se establezca la zona definida de construcción de la cama anódica seguir lo siguiente:

7.3.2.2.1. Instalación de cama anódica

a) Demarcar el área de trabajo con cinta de seguridad.

b) Con un medidor de distancias marcar la ruta de la zanja del cable principal y las ubicaciones de los ánodos basados en el diseño y condiciones locales, colocar estacas de madera usados como marcas.

c) Iniciar el tendido del cable desde el último hasta el primer ánodo. Ver las dimensiones de la zanja ver Fig 7.11. Si es necesario, remover la capa vegetal así pueda ser restaurado después de que se haga el trabajo de instalación

d) Poner el cable principal a lo largo del foso. La longitud total del cable será entre el último ánodo y el rectificador.

e) Excavar el primer agujero del ánodo siguiendo las dimensiones y la orientación del diseño. El primer ánodo debe estar alejado mas de 80 metros de forma perpendicular a la tubería.

f) Verter una primera capa de coque con la mitad del peso total del backfill utilizado para cada ánodo.

g) Apisonar el coque a fondo con el fin de que no existan vacíos presentes y por lo tanto el contacto íntimo entre el ánodo y el coque este asegurado. Cuando el agua esté presente y el apisonamiento no es posible se debe esperar un tiempo adecuado para que el coque asiente.

h) Poner el ánodo de titanio MMO. El ánodo debe ser centrado en el agujero. No levantar el ánodo por el cable, esto puede causar falla mecánica en la conexión del ánodo/ cable y daño del aislamiento del cable.

i) El cable del ánodo se debe extender totalmente por lo menos 1.5 m hasta que alcance el cable de la zanja, cable Principal. Ver Fig 7.11

j) Verter la última capa de backfill y apisonar.

k) Unir el cable del ánodo y el cable principal con un sílice kit.

l) Después de la conexión rellenar el agujero del ánodo con tierra natural tomando cuidado de no permitir que rocas u objetos agudos estén en contacto con el cable.

m) Apisonar y restaurar la capa vegetal.

n) Para cada ánodo adicional seguir los pasos e a m anteriormente descrito.

o) Cuando todos los ánodos están instalados proceder a rellenar la zanja del cable principal hasta una profundidad de 50 centímetros. La tierra natural de relleno no debe tener rocas u objetos agudos que pueden entrar en contacto con el cable.

p) Poner la cinta preventiva de cable eléctrico a lo largo del trazado del cable principal en la zanja.

q) Acabar de rellenar la zanja del cable principal, apisonar y restaurar la capa vegetal.

r) Al lado del primer y último ánodo se debe colocar una marca de cama anódica. Ver Fig 7.11.

s) Quitar la cinta preventiva amarilla del área de trabajo.

Desarrollar un plano con las condiciones finales de instalación y emitir el PLANO AS BUILT.

7.3.2.2.2. Instalación cable principal de la cama anódica al rectificador

a. Demarcar el área de trabajo con cinta preventiva amarilla de seguridad.

b. Marcar la ruta de la zanja del cable principal basado en el diseño y las condiciones locales a considerar. Para las marcas usar estacas de madera o pintura de aerosol roja.

c. Comenzar la zanja del cable principal a partir del primera ánodo en la localización del rectificador. Cuando sea necesario remover la capa vegetal para así pueda ser restaurada después de que el trabajo culmine.

d. Poner el cable principal a lo largo del foso

e. Proceder a rellenar la zanja del cable principal hasta una profundidad de 50 centímetros. La tierra natural de relleno debe tener rocas u objetos agudos que pueden entrar en contacto con el cable.

f. Poner cinta preventiva de cable eléctrico a lo largo de la trayectoria del cable en la zanja.

g. Rellenar la zanja del cable principal, apisonar y cuando sea aplicable restaurar la capa vegetal.

h. En toda la ruta del cable principal se debe poner marca de cable cada cincuenta (50) metros y dondequiera que el cable cambie de dirección. Saliendo del rectificador hacia el ultimo ánodo.

i. Quitar la cinta preventiva del amarillo del área de trabajo.

Desarrollar un plano con los arreglos finales para asistir como PLANO AS BUILT.

7.3.2.3. Materiales

- Cable HMWPE.
- Anodo de Titanio MMO,
- Coke,
- Poste marcador de cable,
- Poste marcador de cama anódiac, 2 unidades
- Cinta amarilla preventiva, 500 m
- Estacas de Madera , 30
- Pintura Spray
- Caja de herramientas.

7.3.2.4. Recursos

- Equipo de comunicacion
- Vehiculo
- Ingeniero de Corrosion / Electrico.
- Tecnico
- Ayudante 6-8.

7.3.2.5. Equipamiento.

- Herramientas de excavación manual (Hoe, Shovel, Post Hole Digger, etc)

- Wood or metal tamp
- Amperimetro de tenza
- Medidor de distancia Wincha metrcia.

7.3.2.6. Resultados

La resistencia de la cama anódica remota se debe medir según lo indicado anteriormente. Completar el formato respectivo. Ver el sitio información AS BUILT para dibujar el PC como AS BUILT.

7.3.2.7. Seguridad

Antes de iniciar las actividades, el supervisor debe informar a los trabajoadores acerca de los riesgos potenciales involucrados en las preguntas descritas en los procedimientos de seguridad análisis de trabajo seguro ATS.

Todo el personal debe usar los elementos de seguridad correspondientes:

- Casco.
- Zapatos punta de acero.
- Guantes de seguridad.
- Lentes de seguridad.

Todo el personal involucrado en las actividades, debe conocer el plan de contingencia. Estas operaciones deben ser conducidas en acuerdo con los procedimientos de seguridad.

7.3.2.8. Protección Ambiental

Las siguientes reglas generales serán recibidas por el constructor:

- Las áreas de trabajo estarán siempre limpias.
- La basura será arreglada solamente en las áreas aprobadas a tal intención.
- Los ríos no serán utilizados para la disposición de basura, suelo o de basuras orgánicas.
- Los animales no serán cazados, ni será molestados.
- La pesca, la caza y la posesión de los armas de fuego se prohíben totalmente.

Es obligatorio para todo el personal cumplir con las medidas establecidas para la protección ambiental.

7.3.2.9. Prueba

La instalación correcta de la cama anódica será establecida como sigue:

Verificar que el aislamiento del cable principal y del ánodo esté intacto. Donde se localice una avería seguir el procedimiento para reparar aislamiento del cable. Otro punto que se verificará es la fuerza mecánica del ánodo y de su unión del cable antes de taparlo. Verificar que el proceso del apisonamiento se haya hecho adecuadamente este paso es crítico para el adecuado funcionamiento de la cama anódica, considere las instrucciones del fabricante del coque.

7.3.3.INSTALACION DEL RECTIFICADOR

7.3.3.1. *Documentos de referencia:*

Nema 4 MR 20 “Cathodic Protection rectifiers Units”

7.3.3.2. Instalación

7.3.3.2.1. Equipo

Después de recibir el equipo, comprobar que la unidad esté en buenas condiciones. Cuando es necesario, entrar en contacto con el agente de expedición.

La fuente consiste de:

a. Una fuente de alimentación de rectificador de 10A D.C. 50 V D.C.

- Hecho en acero inoxidable.
- Montaje en poste
- 20 puntos de regulación de voltaje
- Un socket de energía 220 vac

b. Manual de instalación y de operación

c. Documento de garantía.

7.3.3.2.2. Desempaque y Montaje

a. Quitar el embalaje y guardarlo en caso de futuras necesidades de transporte.

b. Para remover la unidad de la base de madera, quitar los clavos. Evitar cualquier choque al moverse.

c. Antes de mover el rectificador, comprobar y volver a apretar cualquier perno que pudiera haber venido suelto durante el envío. Se recomienda que la elevación del RECTIFICADOR sea hecha por dos o más personas. La tapa y el fondo del recinto se deben utilizar como puntos de elevación.

d. El RECTIFICADOR se debe montar a una base firme y estable. El RECTIFICADOR se debe montar a una altura suficiente que pueda ayudar el enfriamiento del equipo

7.3.3.2.3. Chequeos Preliminares

a. La conexión se debe realizar de acuerdo con los estándares de seguridad.

b. Para asegurar una operación correcta de la unidad, seguir terminantemente estas recomendaciones:

c. a. Al accionar la entrada tiene que ser 220V AC. Un total de tres conductores debe ser entregado: Línea 1, línea 2 y tierra.

d. b. La tierra de la instalación y las protecciones contra contactos indirectos debe conformarse con estándares de seguridad.

7.3.3.2.4. Conexion

a. Verificar que el interruptor de alimentación de energía esté en la posición Off.

b. Verificar que el interruptor del rectificador esté en la posición Off.

c. Verificar que las líneas de la energía de entrada estén alineadas.

d. Realizar la conexión de AC hasta la entrada del rectificador.

e. Conectar el cable de tierra con el chasis del rectificador.

f. Mover los taps de salida a la posición más baja A1.

g. Comprobar que el V AC de los zockets de energía sea 220 V AC .

h. Energizar la unidad.

i. Verificar la operación de la instrumentación: Horometro, voltímetro y amperímetro.

j. Comprobar las lecturas de instrumentación con multimetro.

k. Comprobar el circuito abierto V D.C. saliente en las posiciones A1 y D5.

l. Obtener un Waveprint de la salida de V D.C. para verificar la rectificación de onda completa.

7.3.3.2.5. Aplicación de carga.

El RECTIFICADOR debe ahora funcionar en el nivel correcto de energía. Antes de aplicar la carga del, asegurarse que todas las conexiones del alambre esten apretadas.

a. Verificar que el breaker de alimentación de energía esté en la posición Off.

b. Verificar que el breaker del rectificador esté en la posición Off.

c. Mover los Taps a la salida más baja A1.

d. Conectar los cables R 1002 (+) y R 1001 de la carga (-) al rectificador en los terminales Cama (+) y Estructura (-).

e. Energizar la unidad.

f. Verificar la operación de la instrumentación: Horometro, voltímetro, amperímetro.

g. Comprobar las lecturas de la instrumentación con multimetro.

El rectificador entregará energía a la unidad de monitoreo vía un socket de energía.

7.3.3.2.6. Prueba

La instalación correcta del RECTIFICADOR será establecida con el funcionamiento del sistema. Debe registrarse la instalación con el formato respectivo

Se recomienda que este registro sea utilizado para supervisar el funcionamiento del sistema en el sitio cada visita. Esta información tiene valor para referencia futura.

7.3.3.2.7. RESULTADOS

Completar el formato respectivo.

Ver la información del sitio y luego entregar para dibujar el plano de PC As Built.

7.3.3.2.8. EQUIPO.

- Voltímetro.
- Pinza Amperímetrica.
- Caja de Herramientas.

7.3.3.2.9. MATERIALES

- Rectificador de 50 V 10 A.
- Planos de construcción.

7.3.3.2.10. RECURSOS

- Equipos de Comunicación.
- Vehiculo.
- Ingeniero electrico
- Ingeniero de Corrosión.

7.3.3.2.11. SEGURIDAD

- Precaución: voltaje peligroso dentro de la fuente de alimentación del rectificador.
- Desconectar la unidad de las cañerías antes de comprobar los componentes internos.
- Evitar el agua, líquidos en general y/o los objetos extraños dentro de la aplicación

La instalación se debe realizar solamente por el personal entrenado.

Antes de comenzar las actividades, el supervisor dictará las charlas de seguridad y capacitación a los trabajadores sobre los riesgos potenciales implicados en las tareas descritas en los procedimientos de seguridad, analizando el ATS (análisis de trabajo seguro).

Todo el personal utilizará los elementos de protección personal, por lo menos:

- Casco de seguridad.
- Zapatos de seguridad con punta de acero.
- Guantes antideslizantes.
- Gafas de seguridad.

Todo el personal implicado en estas actividades, conocerá el plan de contingencia. Estas operaciones serán conducidas en acuerdo con los procedimientos de seguridad generales.

7.3.3.2.12. PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

Las siguientes reglas generales serán dadas al recibir el personal del constructor:

- Las áreas de trabajo estarán siempre limpias.
- La basura será arreglada solamente en las áreas aprobadas a tal intención.
- Los ríos no serán utilizados para la disposición de la basura, suelo o basura orgánicos.
- Los animales no serán cazados, ni será molestados.
- La pesca, la caza y la posesión de los armas de fuego se prohíben totalmente.

Especial cuidado se debe tener debido al uso de aceites. Si esto pasa, usar paños absorbentes. Es obligatorio para todo el personal, el cumplimiento con las medidas establedias de protección ambiental

7.3.3.2.13. Inspecciones y mantenimiento

Las inspecciones regulares de las unidades rectificadoras, su mantenimiento y buenos registros, evitan las salidas de operación de la unidad, un mejor control de la corrosión y bajos costos. Los procedimientos que se recomiendan a continuación deben ser llevados a cabo por lo menos mensualmente.

La primera parte de la inspección, inspección visual, en el caso de los rectificadores esto se debe hacer en el interior y exterior de la unidad.

En el interior, lo primero que se debe realizar después de apagar la unidad es revisar la temperatura de los disipadores, esto se realiza simplemente tocando los disipadores del puente. La falta de uniformidad en la temperatura de los disipadores indica un problema. Esta condición debe ser evaluada por personal calificado.

Con el rectificador apagado verificar si hay arcos quemados en aisladores u otros componentes lo cual pudo ser causado por un sobre-pico.

Otra revisión es verificar inmediatamente después de apagar el rectificador la temperatura de operación de todas las conexiones, todas las conexiones atornilladas de cualquier tipo pueden aflojarse y resultar en un mal contacto, lo cual causa recalentamiento hasta la falla de la conexión, todos estos problemas se pueden solucionar antes de que sea demasiado tarde.

El no enfriamiento apropiado de todos los componentes en el rectificador es siempre un problema. La acumulación de polvo, nidos de pájaros o insectos o cualquier cosa similar en los componentes o en la malla, puede causar la falla de la unidad.

La mayoría de los rectificadores están ventilados a través de la malla la cual previene la entrada de la mayoría de insectos que causan problemas. Se debe prestar especial atención en verificar que todos los huecos en la unidad tienen sus tapones o han sido tapados, de esta forma los insectos no podrán alcanzar el interior de la unidad.

Mientras la unidad está apagada verifique que el contador de energía (medidor de vatios) esta completamente parado, un movimiento lento del medidor indica una falla en él o fugas eléctricas de cualquier tipo en el cableado.

Con la unidad energizada, la exactitud de los medidores se puede comparar midiendo el voltaje de salida en los terminales positivo y negativo en la escala de voltios y la corriente de salida a través del shunt en la escala de milivoltios, teniendo en cuenta su factor de conversión.

Los contactos malos en los interruptores de los medidores pueden causar medidas inexactas, verifique que los interruptores estén buenos, tomando 4 medidas consecutivas bajo las mismas condiciones, hasta que las medidas sean idénticas.

En este momento la eficiencia de la unidad puede ser revisada, La eficiencia de la unidad es simplemente la relación de la salida en DC a la entrada en AC.

$$\%\ de\ Eficiencia\ = \frac{Voltios\ DC\ x\ Amperios\ DC}{Vatios\ AC}\ x\ 100$$

La salida en DC son los voltios de salida multiplicados por los amperios de salida.

La entrada puede ser calculada conectando un medidor de vatios en el circuito primario del rectificador, o en la mayoría de los casos, puede ser medida fácilmente contando las vueltas del disco del contador de vatios y aplicando la siguiente fórmula:

$$vatios\ AC = K\ x \frac{N}{T}\ x\ 3600$$

Donde:

K = Es una constante indicada en la cara del medidor.
N = Es el número de revoluciones.
T = Es el tiempo de la medida en segundos.

Si hay un filtro de DC, el choque y los capacitores deberán ser inspeccionados visualmente y chequeados por sobre - calentamiento. Cada capacitor deberá ser inspeccionado. Un filtro inefectivo disminuirá la eficiencia de la unidad y puede causar problemas de interferencia.

La inspección descrita arriba puede durar aproximadamente una hora. Si se mantienen registros de inspección completos, se desarrolla una historia de la unidad la cual hace posible determinar el tiempo de vida remanente del rectificador y predecir su desempeño y confiabilidad.

El registro de eficiencia es bien importante debido a que a medida que los diodos se envejecen, la eficiencia del rectificador baja y cualquier cambio repentino en la eficiencia del rectificador es una indicación de que cualquier componente está fallando.

En la mayoría de los casos el consumo de energía es suficiente para justificar un reemplazo de los diodos. Esto también traerá un mejor desempeño de la unidad.

7.3.4.Instalación de Unidades De Monitoreo

Hay cuatro variables principales que establecen el comportamiento del sistema en un rectificador, éstas son:

- Voltaje del circuito.
- Corriente del circuito.
- Potencial tubería – suelo.
- Disponibilidad de potencia DC del rectificador.
- Disponibilidad de entrada AC al rectificador.

En las válvulas del bloqueo la única medida será el **potencial de la tubería**.

La unidad debe detectar estas diversas señales de entrada y traducirlas a las señales de salida compatibles con el sistema de SCADA. Las señales de salida deben ser entregadas al sistema de SCADA en el tablero terminal de las señales de salida de la unidad de supervisión. No se requiere ni de datos transmisión remoto de las capacidades de almacenaje.

El condicionamiento de señales es el proceso por el cual una señal cruda obtenida de un transductor o directamente del sistema se optimiza antes de ser sometido a un dispositivo de la adquisición de datos (DAQ). Más generalmente, el acondicionamiento de señal convirtiendola a una señal que el sistema de recepción de DAQ necesita. Dependiendo de la señal particular, el acondicionador puede realizar la linearización, la filtración, la amplificación o la otra señal realzando funciones. Mientras que el monitoreo del sistema de protección catódica es de importancia extrema, el acondicionamiento de la señal debe ser realizada. En este caso particular la instalación de la corriente impresa ser supervisada para asegurar el drenaje de corriente apropiado, y por lo tanto un adecuado potencial entre tubería suelo. En las válvulas de bloqueo la variable supervisada será el potencial de la tubería.

7.3.4.1. Señales De Unidad De Monitoreo

7.3.4.1.1. Señales de ingreso.

Las señales a ser monitoreada en una instalación del rectificador son:

Señal de entrada	Nombre	Señal Natural	Rango	Comentarios
1	Voltaje de Circuito	DC Volts / Analogo	0 - 50 V	El voltaje DC es 120 Hz a potencial total de salida del rectificador.
2	Corriente de Circuito	DC miliVolts / Analogo	0 - 100 mV [2]	La señal es leida desde un shunt – Resistencia calibrada- en serie con la terminal negative de la tuberíala relación lineal ente en voltaje y la corriente es: 100 mV / 1 A.
3	Potencial de Tubería	DC Volts / Analogo	0 - 5 V	La medición de señal es positive pero la practica común es reportarlo en valores negativos, en rangos de 0 a (-) 5 Volts.
4	Salida de potencia DC	DC Volts / On - Off		La señan DC es necesaria para verificar que la salida del rectificador esta en operación
5	Entrada de potencia AC	AC Volts / On - Off	Cero o 220 V AC	La señal es necesaria para verfiicar que es rectificador esta en operación:

Tabla 7.4. **Señales de ingreso de laUnidad Rectificadora.**

Las señales a ser monitoreadas en las Valvulas de bloqueo son:

Señal de entrada	Nombre	Señal Natural	Rango	Comentarios
1	Potencial de Tubería	DC Volts / Analogo	0 - 5 V	La medición de señal es positive pero la practica común es reportarlo en valores negativos, en rangos de 0 a (-) 5 Volts.

Tabla 7.5. Señales de ingreso par a las Válvulas de Bloqueo

7.3.4.1.2. Señales de Salida

No se requieren condiciones especiales de señal.

Para cualquiera de los tipos de instalación los manipuleos de señales de las unidades son como siguen:

Señal de Salida	NOmbre	Señal Natural	Relacion de entrada	Comentarios
1	Volatje del Circuito	Standard 4-20 mA	1/Voltage Circuito	
2	Corriente Circuito	Standard 4-20 mA	2/Corriente Circuito	
3	Potencial de tubería	Standard 4-20 mA	3/Potencial de Tubería	
4	Fallas DC	On/Off Digital 24 V DC Contacto Seca	4/ DC Poder de salida	See Note 1 on page 21
5	Falla AC	On/Off Digital 24 V DC Contacto Seca	5/ AC Poder ingreso	Cuando la AC está disponible la salida es el voltaje de la referencia de SCADA. Si no está 0 DC.

Tabla 7.6. Señales de Salida

Hay una consideración adicional referente a la señal de salida 3:

El sistema tendrá un electrodo de referencia de Ag/AgCl. Los valores de potenciales medidos se deben corregir a los valores de CSE. Se aplica La fórmula siguiente:

Pot (vs CSE) = Pot (vs Ag/AgCl) + 100 mV.

Por ejemplo cuando la unidad de monitoreo lee +950 milivoltios contra Ag/AgCl, después la SCADA debe corregirlo para +1050 milivoltio contra CSE y finalmente exhibirlo como menos (-) 1050 milivoltios vs CSE.

7.3.4.1.3. Señales a ser manejadas en cada locación

Item	Lugar	Variables
1	Estación Lurin	• **Volatje del Circuito** • **Corriente del Circuito** • **Potencial de tubería** • **Falla AC**
2	Estación Terminal	• **Volatje del Circuito** • **Corriente del Circuito** • **Potencial de tubería** • **Falla AC**
3	XV-10004	• **Potencial de tubería**
4	XV-10007	• **Potencial de tubería**

Tabla 7.7. Señales a ser manejadas en cada locación

7.3.4.2. Características de las Unidades de Monitoreo.- Componentes

Los componentes básicos son:

- Terminal de señal de entrada
- Terminal de señal de salida
- Terminal de señal de entrada de poder
- Protección de sobre voltaje de señales entrada/salida
- Protección sobre-voltaje del origen de poder
- Módulos de condiciones de señal.
- Relay (Contacto seco)

El tipo y número específico de componentes depende de la instalación de la protección catódica específica. Todos los componentes mencionados se montan en un recinto de acero inoxidable 304 SS o equivalente.

7.3.4.3. Especificaciones de unidades principales

7.3.4.3.1. Condiciones de señales

DATOS TECNICOS	VALOR
ENTRADA (AJUSTABLE)	
Rango de Voltaje Calibrado	0…. +/- 50 mV, +/- 100 mV, +/- 150 mV, +/- 300 mV, +/- 1 V, +/- 5 V, +/- 10 V, +/- 100 V,
SALIDA (AJUSTABLE)	
Rango de Corriente Calibrada	0… +/- 20 mA, 4-20 mA,
PRESICION	
Basado como un % def escala completa	0.5 % max
Coeficiente de temperatura	< 60 ppm/ K
GENERAL	
Suministro d Voltaje	22-230 V DC/AC
Consumo de poder	<1 W
Rango de Frecuencia	48-62 Hz
Temperatura de Operación	-10 to 70 C
Dimenciones L/H/W	92.4/112.5/12.5 mm
Peso	100 g
Aprobación	CE
AISLAMIENTO (EN 50178, 04/96)	
Rango de Voltage	600 V
Rango de onda de volatje	5 kV, IEC 255-4
Categoria de sobre voltaje	III
Clase de Contaminacion	2
EMC	EN 50178, DIN EN 61326, EN 50081-2

Tabla 7.8. Especificaciones de condiciones de señal

7.3.4.3.2. Relay

DATOS TECNICOS	VALOR
VOLTAJE DE ENTARDA	
Rango de Voltaje calibrado	24, 120, 230 V AC
SALIDA	

DATOS TECNICOS	VALOR
Rated braking capacity	4 kVA
Voltaje máximo de salida	250 V
Corriente máxima	10 A
GENERAL	
Indicador de estado	LED
Clase de protección	IP 20
Consumo de poder	<760 mW
Temperatura de operación	-40 to 50 C
Dimensiones L/H/W	15.2/81/95 mm
Aprobaciones	CE, UL recognized
AISLAMIENTO(EN 50178, 04/96)	
Fuerza dielectrica	>4kV
Categoría de sobre voltaje	III
Clase de contaminación	2

Tabla 7.9 AC Relay

7.3.4.3.3. Protecciones sobre voltaje

- Fuente de origen

DATOS TECNICOS	VALOR
ENTRADA	
Rango de voltaje	230 V AC +/- 10 %
Corriente	16 A
SALIDA	
Voltaje de interferencia L-N	< 500 V
GENERAL	
Indicador de estado	LED
Clase de Protección	IP 20
Temperatura de Operación	-25 to 50 C
Dimensiones L/H/W	52.5/56/45 mm
AISLAMIENTO	
VDE 0675 Part 6	Class D
Categoría de sobre voltaje	II
Clase de contaminacion	2
Corriente de avería	< 1 micro A

Table 7.10 Protector sobre voltaje fuente de poder AC

- Señales de entrada

DATOS TECNICOS	Valor
Maximo voltaje de operación	90 V
Corriente Máxima	16 A
Capacitancia	1,5 pico F
Limite de frequencia en 50 Ohm -3 dB	
Chispa de sobre voltaje	< 600 V
Corriente de avería	< 10 micro A
Dimensiones L/H/W	91/12/63.2 mm
Aprobado	CE

Tabla 7.11. Cables de señal de sobre voltaje

- Señales de salida

DATOS TECNICOS	VALOR
Maximo voltaje de operación	24 V DC
Corriente Máxima	0.5 A
Inductancia	75 micro H
Capacitancia	1.5 nano F
Limite de frequencia en 50 Ohm -3 dB	500 k Hz / 240 Ohm
Varistor de Voltaje	30 V DC
Diodos supresores	33 V DC
Chispa de sobre voltaje	< 600 V
Corriente de avería	< 10 micro A
Dimensiones L/H/W	91/6/63.2 mm
Aprobado	CE

Tabla 7.12. Loops de corriente de siobre voltaje

7.3.5.PROCESO CONSTRUCTIVO

7.3.5.1. Construcción cama anódica 1

La construcción de la cama anódica Ubicada en el City Gate de Lurín se inició en día 01 de abril al 10 de abril 2003.

Se realizaron las fosas según el la Figura 7.11, los resultados de construcción fueron los siguientes:

Longitud de cama	36	m
Cantidad de ánodos	04	und
Distancia entre ánodos	06	m
Dimension de cama de ánodo por ánodo	3.20 m largo 0.75 m ancho 0.75 m profundidad	
Profundidad total de cama	2.0	m
Cantidad de backfill total	6960	Kg.
Longitud de zanja del cable positivo al rectificador	125.4	m
Dimensiones de zanja de cable positivo	0.5 1.0	m ancho m profundidad
Personal	08	**Personas**

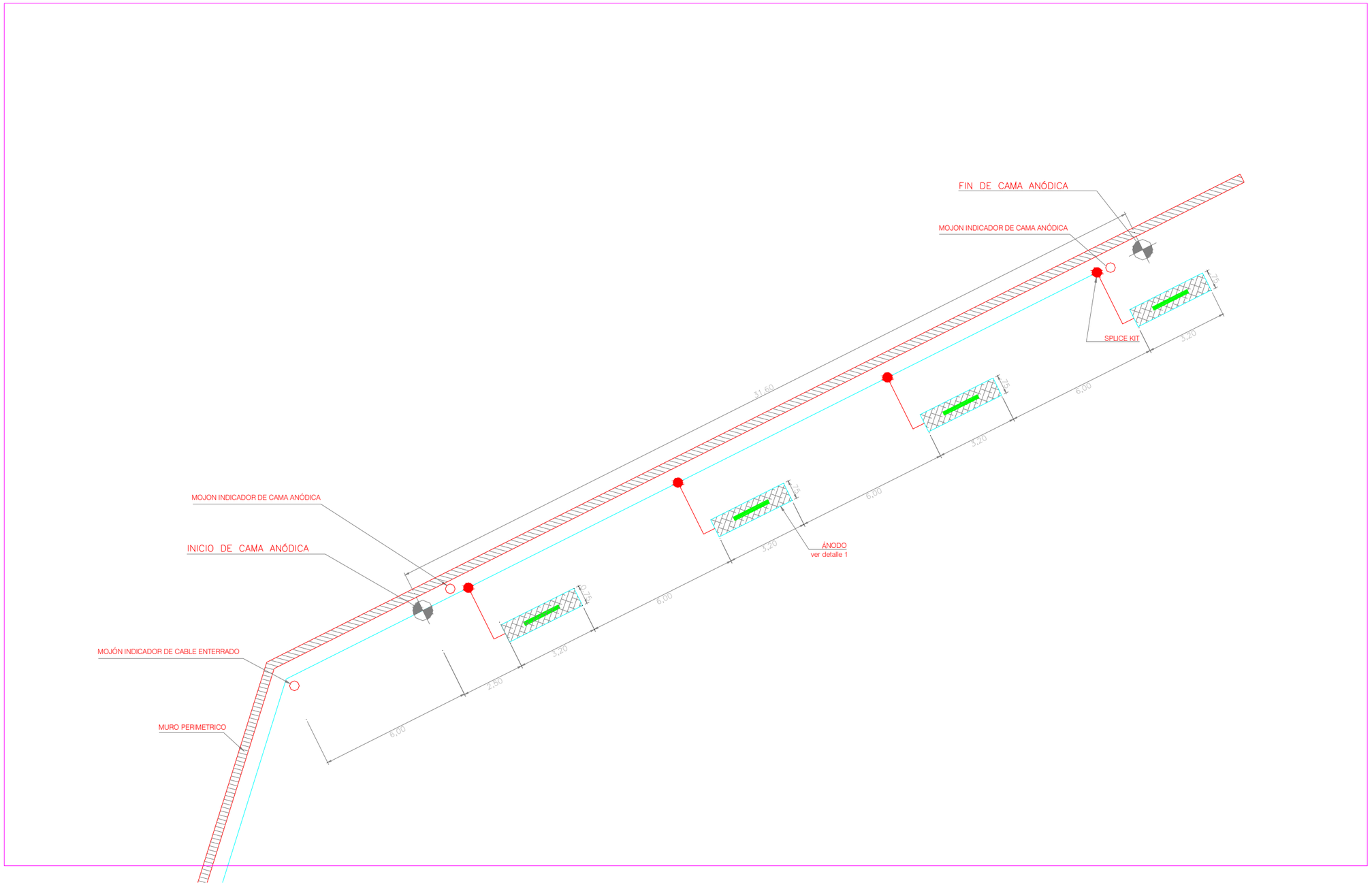


Figura 7.8 Ubicación Cama Anódica City Gate Lurin

DETALLES DE CONSTRUCCION CAMA ANODICA CITY GATE LURIN

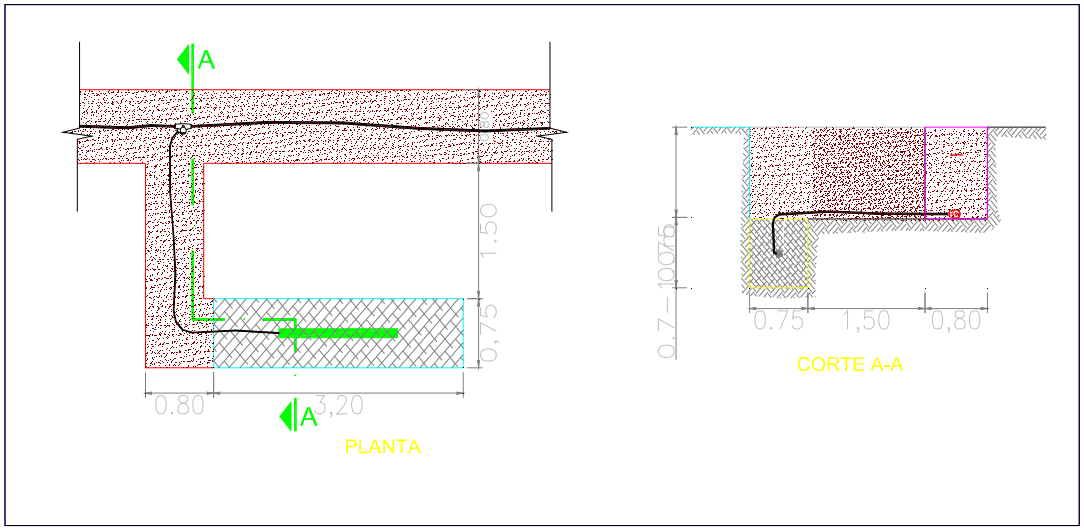


Figura 7.9 Construcción de caja de ánodo

ITEM	MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD
1	Ánodo de Titanio 1" x 60"	Und	4
2	Backfill de Coque	Kg	6,950
3	Splice Kit	Und	5
4	Split Bolt	Und	5
5	Cadweld CA15	Und	4
6	Handy Cap	Und	4
7	Electrodo de Referencia Ag/AgCl	Und	1
8	Cable HMWPE AWG N°2	m	250
9	Cable HMWPE AWG N°10	m	55
10	Cinta Amarilla de Seguridad	m	250
11	Mojón Indicador de Cama Anódica ø6" x 0,8m	Und	2
12	Mojón Indicador de Cable enterrado ø6" x 0,5m	Und	7
13	Tubería de Activación de Electrodo ø3" x 2.5m	Und	1
14	Rectificador 50 V 10 A	Und	1
15	Tubo PVC ø3" Sch40 x 1.5m	Und	2

Tabla 7.11 Componentes Principales

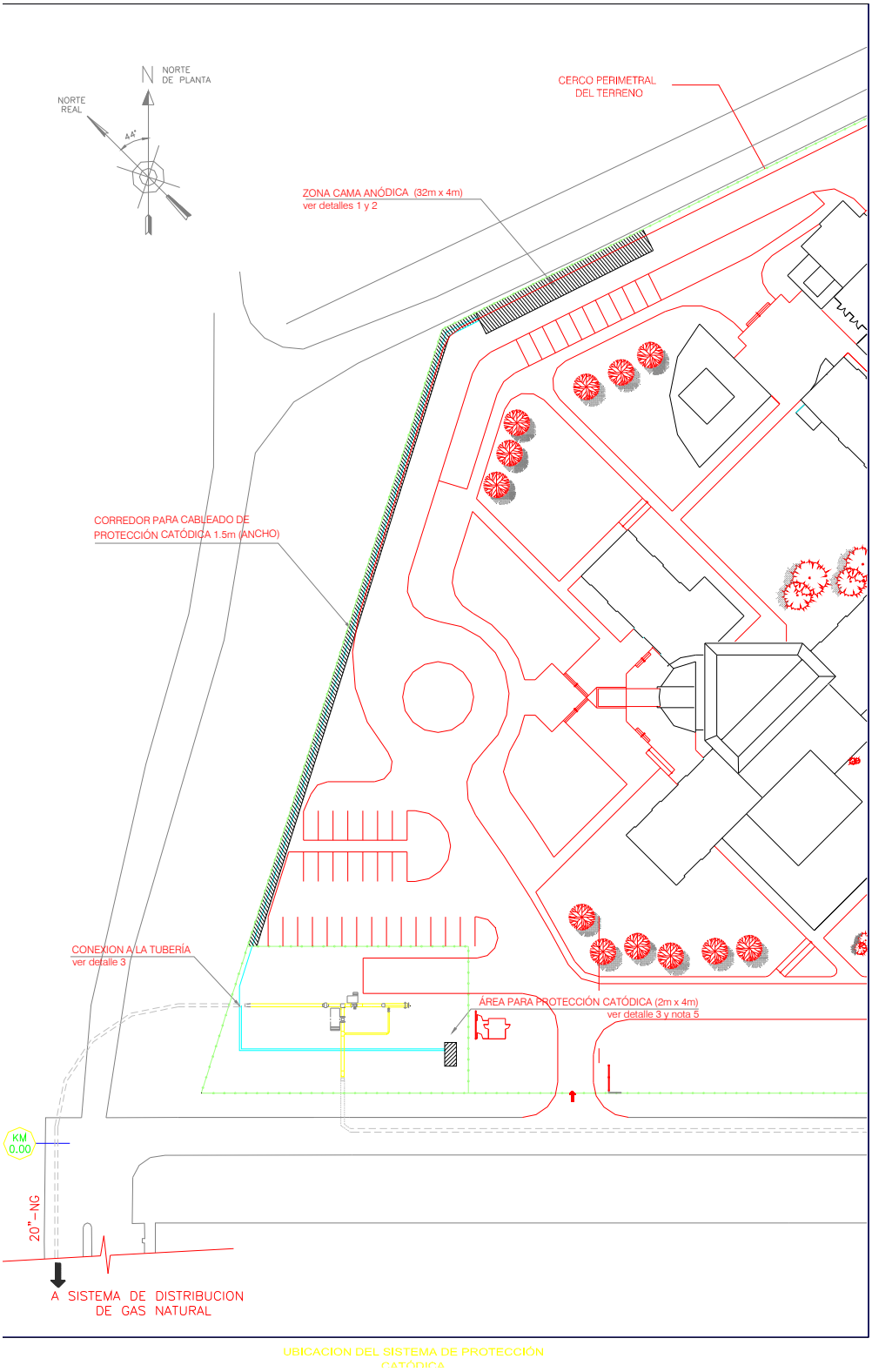


Figura 7.10 Ubicación del sistema de protección catódica City Gate

7.3.5.2. Construcción cama anódica 2

La construcción de la cama anódica #2 TERMINAL STATION Ventanilla, se inicio el 23 de marzo culminando el 01 de abril 2003.

Los datos de construcción son los siguientes:

Longitud de cama	22	m
Cantidad de ánodos	04	und
Distancia entre ánodos	06	m
Dimension de cama de ánodo por ánodo	3.20	m largo
	0.75	m ancho
	0.75	m profundidad
Profundidad total de cama	1.5 - 1.8	m
Cantidad de backfill total	2086	Kg.
Longitud de zanja del cable positivo al rectificador	94	m
Dimensiones de zanja de cable positivo	0.5	m ancho
	1.0	m profundidad
Personal	08	personas

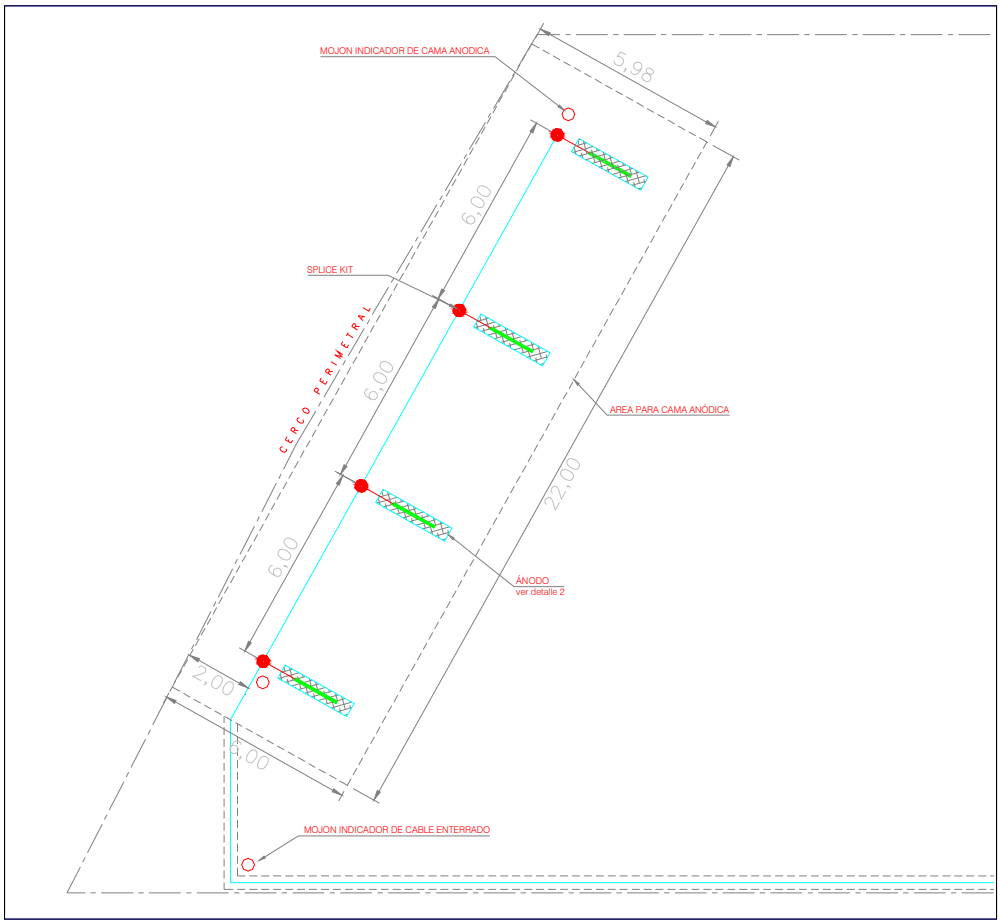


Figura 7.11 Disposición Cama Anódica Terminal Station Ventanilla

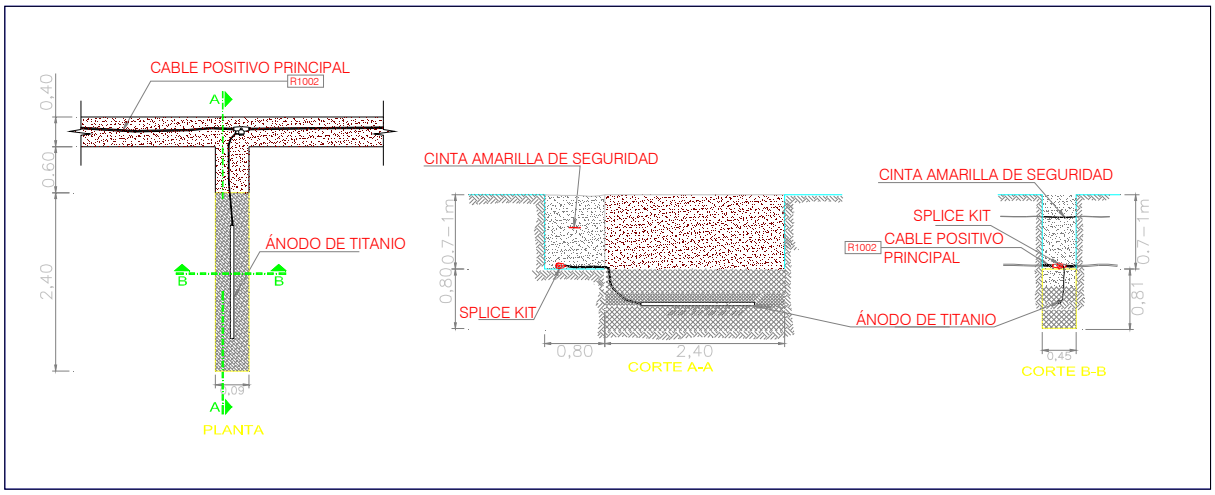


Figura 7.12 Detalles de construcción de caja de ánodo

ITEM	MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD
1	Ánodo de Titanio 1" x 60"	Und	4
2	Backfill de Coque	Kg	1,828
3	Splice Kit	Und	5
4	Split Bolt	Und	5
5	Cadweld CA15	Und	4
6	Handy Cap	Und	4
7	Electrodo de Referencia Ag/AgCl	Und	1
8	Cable HMWPE AWG N°2	m	200
9	Cable HMWPE AWG N°10	m	20
10	Cinta Amarilla de Seguridad	m	200
11	Mojón Indicador de Cama Anódica ø6" x 0,8m	Und	2
12	Mojón Indicador de Cable Enterrado ø6" x 0,5m	Und	5
13	Tubería de Activación de Electrodo ø3" x 2.5m	Und	1
14	Rectificador 50 V 10 A	Und	1

Tabla 7.12 Componentes Principales

7.3.5.3. Proceso constructivo en la instalación del rectificador #1 city gate Lurín

7.3.5.3.1. Construcción loza de concreto

Una vez construida la cama anódica y el cable principal se encontraba extendido a lo largo de todo el derecho de vía, se procede a la instalación del rectificador, Junction Box y Unidad de monitoreo

Para poder realizar esta instalación del rectificador, hubo primero que preparar el encofrado y vaciado de la loza de concreto armado tal como lo muestra la figura 7.13, instalando los postes soporte del rectificador y de las unidades de monitoreo u Junction Box (Caja de unión), tubería de acero galvanizado 4" diámetro, tubería conduit flexible de 3" y 1 ½" de diámetro para las entradas y salidas de los cables que se utilizaran, según la figura siguiente:

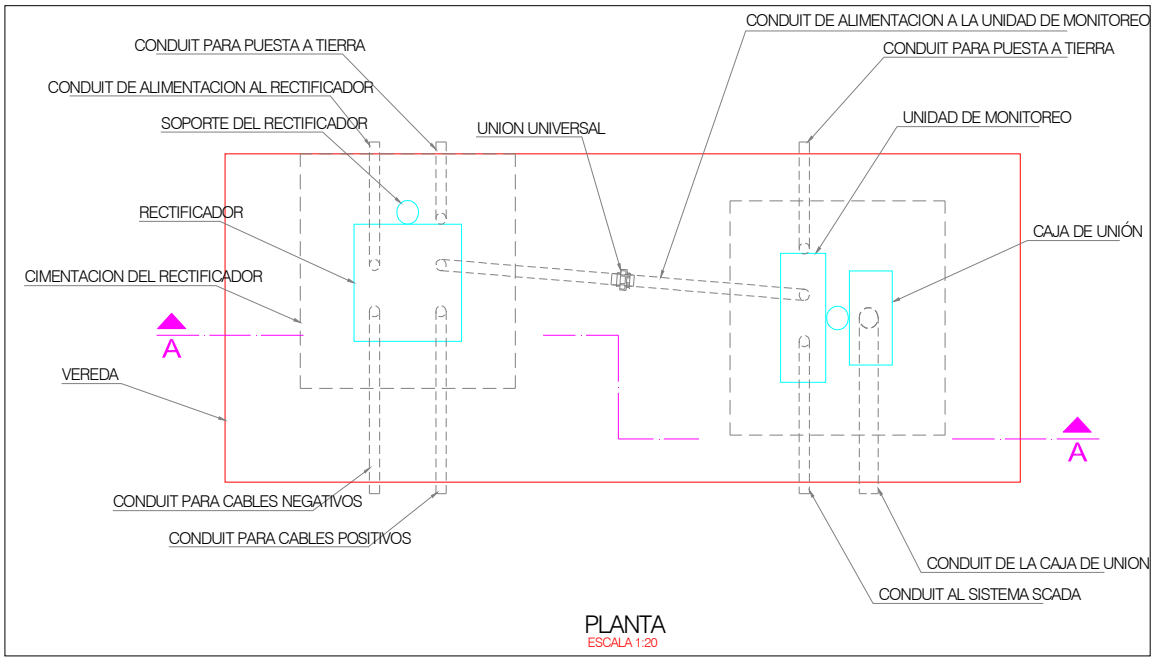


Figura 7.13 Esquema de distribución de ductos de interconexión entre rectificador y Unidad de Monitoreo.

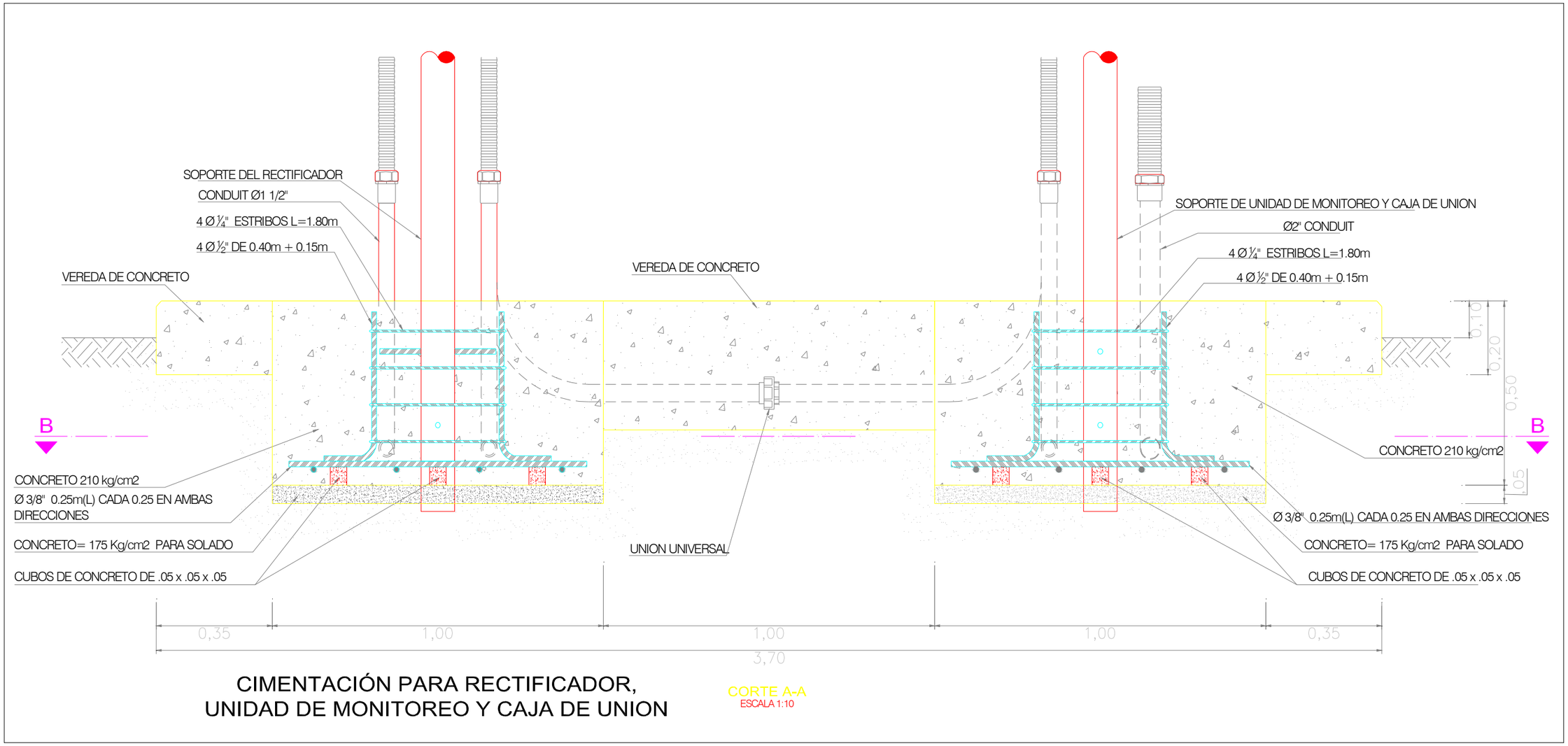


Figura 7.14 Cimentación Para Rectificador Caja De Monitoreo Y Caja De Union (Vista Frontal)

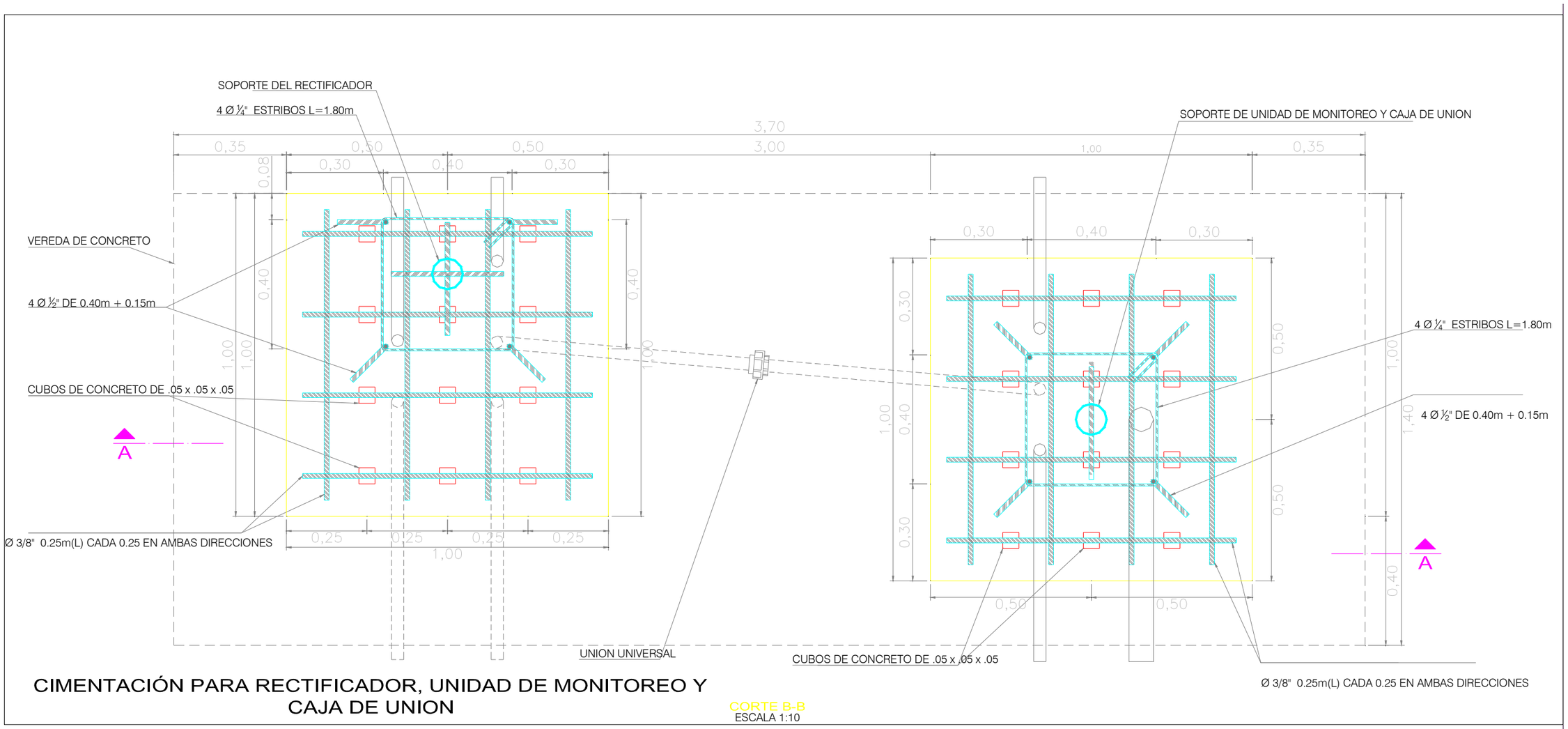


Figura 7.15 Cimentación para Rectificador Caja de Monitoreo y Caja de Unión (Vista de Planta)

7.3.5.3.2. Montaje del Rectificador – Electrodo de Referencia Ag/AgCl.

Una vez que la loza de concreto estuvo finalizada, se desmontó el rectificador de su contenedor para poder instalar primero este y luego colocar el rectificador, se eligio esto pues favorecia a la facilidad del trabajo. Una vez que se montó la caja del rectificador, se procedió a montar el rectificador.

El mismo proceso se utilizo para la unidad de monitoreo y la caja de unión (Junction box), pues en este caso se contaba con dos varillas roscadas pasantes.

Una vez montadas las cajas metálicas de todas las unidades se instalaron las conexiones de tuberías de los conduit flexibles y haciendo pasar el cables proveniente de la cama anódica y el cable de interconexión del rectificador a la Caja de unión.

Paralelamente se inicia la excavación de una zanja de 1 m de profundidad y 0.5 m de ancho perpendicular a la tubería de gas, con el fin de realizar la soldadura exotérmica y asi tener el cable negativo proveniente de la tubería. Se instala a su vez el electrodo de referencia de Ag/AgCl, manteniéndolo húmedo una vez que se retira del empaque se rellena con terreno natural 0.20 m y se sitúa sobre el, una tubería de plástico con el fin de hidratarla periódicamente con el fin de asegurar el contacto del electrodo de referencia y el terreno natural. La disposición se realizo tal como lo indica la figura siguiente:

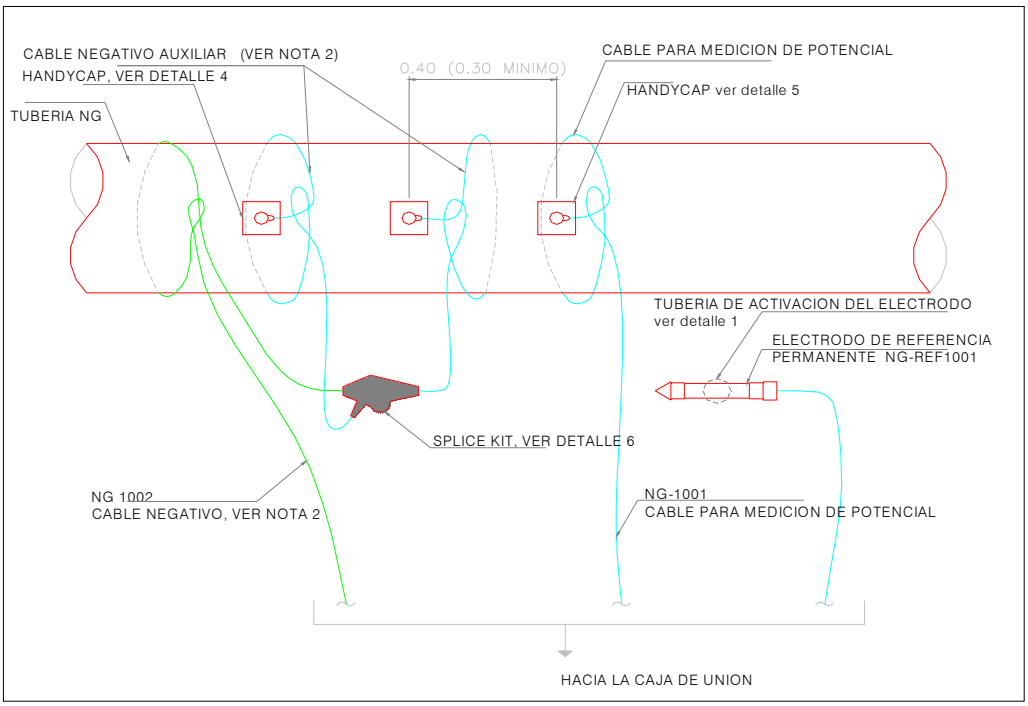


Figura 7.16 conexiones de tubería y electrodo de referencia

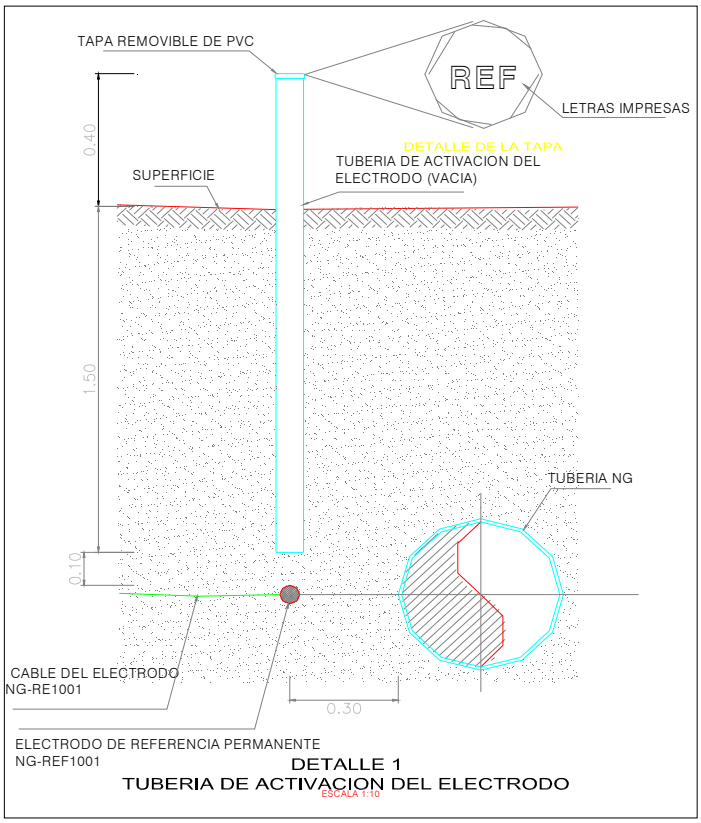


Figura 7.17 Tubería de Activación del electrodo

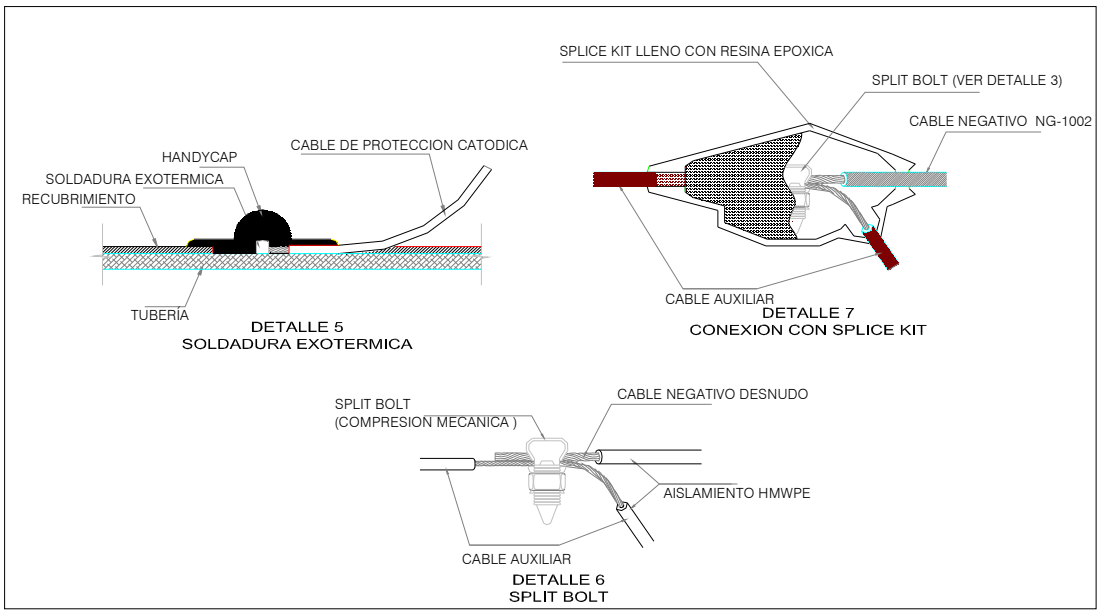


Figura 7.18 Conexión De soldadura exotermica con handycap Royston, Sílice Kit y Union Con Split Bolt KS 20

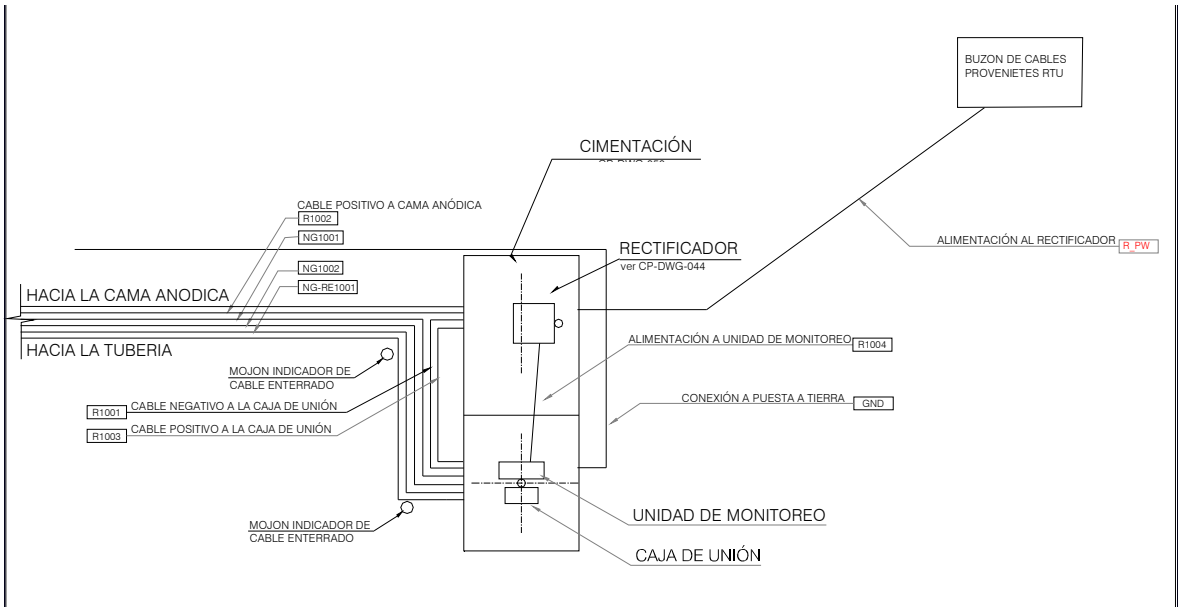


Figura 7.19 Ubicación de Rectificador, Caja de unión Unidad de monitoreo (Vista de Planta)

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AISLAMIENTO	AWG	COLOR	ENTERRADO	LONGITUD(m)
R1001	Cable Negativo a la Caja de Unión (transmisor de corriente)	HMWPE	2	NEGRO	N	15
R1002	Cable Positivo a Cama Anódica (transmisor de corriente)	HMWPE	2	NEGRO	N	250
R1003	Cable Positivo a la Caja de Unión (cable de señales)	HMWPE	10	NEGRO	S	15
R1004	Alimentación a la Unidad de Monitoreo (*)	PVC	3x12 Ø1" (OUTER)	COBERTURA NEGRA	S (REQUIERE CONDUIT)	15
R_PW	Alimentación al Rectificador (*)	Ver Detalle 2	3x10 Ø15mm (OUTER)	COBERTURA NEGRA	S	10
NG-RE1001	Cable del Electrodo de Referencia Ag/AgCl	RHW	14	AZUL (Ag/AgCl)	SI	55
NG1001	Cable de Medición de Potencial de Tubería NG	HMWPE	10	NEGRO	SI	55
NG1002	Cable Negativo de Tubería NG	HMWPE	2	NEGRO	SI	55
NGB1002	Cable Negativo de Ramal	HMWPE	10	NEGRO	SI	55
GND	Cable desnudo de Cobre (para puesta a tierra)	-	2	-	SI	20

Tabla 7.13 Cables Código de construcción y longitud

+

Tabla 7.14 INFORMACION DE ARRANQUE

A. DATOS DE LA UNIDAD										
RECTIFICADOR	LUGAR			FECHA						
1	**LURIN**			**20-04-04**						
REFRIGERACION	CAPACIDAD A.C.			CAPACIDAD A.C.			SHUNT	AUTOMATICO		
	V (V)	I (A)		V (V)	I (A)		(A/mV)			
OIL__ AIR_X__	**220**	**3.3**		**50**	**10**		**_15 / _15**	**Y___ N_X**		
B. PERFIL DE OPERACION										
A.C			D.C							
V (V)	I (A)		V (V)	I (A)						
221	**3.3**		**21.9**	**1.4**						
PIPE POTENTIAL 1 (__20”_)			TAPS							
ON (mV)	OFF (mV)		G/F							
1486			**G_A_; F_4__**							
RESISTENCIA DE SUELO	RESISTENCIA DE ANODOS		DATOS DE SALIDA							
(Ohm)	(Ohm)		V OUT		POT					
1.44	**7.64**		**21.9**		**2.045**					

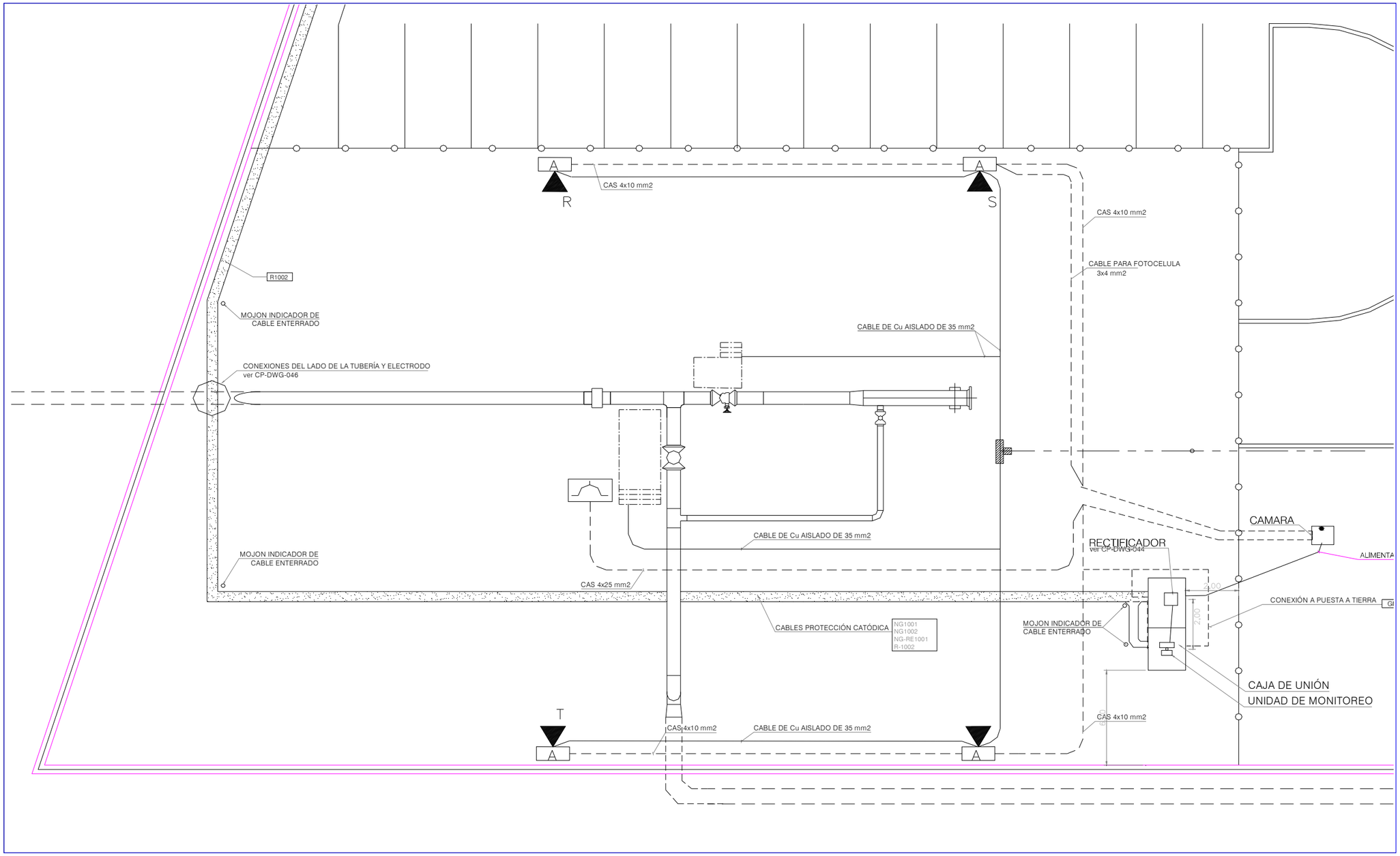


Figura 7.20 Ubicación de área de protección catódica y conexiones a tubería

7.3.5.4. Instalación De Rectificador #2 Terminal Station Ventanilla.

7.3.5.4.1. Construcción Loza de Concreto

La construcción de la loza de concreto para el TERMINAL STATION es de iguales dimensiones que la construida en el CITY GATE, con la misma disposición de tubería conduit flexible.

7.3.5.4.2. Instalación del Rectificador y Electrodo de Referencia

La instalación del electrodo de referencia tiene iguales condiciones constructivas que la del City gate, tomando para tal efecto el mismo plano de ubicación y construcción. Para la instalación del rectificador se tiene la siguiente ubicación del rectificador

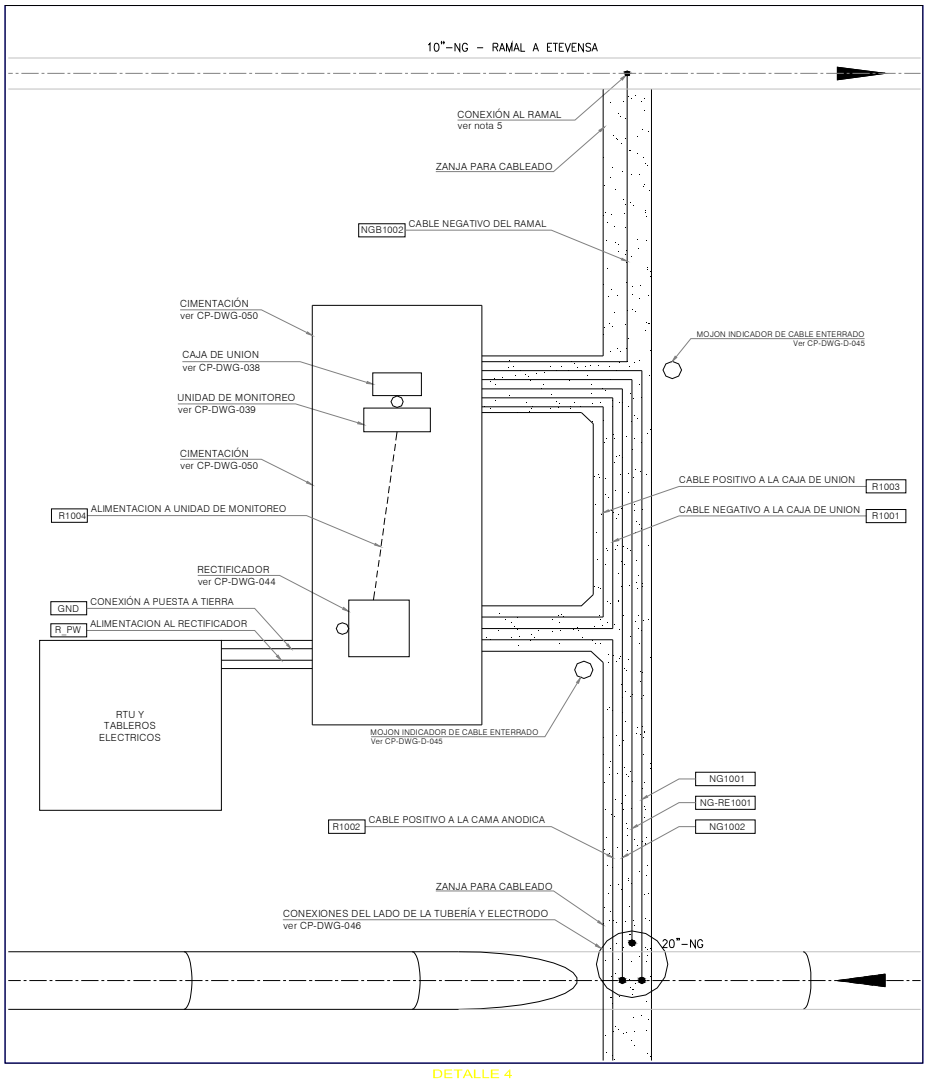
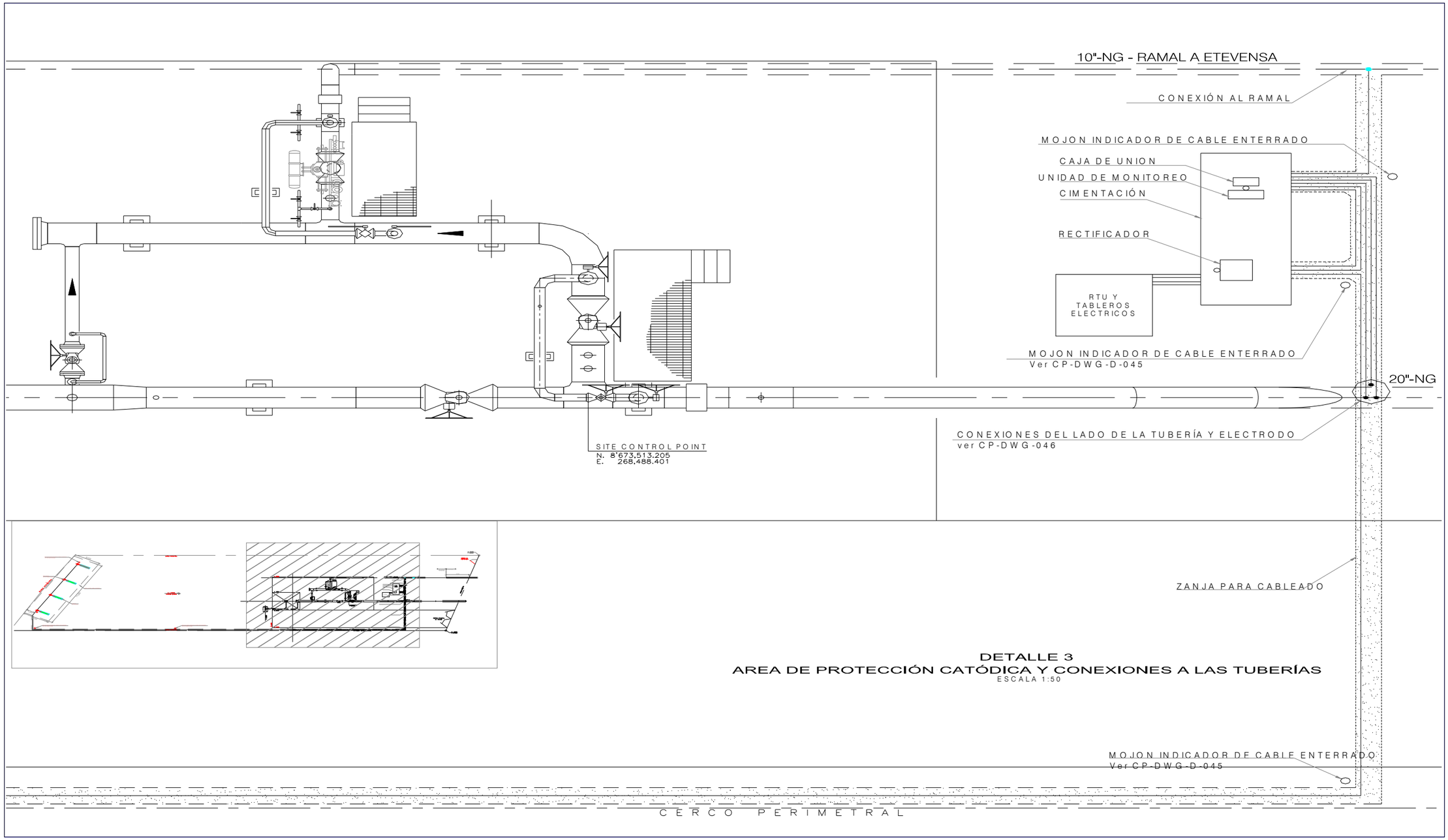


Figura 7.21 Rectificador, Unidad de Monitoreo y Caja de Unión Terminal Station



DETALLE 3
AREA DE PROTECCIÓN CATÓDICA Y CONEXIONES A LAS TUBERÍAS
ESCALA 1:50

Figura 7.22 Area De Protección Catódica Y Conexionea A La Tubería Terminal Station Ventanilla(Vista Planta)

TABLA 7.15 CABLES

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	AISLAMIENTO	AWG	COLOR	ENTERRADO	LONGITUD(m)
R1001	Cable Negativo a la Caja de Unión (transmisor de corriente)	HMWPE	2	NEGRO	N	15
R1002	Cable Positivo a Cama Anódica (transmisor de corriente)	HMWPE	2	NEGRO	N	150
R1003	Cable Positivo a la Caja de Unión (cable de señales)	HMWPE	10	NEGRO	S	15
R1004	Alimentación a la Unidad de Monitoreo (*)	PVC	3x12 Ø1" (OUTER)	COBERTURA NEGRA	S (REQUIERE CONDUIT)	15
R_PW	Alimentación al Rectificador (*)	Ver Detalle 2	3x10 Ø15mm (OUTER)	COBERTURA NEGRA	S	--
NG-RE1001	Cable del Electrodo de Referencia Ag/AgCl	RHW	14	AZUL (Ag/AgCl)	SI	55
NG1001	Cable de Medición de Potencial de Tubería NG	HMWPE	10	NEGRO	SI	55
NG1002	Cable Negativo de Tubería NG	HMWPE	2	NEGRO	SI	55
NGB1002	Cable Negativo de Ramal	HMWPE	10	NEGRO	SI	55
GND	Cable desnudo de Cobre (para puesta a tierra)	-	2	-	SI	20

Tabla 7.15 Cables

Tabla 7.16 Datos De Arranque

A. DATOS DE LA UNIDAD						
		LUGAR				
		CALLAO				
REFRIGERACION	CAPACIDAD A.C.		CAPACIDAD A.C.		SHUNT	AUTOMATICO
	V (V)	I (A)	V (V)	I (A)	(A/mV)	
OIL__ AIR_X__	**207**	**3.3**	**50**	**10**	**_15 / _15**	**Y___ N_X**
B. PERFIL DE OPERACION						
A.C			D.C			
V (V)	I (A)		V (V)	I (A)		
207	**3.3**		**19.4**	**1.4**		
PIPE POTENTIAL 1 (__20"_)			TAPS			
ON (mV)	OFF (mV)		G/F			
1600			**G_B_; F_2__**			
RESISTENCIA DE SUELO	RESISTENCIA DE ANODOS		DATOS DE SALIDA			

(Ohm)	(Ohm)	V OUT	POT	
8.8	**13.86**	**14.1**	**1.6**	

7.3.6.INSTALACION DE UNIDADES DE MONITOREO EN ESTACIONES CITY GATE, TERMINAL STATION Y CAMARAS DE VÁLVULAS #4 Y #7

Las Unidades de monitoreo fueron instaladas según los planos de las figura 7.24, teniendo en cuenta la cantidad de materiales a utilizar.

El montaje de estas unidades se realizó paralelamente al montaje del rectificador, asu vez, se hizo el tendido de los cables de conexión entre

a. Cama anódica - Recitificador

b. Rectificador – Caja de unión (junction Box)

c. Caja de unión (junction Box) – Unidad de Monitoreo.

d. Fuente de alimentación – Rectificador.

Los cables de señales provenientes de la unidad SCADA en el city Gate de Lurin como el RTU en Terminal Station Ventanilla, fueron instaladas posteriormente por personal de la empresa concesionaria.

La instalación de las unidades de monitoreo en las Cámaras de Válvula #4 y #7 fueron instaladas cambiando la ingeniería de diseño de instalación. Originalmente deberían ser instaladas a un poste de acero, tal igual como la instalación del rectificador. Sin embargo se optó por instalarlo, adosado a la pared de la cámara de bloqueo, fabricándole una estructura de concreto armado. En estos sitios de monitoreo, también se instaló una celda de referencia de Ag/AgCl con los mismos detalles de instalación que en las estaciones, pero en este caso solo se hizo una soldadura exotérmica sobre la superficie de la tubería para tomarlo como punto de monitoreo.

Tabla 7.17 Componentes Principales de la Unidad de Monitoreo Remoto

ITEM	NOMBRE	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Rectificador	1	50V / 10A, Chasis 304SS - 1/16" Nema 3R
2	Unidad de Monitoreo	1	50V / 10A, Chasis 304SS - 1/16" Nema 3R 0,40(L) x 0,21(A) x 0.60(h)
3	Caja de Unión	1	50V / 10A, Chasis 304SS - 1/16" Nema 3R, 0,4(L) x 0,21(A) x 0,60(h)
4	Soporte	2	Tubo Gálvanizado Ø4" Sch40 2m
5	Conduit para cables de entrada/salida	8	Conduit Ø1 1/2" L1=0,4m r=0,3m L2=0,3m
6	Conduit Flexible y terminales	7	Ø1 1/2" , 1m (L)
7	Conduit Caja de Unión	1	Conduit Ø3" 0,4(L1), r=0,3 L2=0,6
8	Conduit Flexible y terminales	1	Ø3" , 1m (L)
9	Perno, tuerca y arandela	4	Galvanizado Ø3/8" x 6"

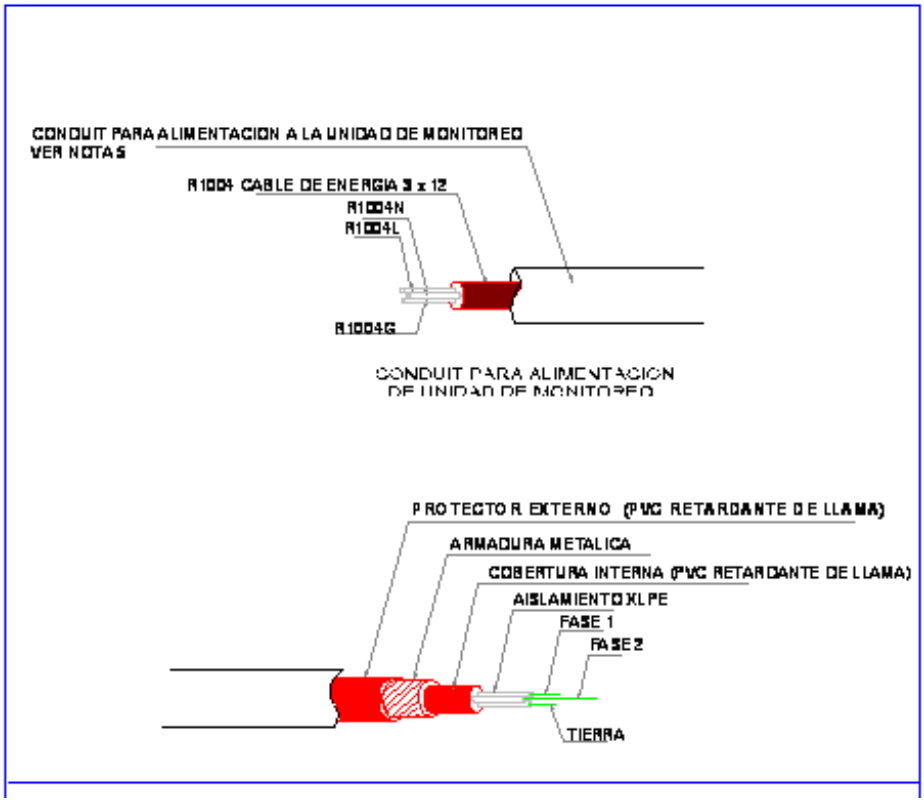


Figura 7.23 Alimentación AC para el Rectificador

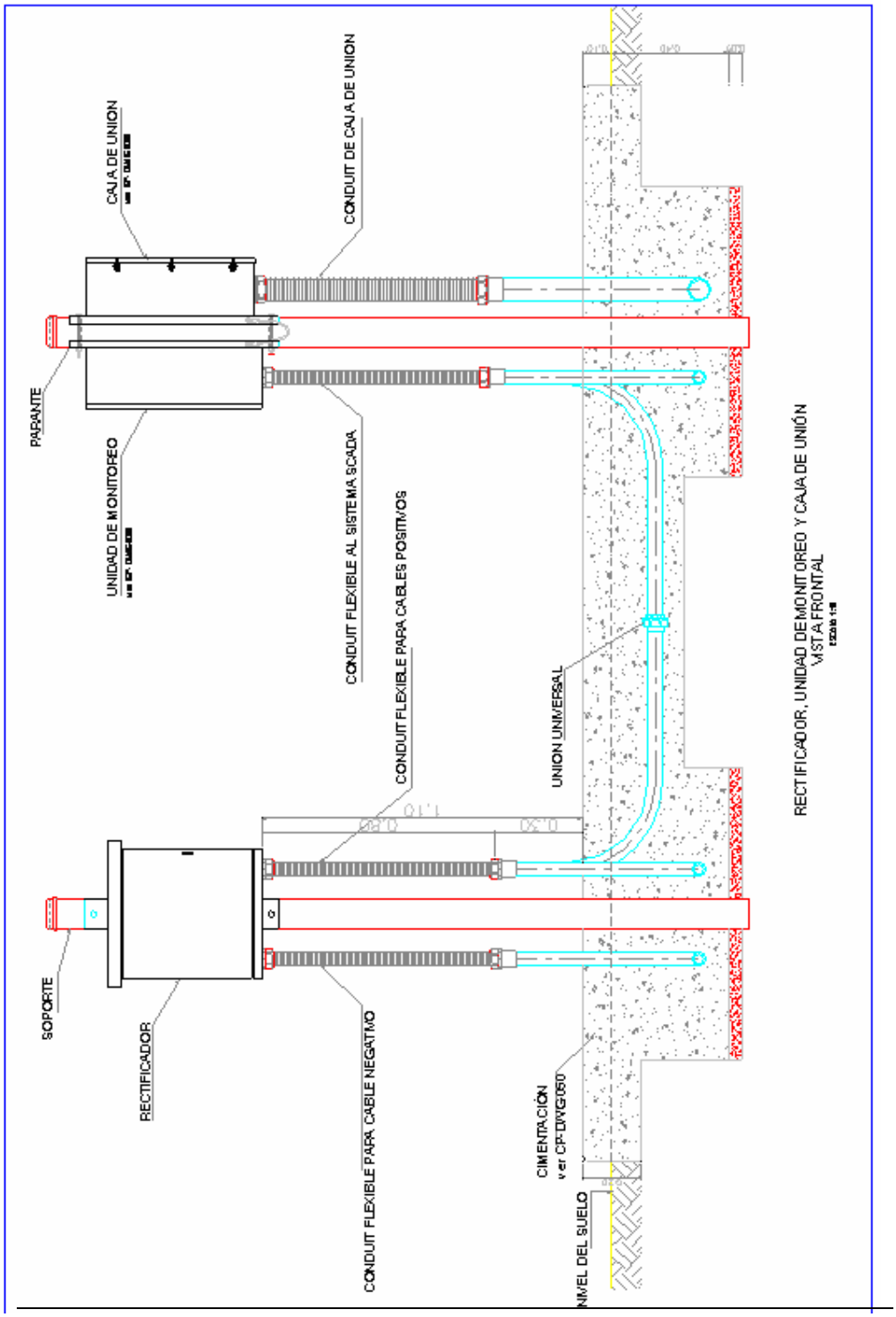


Figura 7.24 Rectificador Unidad de Monitoreo Y caja de Union Vista frontal

8. CAPITULO VIII MATERIALES UTILIZADOS EN LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA

8.1. SOLDADURA EXOTERMICA

8.1.1.ALCANCE

Unir Cables de diversos o similares tamaños y tipos, para conexiones de puesta a tierra. Soldar cables sobre la superficie de la tubería.

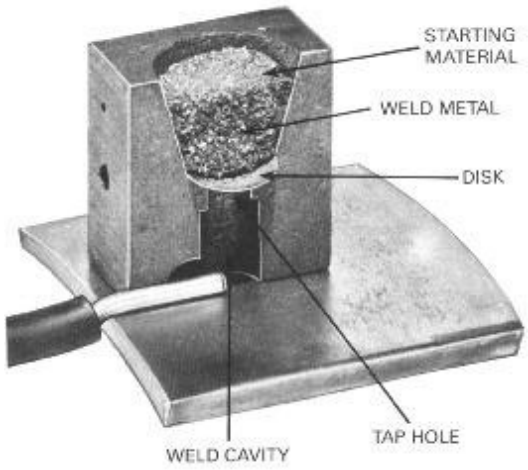


Figura 8.1. Configuración para instalación de Soldadura

8.1.2.EQUIPAMIENTO.

- Moldes
- Escobilla Metálica.
- Cuchillo
- Pistola de Ignición (Optional)
- Caja de herramientas

8.1.3.MATERIALES

- Lija
- Soldadura metálica (15 g)
- Disco Metálico
- Fósforos
- Handy Cap, Si la reparación del revestimiento de la tubería y el aislamiento del cables son necesarios.

8.1.3.1. Royston Handy Cap

El ROYSTON HANDY CAP™ es un montaje prefabricado diseñado para la protección mecánica de soldaduras cupro-alumino térmicas a las tuberías o a los tanques. Cuando es presionado a mano en la sección ubicada sobre la soldadura del cable, forma un sello eléctrico grueso, altamente resistente de aislamiento eléctrico, entre el extremo del cable y los alrededores de la tubería o del tanque

8.1.3.1.1. Uso

ROYSTON HANDY CAP TM Puede ser utilizada en todas las áreas de soldaduras de cable del ánodo al ducto de prueba. Es especialmente útil para las soladuras en tuberías revestidas donde solamente una parte pequeña del revestimiento se ha removido para permitir la instalación de las conexiones que van puestas a tierra. Es ideal para el uso en situaciones limitadas del acceso, porque puede ser manipulado fácilmente.

Construcción	Molde de tapa de plastico llenado con un compuesto resistente a la corrosión en una base gruesa de cinta elatosmerica	
Dimensiones	Tamaño:	4" x 4"
	Hoja Plastica:	2 /34" x 4" (Acerrado)
	Espesor de Hoja:	10 mils
	Domo Plastico:	1 4/8" dia, 0.8" Alto
	Espesor de Cinta:	125 mils
Peso	2.1 +/- 0.2 onzas	
Temperatura de Aplicación	-20 a +120 °F	
Temperatura de Servicio	-40 a + 185 °F	
Shelf life	Al menos un año	

8.1.3.2. Splice kit

8.1.3.2.1. Uso

- Unir Cables del mismo tamaño y del tipo.
- Unir Cables de diversos tamaños y tipo.
- Empalmar dos cables de tamaño y de tipo iguales.
- Empalmar dos cables de diversos tamaño y tipo.

Este proceso es especialmente diseñado para unir los cables de los ánodos de corriente impresa principal N° AWG 2 HMWPE del cable positivo del rectificador.

8.1.3.2.2. Hoja tecnica del Scotch 90 B1 Splice Kit. Pagina 1 of 2

90-B1 Power Cable Tap Splice Kit

Instructions

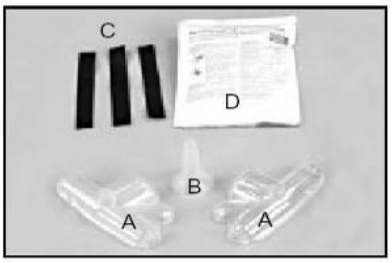
1.0 Applications:

Designed for use in weather-exposed or direct-burial locations. For making tap or branch splices on unshielded, synthetic insulated cables rated up to a maximum of 1000 volts. These kits will accommodate the following connectors and conductor sizes:

Kit No.	Cable O.D.	Conductor Size	Sheath Opening
90-B1	Feeder Cable 1/2" to 13/16"	Split Bolt 1/0 AWG (max.)	3" maximum
90-B1	Branch Cable 3/8" (max.)	Crimped 2/0 AWG (max.)	3" maximum

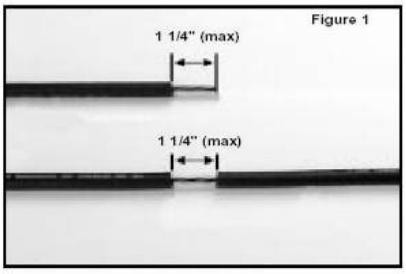
2.0 Kit Contents:

Mold Body .....A
Pouring Spout .....B
Scotch™ 23 Electrical Tape C
3M™ Scotchcast™ No. 4 Resin.....D



3.0 Prepare Cable:

3.1 Thoroughly scrape all wax and dirt 3" back from each cable end. Prepare cable ends exactly as shown in Figure 1.



4.0 Make Connection

4.1 Make connection according to instructions for connector being used. The mold will accept:
a) Crimped type connectors up to 2/0 AWG b) Split bolt connectors up to 1/0 AWG

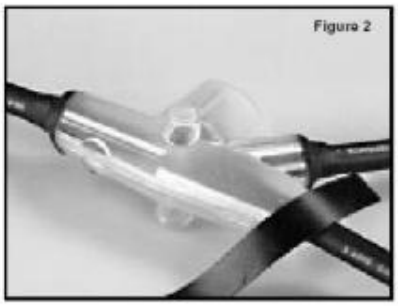
4.2 **For Multi-Conductor cables**, stagger individual connections and insulate with Scotch 23 Electrical Tape. Sheath opening should not exceed 3". Use Scotchlok™ or indent type connectors.

Scotch 90 B1 Splice Kit. Page 2 of 2

5.0 Install Mold Body

5.1 Trim mold ends with knife to fit cable slightly loose. Hold mold halves in place, centered over splice (bend branch cable to accommodate centering of mold). Snap mold halves together firmly. Check to see that both seams are carefully snapped together. Tape ends of mold body around cable to seal. Use supplied Scotch™ 23 Electrical Tape (see Figure 2).

IMPORTANT: Stretch tape to 3/4 original width.


Figure 2

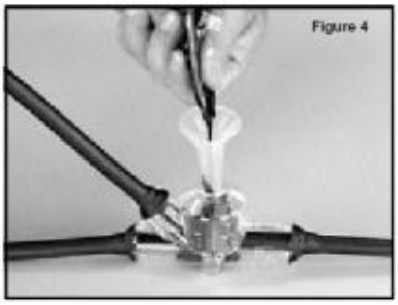
5.2 Put pouring spout in hole.

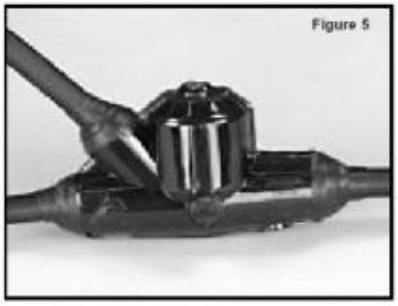
Note: The preferred pouring position is as indicated in Figure 3. This kit can, however be poured from either side if necessary. Cut thin membrane from port at top of desired pouring position. Insert pouring spout and plug remaining hole with small plastic plug provided in kit.


Figure 3

6.0 Pour Splice

6.1 Position splice level. Mix resin thoroughly per instructions on resin package. Pour resin until mold and spout are completely filled (see Figure 4). Refill spout after air escapes. When resin has solidified and cooled, splice may be put into service. Clip off spout, if desired (see Figure 5).


Figure 4


Figure 5

8.1.4.EQUIPO

- Voltimetro Digital (D.V.M.)
- Amperímetro de tenaza

8.1.5.MATERIALES

- Splice kit
- Destornillador
- Caja de Herramientas
- Lijas

8.2. SISTEMA DE PROTECCION CÁTODICA CON ÁNODO DE MAGNESIO PRE – EMPACADO

8.2.1.Ánodo de Magnesio pre empacado

Elemento fundamental en la protección catódica por ánodos galvanicos, ya que estos son los que drenan el potencial catódico.

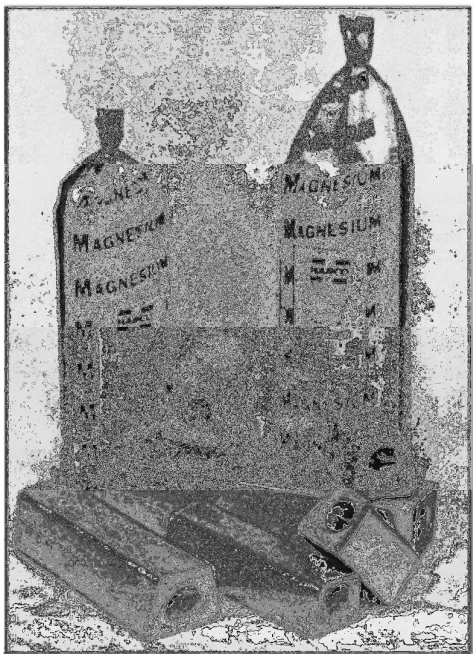


Figura 8.3 Anodos de Magnesio Pre empacados

8.2.2.Especificaciones:

- Material: Magnesio.
- Tipo: 4 lbs.
- Peso con Relleno: 20 Kg.
- Peso Relleno: 18 Kg.
- Material Relleno: Backfill de Bentonita, Yeso y Sulfato de Sodio.
- Dimensiones: 0.15 x 0.50 m.
- Cable: 40 m. cable HMWPE o similar.

8.2.3.Equipo

- Voltimetro Digital (D.V.M.)
- Amperímetro de tenaza

8.2.4.Materiales

- Splice kit
- Destornillador

- Caja de Herramientas
- Lijas

8.3. SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA

8.3.1.Rectificadores De Protección Catódica



Figura 8.4 Vista del Recitificador de Protección Catódica

8.3.1.1. Características principales.

AC POWER	:	220 Volts, 1 fase.
VOLTAJE DE SALIDA	:	50 Volts.
AMPERAJE DE SALIDAD	:	10 Amps.
MEDIDORES	:	Voltímetro y Amperímetro digitales.
PROTECCION SOBRE VOLTAJE	:	Lighting Arresters para fuentes AC y DC.
SEMICONDUCTORES	:	1600 Volts picos sobre voltaje RMS, 75 Amps.
FUSIBLES	:	Semiconductores fusibles en AC y DC.
PUENTE DE RECTIFICADOR	:	Silicon Diodes.
TERMINAL NEGATIVO	:	1 para cable HMWPE No 2.
TERMINAL POSITIVO	:	1 para cable HMWPE No 2.
CAJA	:	Nema 3R, 3 puertas removibles para manteimiento post instalación.
MATERIAL DE CAJA	:	Acero Inoxidable 304
CHOKE(ESTRANGULACIÓN)	:	Un choke (estrangulación) de diseño será proveído para obtener baja señal de onda D.C.
CONEXIÓN AC	:	220 VAC Puesta a tierra.
AC AUXILIAR	:	Dentro del rectificador una fuente auxiliar 220 V AC.
SHUNT	:	0.1 ohm, 100 mV / 1 Amp, Capacidad 10 A.

MANUAL DE LA OPERACIÓN : Inglés y español Cantidad: 2 por cada uno.

Cantidad : 2 unidades.

8.3.1.2. Estandards Aplicables

- NEMA Publicacion No. MR 20-1958, reafirmado por NEMA 1971-Semiconductor Rectifiers, Cathodic Protection Units.
- NEMA Standard Publication No. 250-1979, incluye Rev. No. 1 – Dicembre 1980, Enclosures for Electrical Equipment (1000 Volts maximum)
- 2852-E-SP-0001, Cathodic Protection System, Item 6.1.1.

8.3.1.3. General

La entrada de AC de los rectificadores debe ser 220 VAC - monofásico - a 60 ciclos.

8.3.1.4. Recinto

El caso del rectificador será NEMA 3R, totalmente a prueba de agua para el uso al aire libre.

Todas las soldaduras de fabricación serán limpias y lisas. El casco entero será construido en acero.

El gabinete debe ser equipado de un canal conveniente para el montaje en poste.

Las pantallas en las aberturas de la ventilación en la tapa y el fondo serán provistas. La puerta delantera será abisagrada en un lado y tendrá un dispositivo de fijación positiva capaz de tomar una cerradura con una caña de 3/8" diámetro. Además de la puerta delantera, el panel lateral izquierdo y derecho del casco será abisagrado y fácilmente desprendible.

Una perforación para acomodar un cable a tierra #2 será proporcionado en el exterior del gabinete.

8.3.1.5. Transformador

El transformador será diseñado específicamente para uso como rectificador de protección catódica, teniendo bobinas de cobre separadas primarias y secundarias. El tamaño del alambre en ambas bobinas debe ser basado en un mínimo de 1.000 milipulgadas circulares por amperio. El material usado en el corazón de los transformadores estará de tal calidad que las pérdidas no exceden 0.62 vatios por libra.

El transformador será sumergido en el barniz del transformador clase F hasta que todos los taps, materiales de aislamiento, envolturas externas de la bobina y las bobinas se hayan saturado totalmente.

El transformador entonces será cocido al horno hasta que esté totalmente seco.

El secundario tendrá un suficiente número de taps gruesos y finos para proporcionar un paso mínimo del igual a 20 ajustes. Estos taps serán colocados en el exterior para hacer un arreglo y ajustar la salida del rectificador (VER ANEXO).

8.3.1.6. Elementos del Rectificador

El rectificador de debe consistir de diodos de alto silicio, rangos de corriente para la operación continua estará para 50°C. ambiente y el grado de PRV de los diodos será por lo menos 1600

PIV. Los diodos serán protegidos contra altos voltajes con los supresores de corriente de selenio.

8.3.1.7. Dispositivos Protectores

La unidad entera debe ser protegida contra sobrecarga y cortocircuito con un interruptor completamente magnético del grado apropiado situado en el tablero de instrumentos del rectificador y conectado en la fuente y el transformador de AC primarios.

Los interruptores deben tener dos polos para las unidades monofásicas, los fusibles serán insertados en una polo de la unidad AC monofásico.

Todos los fusibles son mayores de 35 amperios.

8.3.1.8. Medidores DC.

Un voltímetro digital D.C. y un amperímetro digital D.C. serán proporcionados. Cada uno tendrá una exactitud de 0.1% a escala completa.

El amperímetro será conectado con un shunt externo y una exactitud externas de por lo menos el 1%. EL shunt será plano y marcado mostrando el grado de amperaje y la caida de voltaje. Este shunt debe ser montado en el panel delantero del rectificador de fácil acceso para los chequeos de la exactitud de los medidores.

8.3.1.9. Terminales D.C

Las conexiones para la corriente de salida completa del rectificador serán proporcionadas para los terminales de salida positivos y negativos montados en un panel aislado. Los terminales de salida serán identificados claramente en el panel como “positivo” y “negativa”.

8.3.1.10. Cableado Y Conductores

Todo el cableado dentro del rectificador, excepto los medidores de circuitos, debe tener un indicador alambre de alta temperatura del tipo motor con un mínimo de 105 °C. El tamaño del alambre será basado en no menos que 500 milipulgadas circulares por amperio. Todos los pernos, terminales y conexiones a través del panel serán soldados en la cabeza del perno o hechos por medio de método contra tuerca, para no depender de la fuerza de la compresión del panel y mantener una conexión ajustada. Los pernos estables de los taps y los platinas de salida moviles serán un mínimo de 5/16" diámetro.

8.3.1.11. Datos del Rectificador

Cada rectificador será proporcionado de una placa de identificación grabada en metal con la información siguiente.

a) Nombre del fabricante

b) Voltaje de entrada AC

c) Amperios de entrada AC

d) Frecuencia AC.

e) Fase

f) Voltios de salida D.C.

g) Amperios de salida DC

h) Temperatura ambiente °C.

i) Número de serie.

Además de esto un sobre impermeable, colocado en un sostenedor conveniente en la puerta del rectificador, contendrá un digrama eléctrico completo, el manual del funcionamiento y del mantenimiento en español y una copia de los datos de prueba obtenidos en el bench check final fuera del rectificador.

8.3.1.12. Tablero de instrumentos:

Tablero de material Fenólico mínimo 4 milímetros, no de conductor, resistente a la humedad, diseñado específicamente para uso como tablero de panel.

8.3.2.ÁNODOS

Los ánodos de Titanio tubular utilizan una capa de óxido metálico. Este óxido metálico mezclado es una capa cristalina, eléctrico-conductor que activa el titanio y le permite funcionar como un ánodo. Cuando está aplicada en el titanio, la capa tiene un índice extremadamente bajo de consumo, medido en términos de miligramos por año.



Figura 8.5 Anodos de Titanio MMO

Los ánodos deben conformarse con las características siguientes

Nombre	: Lida un ánodo 1x 60 o equivalente.
Marca de fábrica	: ELTECH Systems Corporation.
Peso	: 1. 6 libras.
Diámetro	: 1 pulgada.
Longitud	: 60 pulgadas.
Densidad	: 940 kg/m3
Longitud de cable	: 6 metros

Tipo del cable : # 8 HMWPE.

Cantidad : 8 por cada uno.

8.3.3.CABLE.

Se describe un cable conductor aislado con polietileno de peso molecular elevado especial, diseñado para el servicio directo de D.C. enterrado en instalaciones de protección catódica.



Figura 8.6 Cable

8.3.3.1. Especificaciones aplicables

En entierros directo, el cable de alimentación D.C. será usado en todos los sistemas de protección catódica como cable principal de distribución positivo y negativo.

- El cable de protección catódica será fabricado con los siguientes estándares:
- El conductor es de cobre trenzado conforme a de ASTM especificación B-8., última edición.
- El aislamiento es de polietileno de alto peso molecular conforme a ASTM D-1248, tipo 1, clase A, categoría 5, grados E4 y E5. Fuerzas tensiles Jl, J3

Referencia : AWG 2, HMWPE y AWG 8, HMWPE o similar.

Las siguientes especificaciones forman una parte de esta especificación para la extensión adjunta:

- American Society for Testing and Materials (ASTM) especificacion B-8, ultima edition, for Concentric-Lay Stranded Copper Conductors, Hard, Medium-Hard or Soft.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) Especificacion D-1248, ultima edición, for Polyethylene Plastic Molding and Extrusion Materials.
- Insulated Cable Engineers Association (ICEA) Pub. No. S-61-402 (NEMA Pub. No. WC-5) for Thermoplastic-Insulated Wire and Cable for the Transmission and Distribution of Electrical Energy.
- Conductor
- Los conductores de cobre deben ser estruidos Clase B, comprimidos, anillados, sin revestimiento, en acuerdo con ASTM Specification B-8, ultima edición.

8.3.3.2. Aislamiento

El conductor será aislado con aislamiento polietileno de alto peso molecular del que se conforma con requisitos físicos y eléctricos de la especificación ASTM D-1248, última edición.

El espesor medio de aislamiento será 0.110 pulgadas para el AWG #8 a AWG #2 y 0.125 pulgadas para el AWG #1 a AWG #4/0. El espesor mínimo en cualquier momento será no menos del 90% del espesor medio especificado. El aislamiento será aplicado firmemente al conductor y será fácilmente pelado.

8.3.3.3. Identificación

El cable aislado será impreso superficialmente con: Tamaño del conductor, fabricante, *HMW/PE*

8.3.3.4. Envío

Las longitudes del envío serán como especifica la orden individual, el empaquetado estará de acuerdo con las prácticas estándares comerciales de embalaje de exportación.

Cantidades : 700 metros de cable AWG 2, HMWPE o similar.

500 metros de cable AWG 8, HMWPE o similar.

8.3.4.ELECTRODOS DE REFERENCIA PARA SUELOS DE ALTO CONTENIDO DE CLORUROS.

El electrodo de referencia será modelo Stelth SRE-008-SUB Plata-cloruro Plata (AG-AgCl) para servicio subterráneo de alto cloruro y concreto o equivalente, con un tiempo mínimo de diseño para 20 años.



Figura 8.7 Electrodo de Referencia de Ag/AgCl

8.3.4.1. Características:

Diámetro	:	1.5 " (3.81cm)
Longitud	:	6 " (15.24cm)largo
Alambre del plomo	:	Alambre de cable azul #14 RHH-RHW.
Longitud de cable	:	50.0 M. (unidos por el fabricante)
Color	:	Azul
Estabilidad	:	+/- 10 milivoltios con 3.0 microamperios de carga.
Rango de temperaturas	:	0 a +65.6 °C (+32 a +150 F)

Nota: Los cloruros en los niveles de solamente 200 partes por millón alteran la química de un electrodo de la referencia Cu-CuSO4 lo suficiente como para causar una interrupción completa, dando por resultado la pérdida de estabilidad y finalmente una parada total.

Cantidad : 4 unidades.

8.3.5.COKE (BACKFILL)

8.3.5.1. Especificaciones:

Densidad a granel : 60 libras. por pie cúbico.

Carbón : mínimo 99%.

Apresto de la partícula : a partir de 0.1 a 2 milímetros.

Datos del envío : Cincuenta (50) libras (22.7 kilogramos) cubiertos, bolsas de polypropylene. La plataforma para el empaquetado de exportación debe estar disponible.

Resistividad : 50 ohmio-centímetros Miller Soil Box.

Cantidad : 8.800 kilogramos.

8.3.6.SPLICE KIT

El Splice kit será equivalente al Scotch cast tm Wye Resin Splicing Kit 90-B1 o equivalente. Grado de voltaje hasta 1000V.

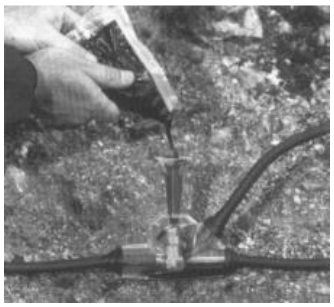


Figura 8.8 Vertido de epóxico en el Sílice Kit

El aislante 90-B1 aísla de la humedad los empalmes de pernos partidos (split bolt) o a presión el cable clasificado tiene una rango de 1000 V. Cada kit contiene cuerpos de encaje a presión, dos embudos, cinta para los extremos del molde del lacre y la resina epóxica aislante eléctrico de Scotchcast 4 en un envase de Unipak para la dirección limpia y fácil. Estos kits pueden ser utilizados para usos sobre terreno o enterrados.

Cantidad : 8 unidades.

8.3.7.JUNCTION BOX (CAJA DE UNION)

8.3.7.1. Características principales.

RECINTO : Una puerta frontal con hoja trasera de montaje.

MATERIAL DE RECINTO : Acero inoxidable 304-1/16” espesor

ENCLOSURE DIMENSIONS : Caja 0.30x0.45x0.20 m (LxHxW). Hoja de Montaje 0.076x0.62g m (LxH).

PANEL : 0.26x0.39x0.004 m (LxHxW).

CONNECTOR : ParaAWG 18-2 cables. 3 unid

RESISTENCIA VARIABLE : 300 W, 0-10 Ohm. 1 und.

DIODO	:	75 A 1200 V.
COPPER BUS	:	0.20x0.03x0.003 m (LxHxW).
TERMINALES	:	25x25x5 mm (LxHxW). 6 und.
Cantidad	:	2 unidades

8.3.7.2. Estándares Aplicables

- NEMA Standard Publication No. 250-1979, including Rev. No. 1 – December 1980, Enclosures for Electrical Equipment (1000 Volts maximum)
- UL 50 y UL 508
- EN 60529

8.3.7.3. Recinto

El recinto de la Junction Box será NEMA 3R, totalmente a prueba de mal tiempo para uso al aire libre. El recinto será construido de no menos que 1/16" el acero inoxidable 304.

Todas las soldaduras de fabricación serán limpias y lisas. El caso entero será construido en 304 SS.

El recinto debe ser equipado de un canal conveniente del montaje al poste. El caso debe exhibir un nivel de la protección IP 65. El frente debe tener un borde hermético.

8.3.7.4. Panel Bar

El material que se utilizará es baquelita, 4 milímetros de espesor. El panel debe ser etiquetado totalmente..

8.3.7.5. Conectores

Los conectadores serán preferiblemente similares a los que esten usados en el rectificador de protección catódica.

8.3.7.6. Resistencia Variable

El reóstato debe permitir incrementos sucesivos de resistencia de 1 ohmio o menos. La capacidad total de energía a ser dirigido es 300 W.

8.3.7.7. Diodo

Los diodos de protección son del tipo directo de alto silicio. El grado de corriente para la operación continua estará para 50 ° C y el grado PRV de los diodos será por lo menos 1200 PIV. Ver CP-DWG-038 para los detalles.

8.3.7.8. Copper Bus

El terminal de cobre debe aceptar hasta 10 A.DC

8.3.7.9. Terminales

Los terminales del tablero deben aceptar los alambres del AWG 22-10 sólidos o trenzados. Los terminales deben ser de forma separada una por las particiones. Los terminales deben ser series Weidmuller SAK o similares.

8.3.8.UNIDADES DE MONITOREO DE PROTECCIÓN CATÓDICA PARA LAS ESTACIONES.

Todas las especificaciones según lo indicado anteriormente.

Cantidad : 2 por cada uno.

8.3.9.UNIDADES DE MONITOREO DE PROTECCIÓN CATÓDICA PARA LAS VÁLVULAS DEL BLOQUEO

Todas las especificaciones según lo indicado anteriormente.

Cantidad : 2 por cada uno.

8.3.10. INTERRUPTORES DE CORRIENTE GPS.

Los interruptores de corriente GPS son contadores de tiempo los cuales son instalados en los rectificadores, establecen adecuadamente la sincronización de las lecturas de los potenciales On/Off.

8.3.10.1. Características principales.

Sincronización	:	Via Global Positioning System GPS.
Precisión de tiempo	:	Tres (3) mili Segundos o menos en buenas condiciones de recepción de GPS..
Frecuencia de actualización	:	1 Hz.
Ciclo de Interrupción	:	Incrementos de 0.1 Sec. De 0.1 S hasta 240 S o más.
Programación	:	Capacidad de Trabajo por horas y Trabajo por dias..
Capacidad de Corriente	:	Permite seleccionar horas y días para interrupción 20 A DC (min) o 10 A AC
Dispositivo de Interrupción	:	Relay de Mercurio en estado sólido.
Temperatura de Operación	:	Desde -10 a 50 ºC.
Suministro de Corriente	:	220 V AC y 12 V DC
Cantidad	:	2 unid.

9. CAPITULO IX MONITOREO Y PUESTA EN MARCHA

9.1. MONITOREO Y PUESTA EN MARCHA PROTECCION CATÓDICA TEMPORAL CON ÁNODOS DE MAGNESIO

Toda la fase de línea de la protección catódica fue dividida en tres tramos, explicados anteriormente:

- Primer tramo desde el Km. 0+000 hasta el Km. 10+000 no se presentaron inconvenientes en la polarización de la tubería después del primer día de instalación.
- Luego de haber instalado los ánodos en el tramo 2 se presentó el inconveniente de que la tubería en ese tramo se encontraba puesta a tierra por razones de seguridad, ya que esta se encontraba en prueba hidráulica. Dicha prueba duraría aproximadamente 1 semana, contando el tiempo de llenado y vaciado de la tubería. Una vez que la prueba culminó y la tubería se encontró sin agua en su interior, se espero 2 días para su nueva polarización, todos los potenciales se estabilizaron debidamente.
- Otro punto para mencionar es que en el tercer tramo desde el Km. 35+380 hasta el 38+400, se demostró que la tubería quedaba catódicamente protegida utilizando el criterio 2 (INSTANT OFF) de acuerdo con NACE RP 0169, obteniéndose potenciales de mas -850 mV CSE.

En suma se concluye que los tramos indicados están debidamente protegidos contra la *corrosión de acuerdo con los criterios de NACE RP0169-99.*

9.1.1.RESULTADO DE MEDICIÓN DE POTENCIALES

ITEM	Kilometro (Km + mmm)	DIAMETRO (Pulgadas)		POTENCIAL ON (m V CSE)		Descripción	DIA
		20	RAMAL	NATURAL	ON		
1	00+000	X	-	-570	-1,463	1 anodo.	02/12/2003
2	02+000	X	-	-1417	-1,417	Monitoreo	02/12/2003
3	05+000	X	-	-650	-1,459	1 anodo.	02/12/2003
4	08+000	X	-	-1485	-1,485	Monitoreo	02/12/2003
5	10+000	X	-	-1475	-1,475	Monitoreo	02/12/2003
6	13+000	X	-	-1080	-1297	1 anodo.	02/12/2003
7	13+500	X	-	-1300	-1300	Monitoreo	02/12/2003
8	15+004	X	-	-480	-1240	2 anodos	02/12/2003
9	18+000	X	-	-1260	-1260	Monitoreo	02/12/2003
10	20+000	X	-	-650	-1330	2 anodos	02/12/2003

11	25+015	X	-	-1280	-1280	Monitoreo	02/12/2003
12	30+000	X	-	-945	-1309	1 anodo.	02/12/2003
13	30+500	X	-	-980	-1225	1 anodo.	02/12/2003
14	33+202	X	-	-1337	-1337	Monitoreo	02/12/2003
15	33+508	X	-	-1190	-1418	1 anodo.	02/12/2003
16	36+550	X	-	-620	-1222	1 anodo.	02/12/2003
17	36+607	X	-	-650	-1227	1 anodo.	02/12/2003
18	38+000	X	-	-1127	-1127	Monitoreo	02/12/2003

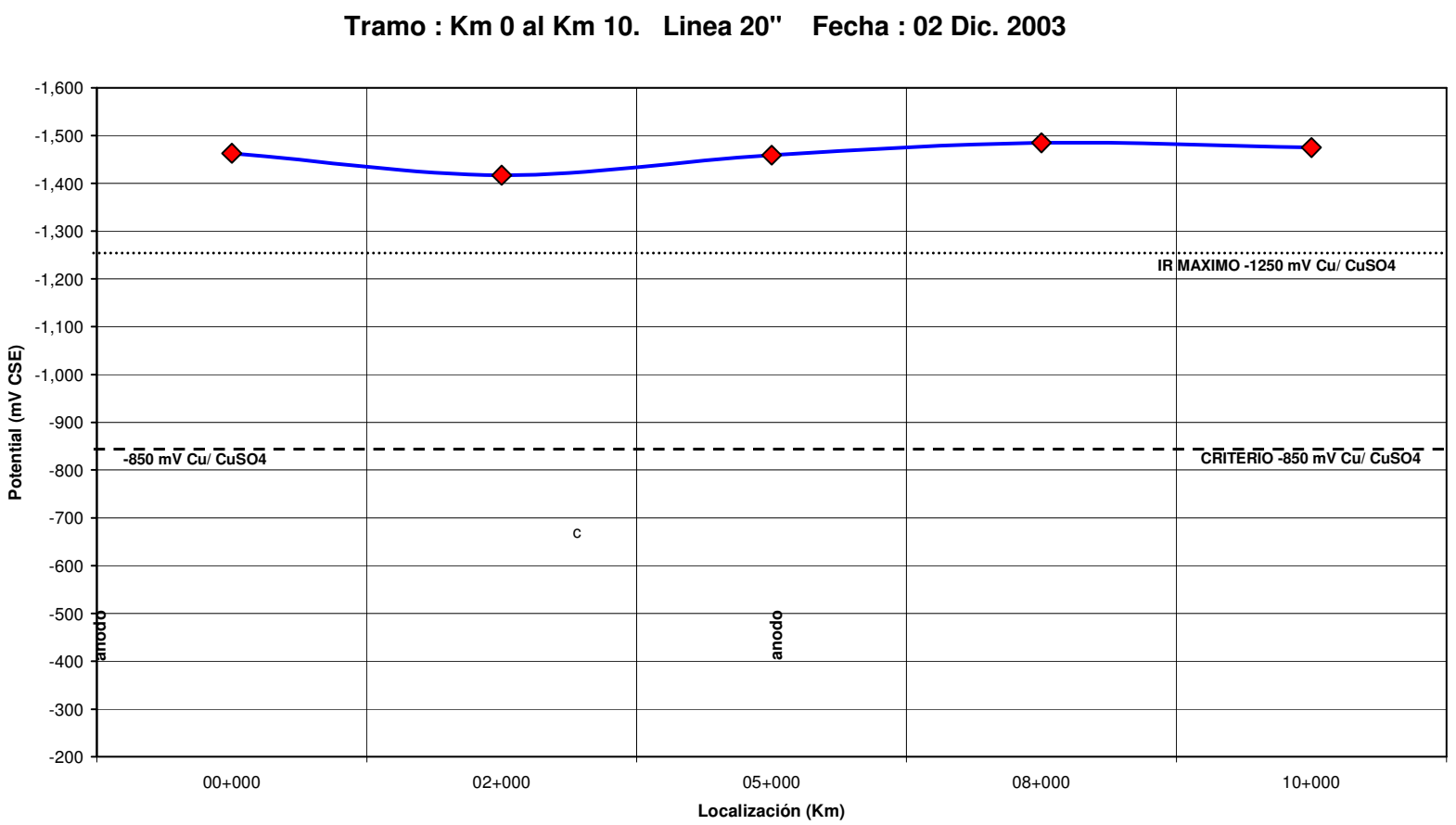
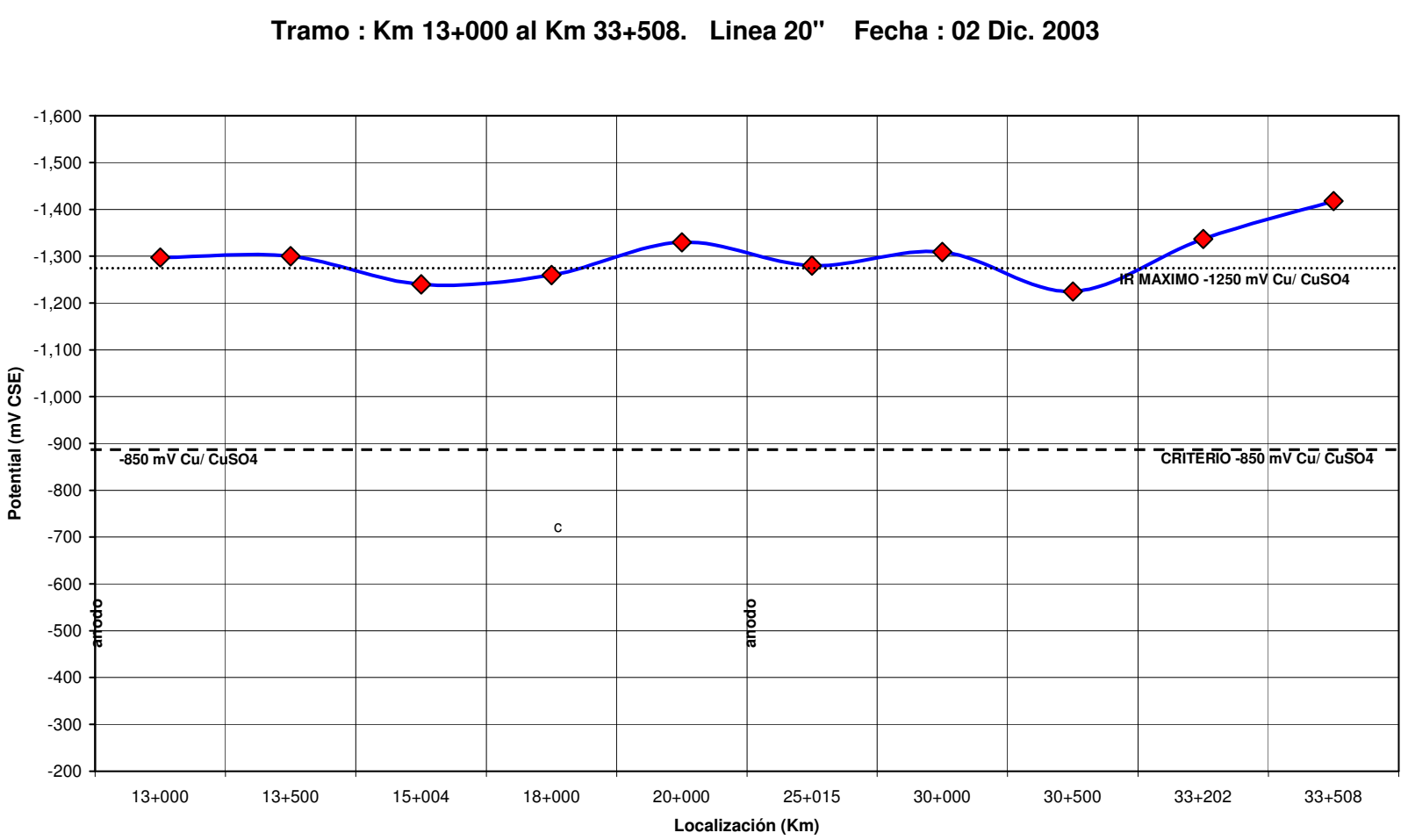


Figura 9.1 Perfiles de Potenciales PK 00+000 al 10+000

9.2 Perfiles de Potenciales PK 13+000 al 33+508



Figura

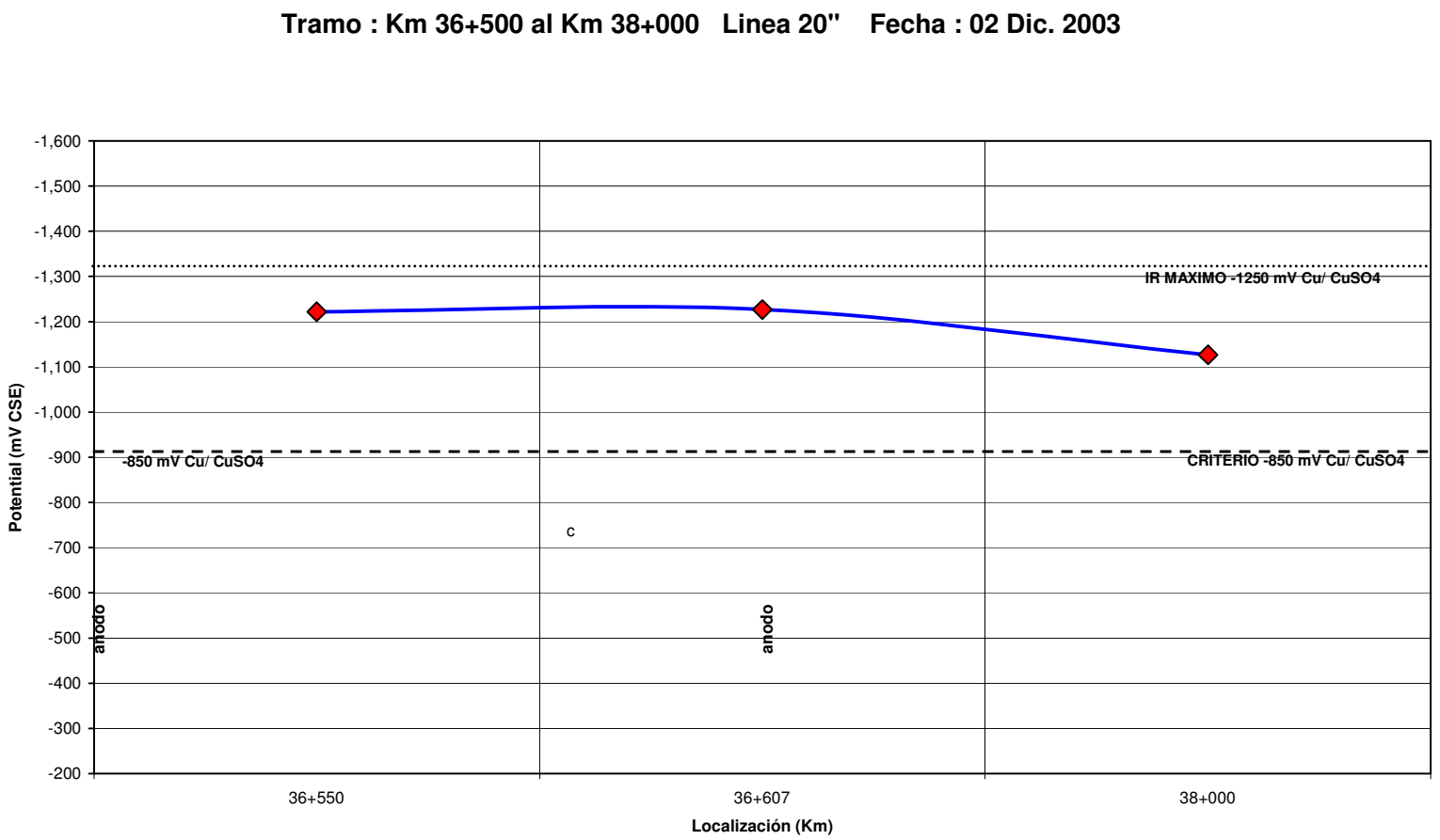


Figura 9.3 Perfil de Potenciales Pk 36+500 al 38+000

9.2. MONITOREO Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE PROTECCION CATÓDICA PERMANENTE POR CORRIENTE IMPRESA

La ducto principal de gas natural de 20" de Lima – Callao y sus ramales conectados a esta tubería están debidamente protegidos contra la corrosión de acuerdo con los criterios de NACE RP0169.

Desde la puesta en marcha de los rectificadores ubicados tanto en City Gate como en Terminal Station, se ah encontrado que existen disturbios eléctricos en dichas zonas, por ello a los inicios de dichas estaciones existen ciertas oscilación de potencial, la cual con el tiempo se espera que se normalice como ya está ocurriendo.

Se realizaron dos (02) puenteos para proteger los ramales existentes; ERP MAQUINARIAS y ERP MARIATEGUI, para los ramales de VINSA, CERAMICA LIMA 2 y CERAMICA LIMA 1 respectivamente. Estos puentes ocasionan una baja de potencial en los sectores de la tubería principal que se encuentra aledaños como se demuestra en las gráficas.

En el Kilometro 39 + 562 (ítem 69 de la tabla 9.1) se obtiene un potencial de – 810 mV CSE, el cual cumple con el criterio 3 (criterio de los 100 mV de Polarización) de la norma NACE RP-01-69 (Rev 1996) Sección 6

Los datos de arranque de los rectificadores han sido indicados en el capitulo anterior.

Tabla 9.1 Resultado de Medición de Potenciales

Dia: 10/09/ 04			Calibración de Electrodo Buena__X_ Mala ____
ITEM	LUGAR (Km)	POTENCIAL (- mV) On	Off	COMENTARIOS
1	0+000	1408	-----	
2	1+004	1380	-----	
3	1+992	1365	-----	
4	2+992	1360	-----	
5	3+994	1349	-----	
6	5+006	1315	-----	
8	5+990	1317	-----	
9	6+978	1260	-----	
10	7+988	1250	-----	
11	8+984	1260	-----	
12	9+982	1230	-----	

14	10+975	1190	-----	
15	11+983	1140	-----	
16	12+980	1113	-----	
17	13+480	1073	-----	
18	14+014	1030	-----	
19	14+517	1040	-----	
20	15+016	1035	-----	
21	15+510	1057	-----	
23	16+010	1105	-----	
24	16+508	1150	-----	
25	17+027	1165	-----	
26	17+520	1140	-----	
27	18+029	1108	-----	
28	18+510	1092	-----	
29	19+017	1086	-----	
30	19+537	1103	-----	
31	20+017	1105	-----	
32	20+501	1125	-----	
33	20+973	1135	-----	
34	21+520	1285	-----	
35	22+036	1183	-----	
36	22+507	1174	-----	
37	23+019	1190	-----	
38	23+519	1176	-----	
39	24+003	1204	-----	
40	24+523	1140	-----	
41	25+035	1109	-----	
42	25+488	1030	-----	

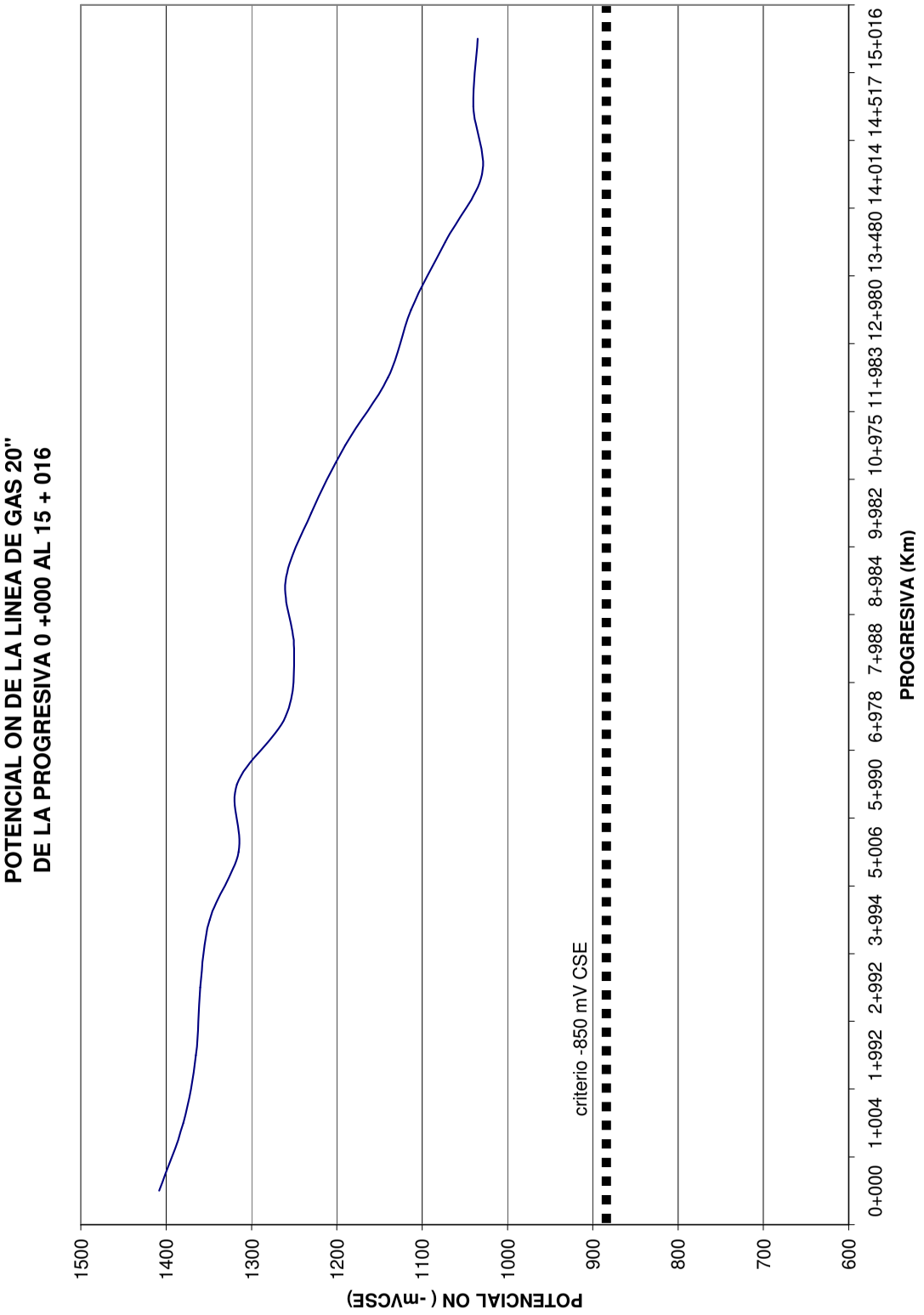
43	26+019	1078	-----	
44	26+532	1007	-----	
45	27+052	1079	-----	
46	27+574	1032	-----	
47	28+125	1066	-----	
48	28+530	1057	-----	
49	29+050	1104	-----	
50	30+050	1133	-----	
51	30+534	1088	-----	
52	31+030	1140	-----	
53	31+536	1094	-----	
54	32+021	1147	-----	
55	32+514	1137	-----	
56	33+017	1165	-----	
57	33+523	1223	-----	
58	34+052	1130	-----	
59	34+553	1085	-----	
60	35+269	1100	-----	
61	35+555	990	-----	
62	36+053	990	-----	
63	36+513	1033	-----	
64	37+054	910	-----	
65	37+554	940	-----	
66	38+050	945	-----	
67	38+554	940	-----	
68	39+051	925	-----	
69	39+562	810	-----	Cumple con el criterio 3 de NACE RP0169-99
70	40+064	870	-----	

71	40+564	914	-----	
72	41+065	890	-----	
73	41+563	910	-----	
74	42+063	915	-----	
75	42+567	930	-----	
76	43+068	950	-----	
77	43+515	1020	-----	
78	44+066	908	-----	
79	44+559	875	-----	
80	45+564	970	-----	
81	46+000	1014	-----	
82	46+564	1033	-----	
83	47+069	1040	-----	
84	47+577	1050	-----	
85	48+076	1094	-----	
86	48+571	1095	-----	
87	49+062	1080	-----	
88	49+571	1105	-----	
89	50+073	1031	-----	
90	50+500	1096	-----	
91	51+062	1138	-----	
92	51+569	1143	-----	
93	52+083	1172	-----	
94	52+560	1170	-----	
95	53+058	1191	-----	
96	53+557	1260	-----	
97	54+080	1262	-----	
98	54+557	1293	-----	

99	55+058	1263	-----	
100	55+512	1287	-----	
101	56+090	1260	-----	
102	56+520	1310	-----	
103	57+011	1310	-----	
104	58+027	1342	-----	
105	58+542	1351	-----	
106	59+016	1332	-----	
107	59+512	1320	-----	
108	60+025	1321	-----	
109	60+504	1330	-----	
110	61+000	1475	-----	
Ramal Celima1				
1	0+000	1040		ERP MARIATEGUI
2	0+444	1117		
2	0+941	1078		
3	1+367	1125		
4	1+880	1040		
5	2+364	960		
6	2+859	1114		
7	3+366	970		
Ramal Etevensa				
1	0+311	1393		
2	0+811	1370		
3	1+310	1195		
4	1+806	920		
5	2+307	900		
6	2+811	1025		

7	3+308	1155		
8	3+808	1150		
9	4+321	1150		
10	4+806	1490		
11	5+305	1100		
12	5+806	1140		
13	6+303	1050		
14	6+800	1100		
Ramal Celima 2				
1	0+000	762		ERP MAQUINARIAS
2	0+535	926		
3	1+035	882		
4	1+532	927		
5	1+999	907		
6	2+498	919		
7	3+001	917		
8	3+505	881		
9	3+964	910		
10	4+454	913		
11	4+955	860		
12	5+458	850		
13	5+927	914		
Ramal VINSA				
	0+000	762		ERP MAQUINARIAS
	1+488	928		
	1+531	901		
	2+036	891		
	2+529	746		

	3+028	863		
	3+532	868		
	4+075	841		



F

igura 9.4 Perfiles de Potenciales PK 00+000 al 15+016

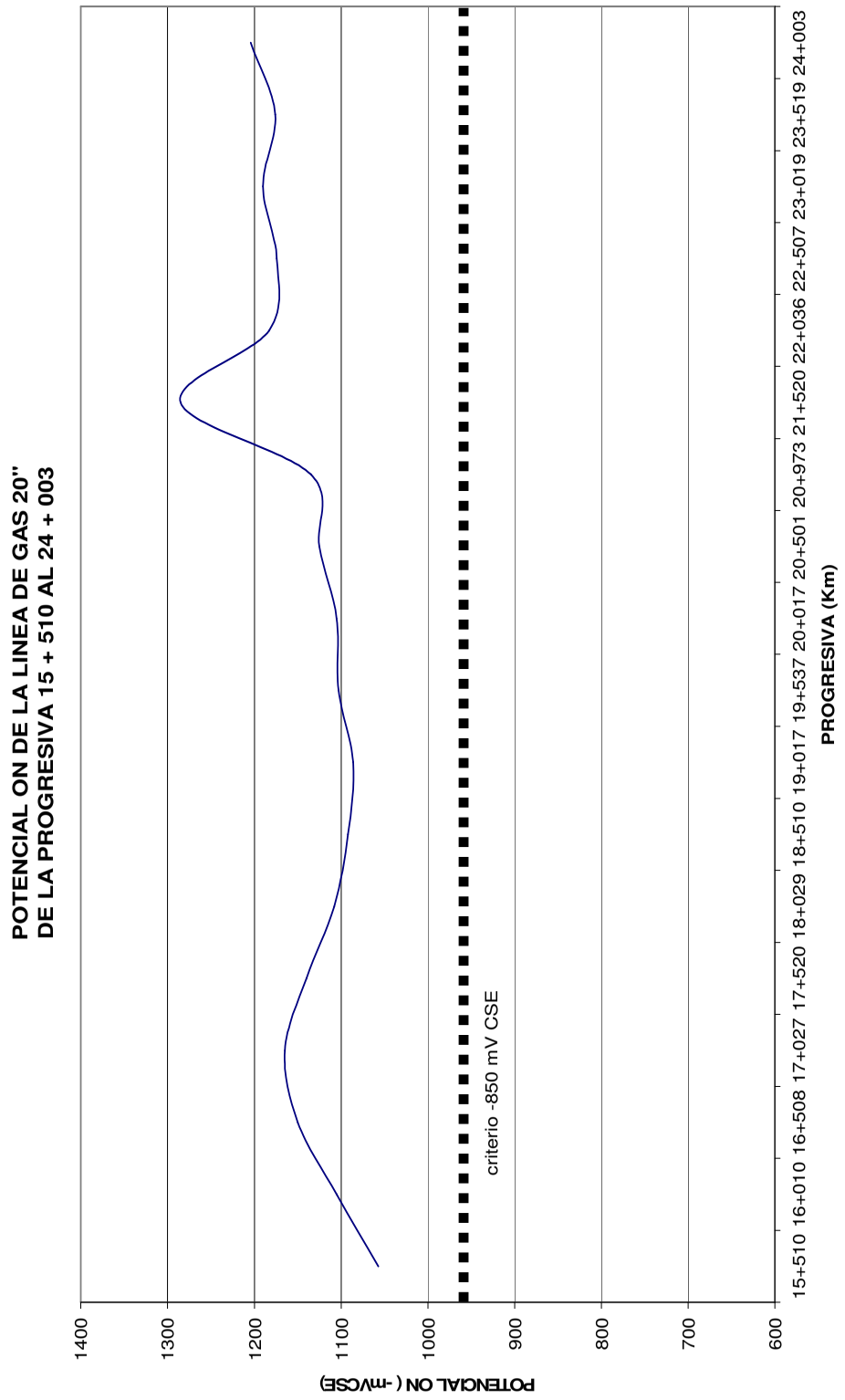


Figura 9.5 Perfiles de Potenciales PK 15+510 al 24+003

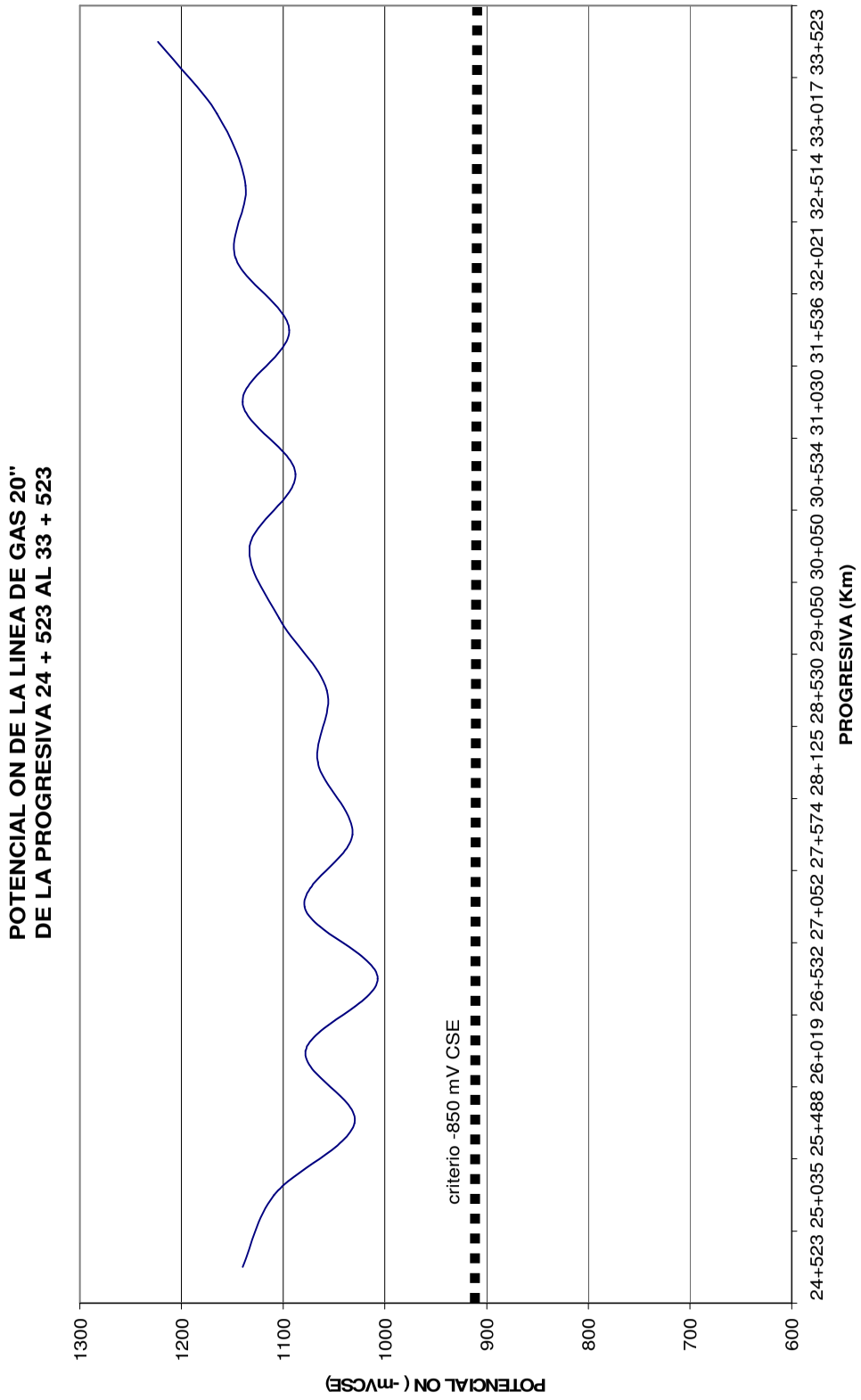


Figura 9.6 Perfiles de Potenciales PK 24+523 al 33+523

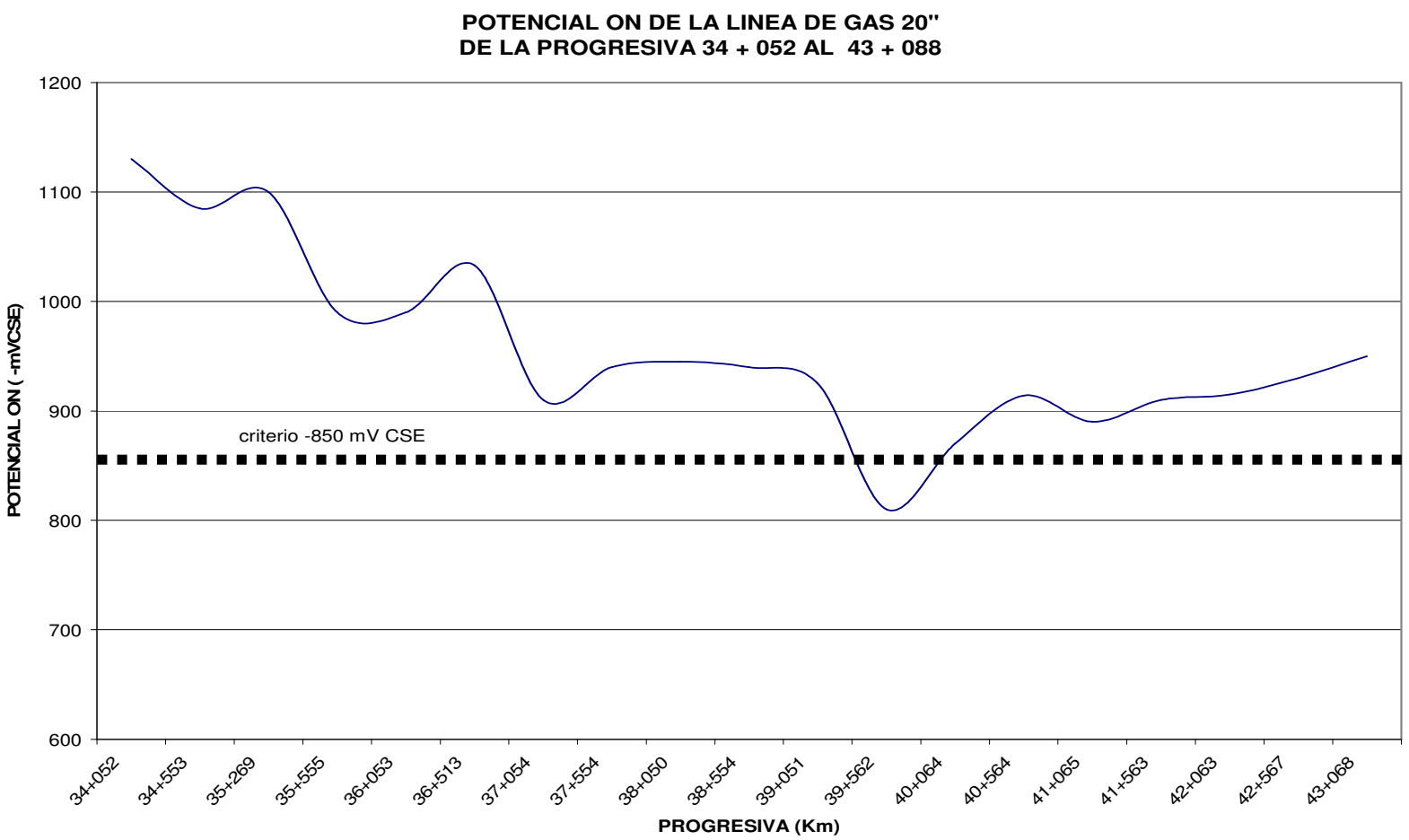

POTENCIAL ON DE LA LINEA DE GAS 20"
DE LA PROGRESIVA 34 + 052 AL 43 + 088
POTENCIAL ON (-mVCSE)
1200
1100
1000
900
800
700
600
criterio -850 mV CSE
34+052
34+553
35+269
35+555
36+053
36+513
37+054
37+554
38+050
38+554
39+051
39+562
40+064
40+564
41+065
41+563
42+063
42+567
43+068
PROGRESIVA (Km)

Figura 9.7 Perfiles de Potenciales PK 34+052 al 43+088

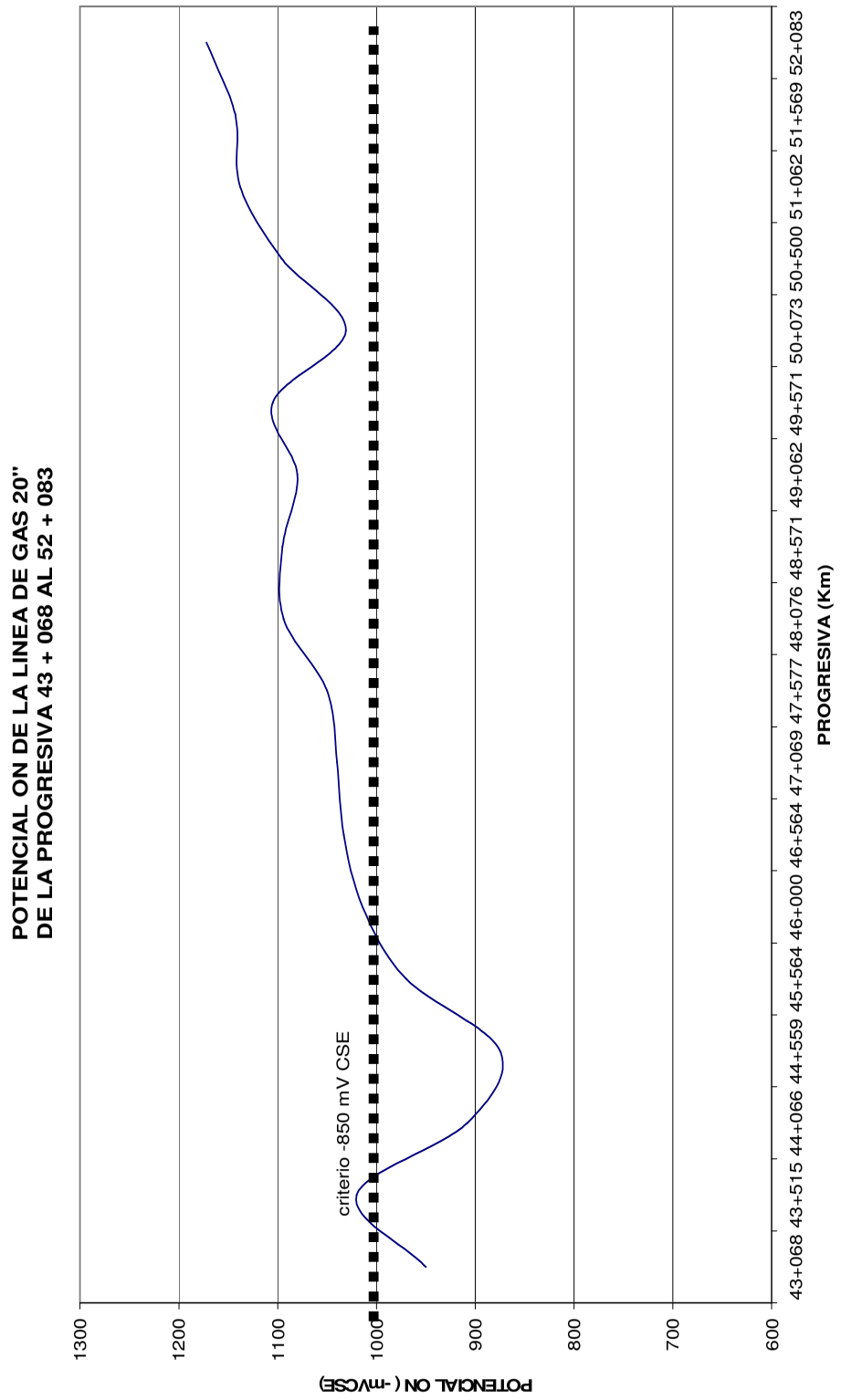


Figura 9.8 Perfiles de Potenciales PK 43+088 al 52+083

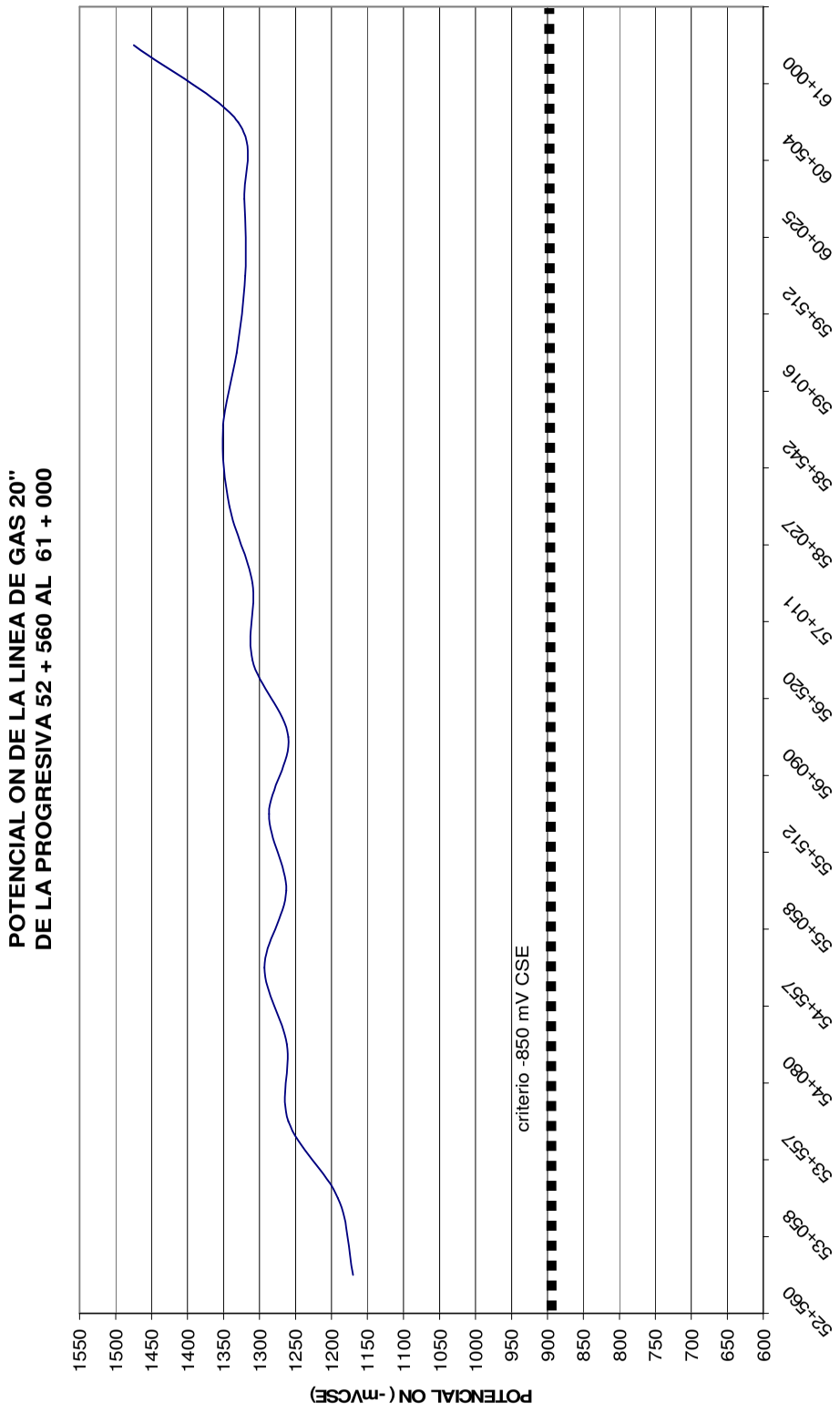


Figura 9.9 Perfiles de Potenciales PK 52+560 al 61+000

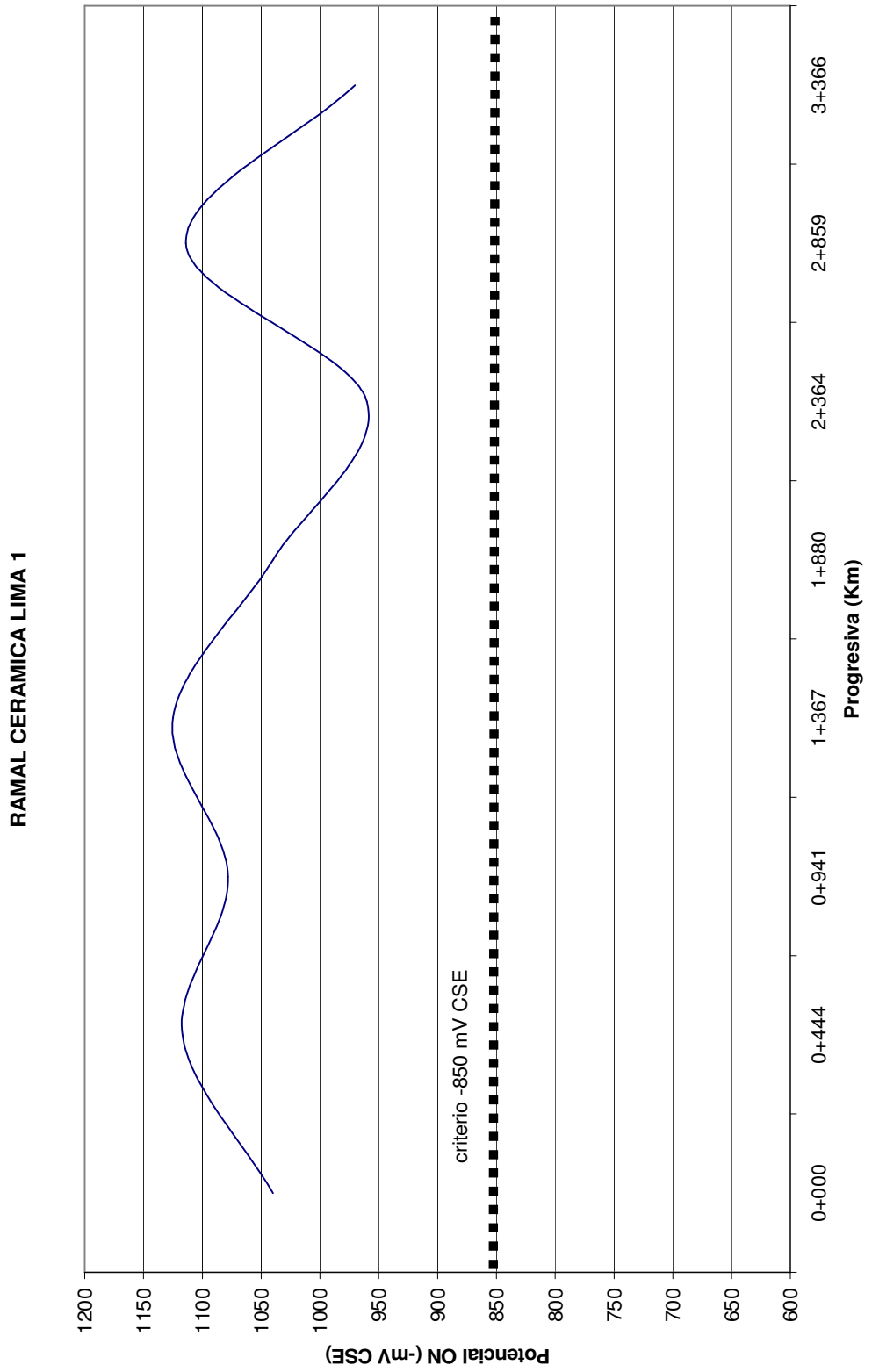


Figura 9.10 Perfiles de Potenciales Ramal CERAMICA LIMA 1 PK 0+000 al 3+366

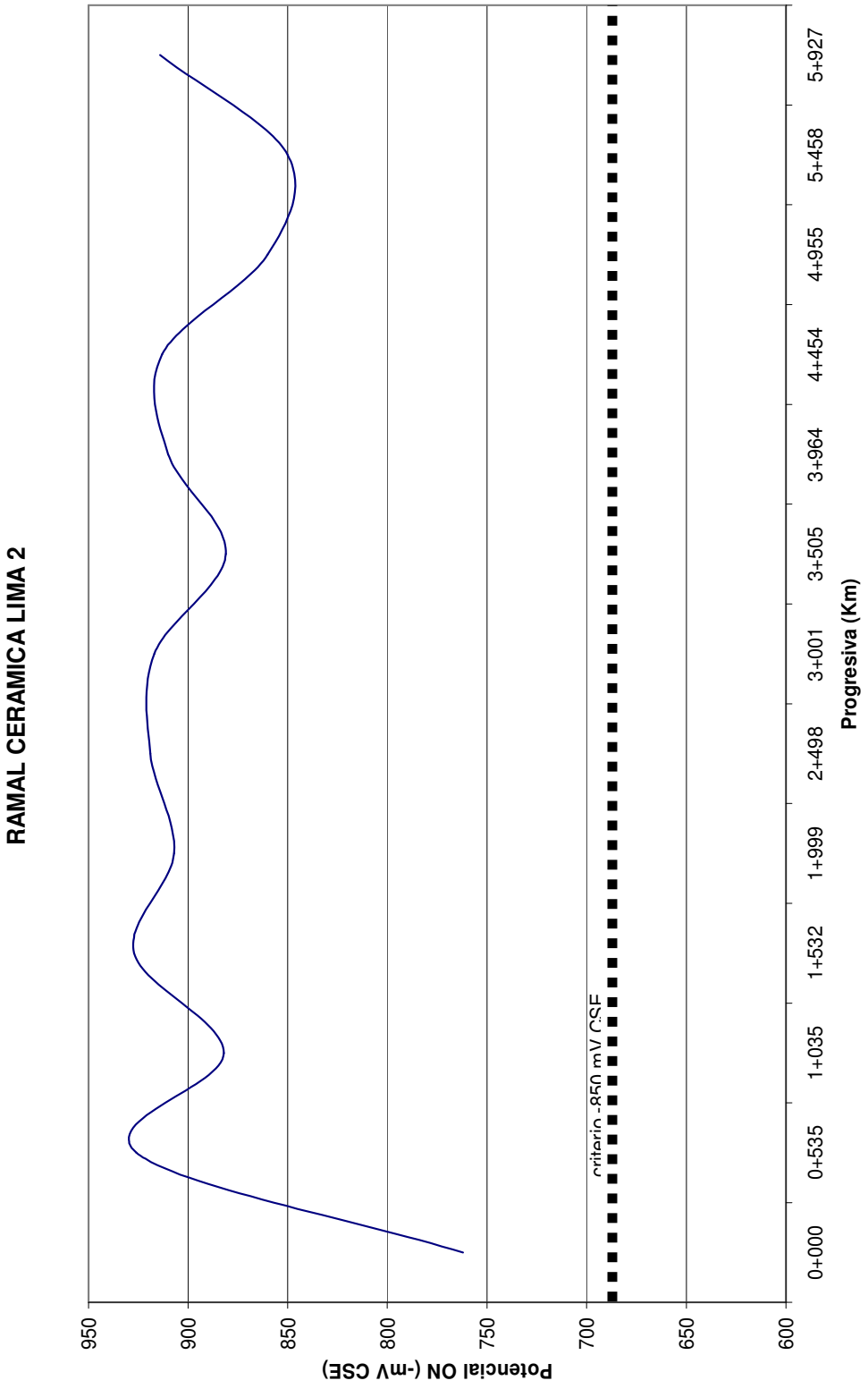


Figura 9.11 Perfiles de Potenciales Ramal CERAMICA LIMA 2 PK 0+000 al 05+927

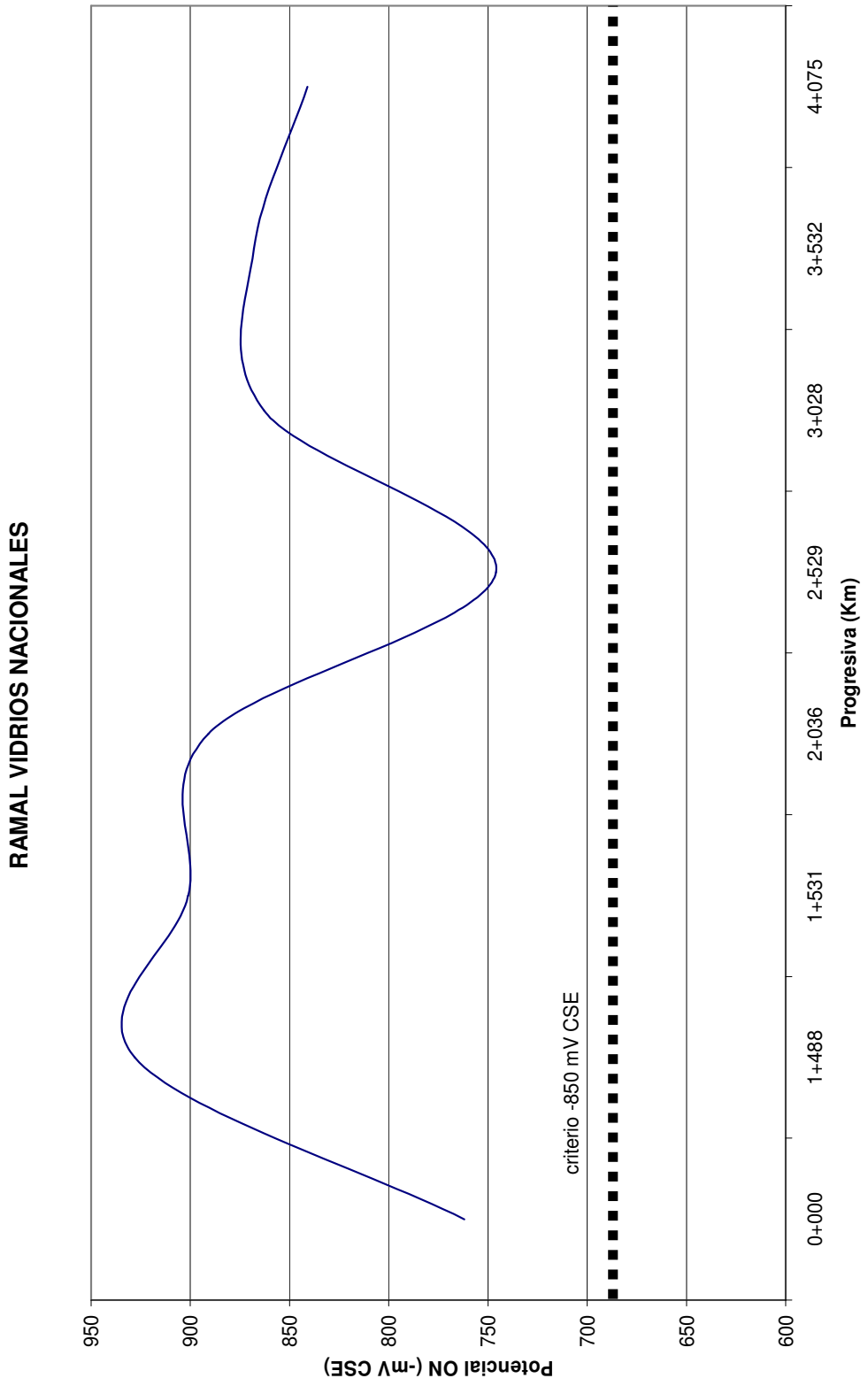


Figura 9.12 Perfiles de Potenciales Ramal VIDRIOS NACIONALES PK 0+000 al 04+075

10.CAPITULO X: COSTOS DE PROTECCION CATÓDICA

10.1. ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS CONSTRUCCION PROTECCION CATÓDICA TEMPORAL POR ÁNODOS DE SACRIFICIO GASODUCTO LIMA- CALLAO 61 KMS , DIAMETRO 20"

10.1.1. Análisis de costos ingeniería de protección catódica temporal con ánodos de sacrifico

EQUIPO Y HERRAMIENTAS:		CANT DIAS	COSTO DIA	Total
CAMIONETA 4 X 4		3.00	$ 80.00	$ 240.00
COMPUTADOR E IMPRESORA		3.00	$ 5.00	$ 15.00
ELECTRODO DE REFERENCIA		3.00	$ 5.00	$ 15.00
VOLTIMETRO		3.00	$ 5.00	$ 15.00
PINZA AMPERIMETRICA		3.00	$ 5.00	$ 15.00
KIT DE HERRAMIENTA MENOR		3.00	$ 5.00	$ 15.00
		SUB TOTAL	$ 315.00	
		G.U (20%)		$ 63.00
		TOTAL EQUIPOS		$ 378.00

MATERIALES	UND	CANT DIAS	VALOR UNIT	TOTAL
------	-	-	-	-
		SUB TOTAL	$ -	
		G.U (20%)	$ -	
		TOTAL MATERIALES		$ -

MANO DE OBRA	UND	JORNAL TOTAL		DIAS	TOTAL
Gerente de proyecto	1	130.00	$ 3.00	$ 390.00	
Ingeniero residente	1	80.00	$ 3.00	$ 240.00	
Obreros	10	40.00	$ 3.00	$ 120.00	
			$ 3.00		
			SUB TOTAL	$ 750.00	

G.U (20%)	$ 150.00
TOTAL MANO DE OBRA	$ 900.00

TOTAL INGENIERIA ANODOS	$1,278.00

G.U = GASTOS ADMINISTRATIVOS Y UTILIDAD 20%

10.1.2. Análisis De Costos Construcción De Protección Catódica Temporal Con Ánodos De Sacrificio

EQUIPO Y HERRAMIENTAS:		CANT DIAS	TARIFA DIARIA	Total
CAMIONETA 4 X 4		5.00	$ 80.00	$ 400.00
COMPUTADOR E IMPRESORA		5.00	$ 5.00	$ 25.00
ELECTRODO DE REFERENCIA		5.00	$ 5.00	$ 25.00
VOLTIMETRO		5.00	$ 5.00	$ 25.00
PINZA AMPERIMETRICA		5.00	$ 5.00	$ 25.00
KIT DE HERRAMIENTA MENOR		5.00	$ 5.00	$ 25.00
		SUB TOTAL		$ 525.00
		G.U (20%)		$ 105.00
		TOTAL EQUIPOS		$ 630.00

MATERIALES	UND	CANT DIAS	VALOR UNIT	TOTAL
HERRAMIENTAS DE EXCAVACION	GLB	5.00	$ 5.00	$ 25.00
		SUB TOTAL		$ 25.00
		G.U (20%)		$ 6.25

TOTAL MATERIALES	$ 31.25

MANO DE OBRA	UND	DIAS	JORNAL DÍA	TOTAL
Gerente de proyecto	1	5.00	$ 130.00	$ 650.00
Ingeniero residente	1	5.00	$ 80.00	$ 400.00
Obreros	2	5.00	$ 15.00	$ 75.00
		SUB TOTAL		$1,125.00
		G.U (20%)		$ 225.00
		TOTAL MANO DE OBRA		$1,350.00

TOTAL CONSTRUCCION	$2,011.25

G.U = GASTOS ADMINISTRATIVOS Y UTILIDAD 20%

10.1.3. Análisis De Precios Calibración Y Puesta En Marcha Del Sistema De Protección Catódica Temporal Con Ánodos De Sacrificio

EQUIPO Y HERRAMIENTAS:		CANT DIAS	TARIFA DIARIA	Total
CAMIONETA 4 X 4		1.00	$ 80.00	$ 80.00
COMPUTADOR E IMPRESORA		1.00	$ 5.00	$ 5.00
ELECTRODO DE REFERENCIA		1.00	$ 5.00	$ 5.00
VOLTIMETRO		1.00	$ 5.00	$ 5.00
PINZA AMPERIMETRICA		1.00	$ 5.00	$ 5.00
KIT DE HERRAMIENTA MENOR		1.00	$ 5.00	$ 5.00
		SUB TOTAL		$ 105.00

G.U (20%)	$ 21.00
TOTAL EQUIPOS	$ 126.00

MATERIALES	UND	CANT DIAS	VALOR UNIT	TOTAL
	GLB	-	$ -	$ -
		SUB TOTAL		$ -
		G.U (20%)		$ -
		TOTAL MATERIALES		$ -

MANO DE OBRA	UND	CANT DIAS	TARIFA DÍA	TOTAL
Gerente de proyecto	1	130.00	$ 1.00	$ 130.00
Ingeniero residente	1	80.00	$ 1.00	$ 80.00
Tecnico	1	50.00	$ 1.00	$ 50.00
		SUB TOTAL		$ 260.00
		G.U (20%)		$ 52.00
		TOTAL MANO DE OBRA		$ 312.00

TOTAL PUESTA EN MARCHA	$ 438.00

G.U = GASTOS ADMINISTRATIVOS Y UTILIDAD 20%

10.2. ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS CONSTRUCCION PROTECCION CATÓDICA PERMANENTE POR CORRIENTE IMPRESA GASODUCTO LIMA- CALLAO 61 KMS , DIAMETRO 20"

10.2.1. Analisis de costos ingenieria de proteccion catódica permanente por corriente impresa

EQUIPO Y HERRAMIENTAS:		CANT DIAS	TARIFA DIARIA	Total
Camioneta 4 x 4		6.00	$ 80.00	$ 480.00
Computador e impresora		6.00	$ 5.00	$ 30.00
Electrodo de referencia		6.00	$ 5.00	$ 30.00
Voltímetro		6.00	$ 5.00	$ 30.00
Pinza Amperimétrica		6.00	$ 5.00	$ 30.00
Kit de herramienta menor		6.00	$ 5.00	$ 30.00
		SUB TOTAL		$ 630.00
		G.U (20%)		$ 126.00
		TOTAL EQUIPOS		$ 756.00

MATERIALES	Und	CANT DIAS	VALOR UNIT	Total
Equipo de inyección de corriente portátil	glb	6.00	$ 20.00	$ 120.00
		SUB TOTAL		$ 120.00
		G.U (20%)		$ 24.00
		TOTAL MATERIALES		$ 144.00

MANO DE OBRA	UND	DIAS	JORNAL DÍA	TOTAL
Gerente de proyecto	1	6.00	$ 130.00	$ 780.00
Ingeniero residente	1	6.00	$ 80.00	$ 480.00
Ayudante	1	6.00	$ 40.00	$ 240.00
		SUB TOTAL		$1,500.00
		G.U (20%)		$ 300.00

TOTAL M.O	$1,800.00

TOTAL INGENIERIA C.I	$2,700.00

G.U = GASTOS ADMINISTRATIVOS Y UTILIDAD 20%

10.3. Análisis de costos materiales para proteccion catódica permanente por corriente impresa

10.3.1. Materiales y equipos para construccion sistema de pc permanente

EQUIPOS	Und	Cant	$ / Und.	Total
Anodo de titanio mmo	und	8.00	$ 140.00	$ 1,120.00
Backfill de coke	ton	6.90	$ 600.00	$ 4,140.00
Cable hwmpe #2	mL	200.00	$ 3.20	$ 640.00
Electrodo de referencia permanente stelth de borin stelth 2 model ser-007-cuy	und	4.00	$ 160.00	$ 640.00
Splice kit 91 b1 o 90 b1 de 3m	und	12.00	$ 32.00	$ 384.00
Rectificador de protección catódica 10 a, 50 v acero inoxidable	und	2.00	$ 3,000.00	$ 6,000.00
Unidad de monitoreo estaciones acero inoxidable	und	2.00	$ 1,800.00	$ 3,600.00
Unidad de monitoreo valvulas de bloqueo acero inoxidable	und	2.00	$ 1,500.00	$ 3,000.00
Junction box acero inoxidable	und	2.00	$ 1,600.00	$ 3,200.00
Materiales de excavación y seguridad	glb	1.00	$ 200.00	$ 200.00
		SUB TOTAL		$22,924.00
		G.U (20%)		$ 4,584.80
		TOTAL EQUIPOS		$27,508.80

10.3.2. Materiales y herramientas para construccion en city gate

Descripción	Und	Cant	$ / Und.	Total
Tubo galvanizado 4"sch 40 (con tapa)	ml	5.00	$ 26.00	$ 130.00
Conduit flexible 1 1/2"	ml	7.00	$ 2.60	$ 18.20
Conduit flexible 3"	ml	1.20	$ 7.60	$ 9.12
Prensaestopas para conduit flexible 1 1/2"	und	14.00	$ 0.98	$ 13.78
Prensaestopas para conduit flexible 3"	und	2.00	$ 7.20	$ 14.40
Conduit curvado 1 1/2"(roscado)	und	8.00	$ 8.40	$ 67.20
Conduit curvado 3" (roscado)	und	8.00	$ 22.80	$ 182.40
Union universal 1 1/2"	und	1.00	$ 14.80	$ 14.80
Perno galvanizado 3/8" (l)6"	und	4.00	$ 0.24	$ 0.96
Union roscada 1 1/2" f - f (l) 5cm	und	6.00	$ 2.60	$ 15.60
Union roscada 3" f - f (l)5cm	und	1.00	$ 14.40	$ 14.40
Cable desnudo de cobre 2 awg	ml	20.00	$ 2.00	$ 40.00
Cable 3x8 awg encauchetado	ml	150.00	$ 0.90	$ 135.60
Cable pvc 3x12 diametro 1"	ml	15.00	$ 0.50	$ 7.50
Soldadura cadweld ca 15	und	8.00	$ 0.69	$ 5.49
		SUB TOTAL		$ 669.44
		G.U (20%)		$ 133.89
		TOTAL MAT. C.G		$ 803.33

10.3.3. Materiales para construcción terminal station

Descripción	Und	Cant	$ / Und.	Total
Tubo galvanizado 4"SCH 40 (con tapa)	ml	2.50	$ 26.00	$ 65.00
Conduit flexible 1 1/2"	ml	7.00	$ 2.60	$ 18.20
Conduit flexible 3"	ml	1.20	$ 7.60	$ 9.12

Prensaestopas para conduit flexible 1 1/2"	und	1.40	$ 0.98	$ 1.38
Prensaestopas para conduit flexible 3"	und	2.00	$ 7.20	$ 14.40
Conduit curvado 1 1/2"(roscado)	und	8.00	$ 8.40	$ 67.20
Conduit curvado 13" (roscado)	und	8.00	$ 22.80	$ 182.40
Unión universal 1 1/2"	und	1.00	$ 14.80	$ 14.80
Perno galvanizado 3/8" (l)6"	und	4.00	$ 0.24	$ 0.96
Unión roscada 1 1/2" f - f (l) 5cm	und	6.00	$ 2.60	$ 15.60
Unión roscada 3" f - f (l)5cm	und	1.00	$ 14.40	$ 14.40
Cable desnudo de cobre 2 AWG	ml	20.00	$ 2.00	$ 40.00
Cable 3x8 AWG Vulcanizado	ml	150.00	$ 0.90	$ 135.60
Cable PVC 3x12 diámetro 1"	ml	15.00	$ 0.50	$ 7.50
Soldadura Cadwell CA 15	und	8.00	$ 0.69	$ 5.49
		SUB TOTAL		$ 592.04
		G.U (20%)		$ 118.41
		TOTAL MAT T.S		$ 710.45

10.3.4. Material para instalación de unidades de monitoreo de pc en valvulas XV 10004 y XV 10007.

Descripción	Und	Cant	$ / Und.	Total
Conduit flexible 1 1/2"	ml	3.00	$ 2.23	$ 6.69
Prensaestopas para conduit flexible 1 1/2"	und	6.00	$ 0.84	$ 5.06
Conduit curvado 1 1/2"(roscado)	und	4.00	$ 7.20	$ 28.80
Perno galvanizado 3/8" (l)6"	und	4.00	$ 0.21	$ 0.82
Unión roscada 1 1/2" f - f (l) 5cm	und	3.00	$ 2.23	$ 6.69
Cable desnudo de cobre 2 AWG	ml	20.00	$ 1.71	$ 34.29
Cable NYY 3x12 diam ext 1,5 cm	ml	20.00	$ 1.23	$ 24.62
Soldadura Cadwell CA 15	und	6.00	$ 0.86	$ 5.14
		SUB TOTAL		$ 112.10

G.U (20%)	$ 22.42
TOTAL U.M VALV	$ 134.52

10.3.5. Materiales Para Postes De Potencial De Protección Catódica, (Incluye Materiales Para Mojón Indicador Tipo 1a (Con Palomera) Y Mojón Indicador Tipo 1b (Sin Palomera).

Descripción	Und	Cant	$ / Und.	Total
Tubo de 1" galvanizado, curvado y roscado.	und.	109.00	$ 3.00	$ 327.00
Caja de potencial monoborne, según planos.	und.	109.00	$ 33.60	$ 3,662.40
Placa indicadora anodizado, fotograbado.	und.	109.00	$ 1.50	$ 163.50
Cintillo de amarre en inoxidable.	und.	109.00	$ 0.10	$ 10.90
Maquina ponchadora para amarre de cintillos de acero inoxidable.	und.	1.00	$ 70.00	$ 70.00
		SUB TOTAL		$ 4,233.80
		G.U (20%)		$ 846.76
		TOTAL POSTES		$ 5,080.56

10.3.6. Materiales caja de medición de potencial con descargador en junta monolitica.

Descripción	Und	Cant	$ / Und.	Total
Caja de potencial monoborne, según planos.	und.	2.00	$ 33.60	$ 67.20
Terminal a compresion para cable 6 mm2.	und.	2.00	$ 0.34	$ 0.69
Cable de cobre aislado en pvc, de 6 mm2.	ml	5.00	$ 1.03	$ 5.14
		SUB TOTAL		$ 5,153.59
		G.U (20%)		$ 1,030.72
		TOTAL JUNTA MONO.		$ 6,184.31

10.3.7. Materiales caja de medición de potencial con descargador en camara de valvulas de bloqueo y estacion reductora.

Descripcion	Und.	Cant.	$ / Und.	Total.
Caja de aluminio stanca, con tapa atornillada, con terminales interiores.	und.	10.00	$ 10.29	$ 102.86
Descargador Lighting Arrestor, Supresor De Sobre Tension	und.	10.00	$ 12.00	$ 120.00
		SUB TOTAL		$ 222.86
		G.U (20%)		$ 44.57
		TOTAL DESCARGADOR		$ 267.43

TOTAL MATERIALES Y EQUIPOS	$40,689.40

G.U = GASTOS ADMINISTRATIVOS Y UTILIDAD 20%

10.3.8. Análisis de costos construcción de protección catódica permanente por corriente impresa

EQUIPO Y HERRAMIENTAS:		CANT DIAS	TARIFA DIARIA	Total
Camioneta 4 x 4		45.00	$ 80.00	$ 3,600.00
Computador e impresora		45.00	$ 5.00	$ 225.00
Electrodo de referencia		45.00	$ 5.00	$ 225.00
Voltímetro		45.00	$ 5.00	$ 225.00
Pinza Amperimétrica		45.00	$ 5.00	$ 225.00
Kit de herramienta menor		45.00	$ 5.00	$ 225.00
		SUB TOTAL		$ 45.00

G.U (20%)	$ 11.25
TOTAL EQUIPOS	$ 56.25

MATERIALES	Und	CANT DIAS	VALOR UNIT	Total
Herramientas de excavación y herramientas en general	Glb	45.00	$ 20.00	$ 900.00
		SUB TOTAL		$ 900.00
		G.U (20%)		$ 225.00
		TOTAL MATERIALES		$ 1,125.00

mano de obra	Und	CANT DIAS	Tarifa día	Total
Gerente de proyecto	1	45.00	$ 130.00	$ 5,850.00
Ingeniero residente	1	45.00	$ 80.00	$ 3,600.00
Obreros	10	45.00	$ 25.00	$ 1,125.00
		SUB TOTAL		$ 10,575.00
		G.U (20%)		$ 2,115.00
		TOTAL MANO DE OBRA		$ 12,690.00

TOTAL CONSTRUCCIÓN	$ 13,871.25

G.U = GASTOS ADMINISTRATIVOS Y UTILIDAD 20%

10.4. Análisis de precios calibración y puesta en marcha del sistema de protección catódica por corriente impresa

EQUIPO Y HERRAMIENTAS:		CANT DIAS	TARIFA DIARIA	Total
Camioneta 4 x 4		4.00	$ 80.00	$ 320.00
Computador e impresora		4.00	$ 5.00	$ 20.00
Electrodo de referencia		4.00	$ 5.00	$ 20.00
Voltímetro		4.00	$ 5.00	$ 20.00
Pinza Amperimétrica		4.00	$ 5.00	$ 20.00
Kit de herramienta menor		4.00	$ 5.00	$ 20.00
		SUB TOTAL		$ 420.00
		G.U (20%)		$ 84.00
		TOTAL EQUIPOS		$ 504.00

MATERIALES	Und	CANT DIAS	VALOR UNIT	Total
-	-	-	$ -	$ -
		SUB TOTAL		$ -
		G.U (20%)		$ -
		TOTAL MATERIALES		$ -

mano de obra	Und	CANT DIAS	Tarifa día	Total
Gerente de proyecto		4.00	$ 130.00	$ 520.00
Ingeniero residente		4.00	$ 80.00	$ 320.00
Técnico		4.00	$ 50.00	$ 200.00
		SUB TOTAL		$ 1,040.00
		G.U (20%)		$ 208.00

TOTAL MANO DE OBRA	$ 1,248.00

TOTAL PUESTA EN MARCHA	$ 1,752.00

G.U = GASTOS ADMINISTRATIVOS Y UTILIDAD 20%

10.5. CUADRO RESUMEN DE PRECIOS UNITARIOS PROTECCION CATODICA CON ANODOS DE SACRIFICIO LIMA - CALLAO

Item.	DESCRIPCION	UNIDAD	VLR. TOTAL
1	INGENIERIA	GLB	$ 1,278.00
2	MATERIALES	GLB	$ 1,868.75
3	CONSTRUCCION	GLB	$ 2,011.25
4	PUESTA EN MARCHA	GLB	$ 438.00
	VALOR TOTAL		$ 5,596.00

10.6. CUADRO RESUMEN DE PRECIOS UNITARIOS

PROTECCION CATODICA POR CORRIENTE IMPRESA LIMA - CALLAO

Item.	DESCRIPCION	UNIDAD	VLR. TOTAL
1	INGENIERIA	GLB	$ 2,700.00
2	MATERIALES	GLB	$40,689.40
3	CONSTRUCCION	GLB	$13,871.25
4	PUESTA EN MARCHA	GLB	$ 1,752.00
	VALOR TOTAL		$59,012.65

11.CAPITULO XI CONCLUSIONES

1. A lo largo de los 60 Km. de tubería que atraviesa la provincia de Lima y Callao, se determinó una diversidad de suelos, tan es así que el promedio para el caso de la resistividad es de 30 000 ohm – cm., y para la clasificación de suelo, se establece que se tiene un suelo corrosivo, según se observan en los gráficos de resistividad de suelo (Anexo)

2. El potencial catódico inyectado al ducto en ambos rectificadores City Gate Lurin y Terminal Station Ventanilla, abastecen los requerimientos de corriente solicitados por la ingenieria de diseño y los comprobados en el momento de puesta en marcha del sistema.

3. El revestimiento de la tubería es de Tri capa de Polietileno extruido, y para las zonas de soldaduras circunferenciales es de un material de características químicas y mecánicas muy similares.

4. Todas las soldaduras del ducto de gas fueron probadas por Ensayos No Destructivos de Ultrasonido (Tubo – Tubo), y Radiografía (Tubo – Accesorio).

5. El sistema de protección catódica temporal por ánodos galvánicos, tiene la cualidad de poder ser utilizado en cualquier tipo de estructura enterrada o sumergida, debido a su baja inversión de instalación y mantenimiento, además el ánodo galvánico empieza a trabajar y drenar el potencial catódico al mismo instante que es conectado, a diferencia del sistema de corriente impresa, pero este sistema se puede instalar de preferencia en estructuras medianas y pequeñas, pues si la estructura a proteger es muy grande, los costos de instalación y mantenimiento son muy elevados por ello para estos casos se inclina económica y técnicamente a la corriente impresa

6. El criterio para la selección de los ánodos para el sistema temporal galvánico fue el ánodo de magnesio, por ser mayor la cantidad de voltaje drenado, a pesar de su menor eficiencia, con respecto al Zinc. A su vez, el uso de ánodos de Magnesio representa un menor costo respecto a la cantidad e instalación comparado con el Zinc.

7. Para el caso de la corriente impresa, se consideró el ánodo de Titanio MMO, por su mejor comportamiento en el drenaje de corriente, mayor durabilidad, es decir, menor consumo Kg – Amp / Año, mayor eficiencia, comparado con los otros ánodos utilizados para estos sistemas, como contraparte tiene el precio pues es de alto costo.

8. Los cables seleccionados son AWG 2 para el cable principal desde la cama de ánodos, pues este calibre de cable soporta sin ningún problema cualquier variación de corriente. Para el cable proveniente de la tubería se clasificó como AWG 8 debido al bajo voltaje y amperaje que se transmitiría a través del sistema de inyección de corriente desde el rectificador hacia la estructura (tubería enterrada).

9. El Backfill a utilizar se determinó con el Coque de petróleo calcinado, debido a su bajo consumo anual, a su alta compactación, a su densidad teniendo mejores parámetros de drenaje de corriente que los otros tipos de coque, comprobados en los trabajos de puesta en marcha al realizar mediciones de corriente proveniente de la cama de anodos

10. La soldadura exotérmica tipo Cadweld es la utilizada en la instalación de cada punto catódico instalándose en el área rural (Km. 0+000 al Km. 13+000) un punto catódico cada kilómetro y en el área urbana (Km 13+500 al Km. 61+000 y todos los ramales) un punto catódico cada 500 mts.

11. El Splice kit, la elección de este elemento es el de aislante dieléctrico de los empalmes realizados por fijación de toque mecánico, entre los cables provenientes de los ánodos de corriente impresa y el cable principal que va desde la cama de ánodos hacia el rectificador, su costo está reflejado en la gran capacidad aislante de este elemento

12. Para el Aislamiento eléctrico se instalaron Dos (02) juntas monolíticas estas juntas fueron instaladas por el constructor de la tubería, el principio fundamental del uso de estas juntas monolíticas es el de aislar eléctricamente la tubería de las estación pues en cada equipo instalado en la estación, se contara con un sistema de puesta a tierra, este sistema de puesta a tierra drenaría todo el potencial catódico si no se contara con la junta.

13. Para poder monitorear y mantener un control exacto del sistema de protección catódica por corriente impresa se utilizan las señales que son enviadas por la Unidad de Monitoreo en rangos de miliamperios, estas dan una lectura permanente del sistema que son llevadas al sistema SCADA, equipo que traduce estas señales de miliamperios a una escala respectiva de:

    - Voltios: para la señal de entrada de AC al rectificador
    - Mili Voltios: para una señal de potencial catódico saliente del rectificador con referencia al electrodo de Ag/AgCl
    - Amperios: para una señal de amperaje del rectificador

14. Para la aceptación de las lecturas de protección catódica tanto para el sistema de protección catódica temporal por ánodos galvánicos como para el sistema de protección catódica por corriente impresa se cumplió principalmente con el criterio 1 y 3 de la RP 0169 – 1999: “Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems”

15. El sistema de protección catódica por corriente impresa, tiene la gran variedad de poder ser aplicado en grandes estructuras, siendo solamente la inversión inicial como el único gasto elevado, pues en los años subsiguientes, contando con un mantenimiento y control adecuado, el sistema no debe mostrar problema de funcionamiento alguno y su inversión se justifica

12.CAPITULO XII RECOMENDACIONES

1. A este sistema que se encuentra en actual funcionamiento, debe de instalarse un rectificador adicional, a medida que las redes de tuberías de acero se incrementen.

2. Los sistemas de protección catódica en general no deben centralizarse solamente a tuberías de gas natural o a tanques de GLP, solo porque la ley así lo exige, sino también a cualquier tubería de transmisión de combustible pues así se está protegiendo no solamente la producción de la industria sino también el medio ambiente.

3. Debe de seguir difundiéndose el uso de la corriente impresa, pues no se debe ver simplemente como un alto costo inicial, pues, se debe considerar los costos por reparaciones de estructuras o los cambios de ánodos galvánicos (si es el caso) que se pueden evitar.

4. Capacitar al personal que va a operar los sistemas de protección catódica tanto en la elección y diseño de los sistemas, sino también en la instalación y mantenimiento, ya que esta es la etapa de real operación del sistema, pues como se dijo anteriormente se pueden presentar inconvenientes durante la operación, como es el caso de las corrientes parasitas, el personal debe estar lo suficientemente capacitado en caso se presenten este tipo de anomalías y también en cualquier otra que pueda presentarse.

5. En la E.A.P. Ingeniería Metalúrgica debería de profundizar el estudio mucho más en los casos de control de corrosión, tanto teórico como practico, para poder inculcar a sus alumnos un conocimiento más “táctil” y poder así aún más competitivos en el medio laboral de la ingeniería

ANEXOS

ANEXO 1. DATA SHEETS CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR SEVERIDAD DE CORROSIÓN

PIPELINE :	
KILOMETER :	PK 0 + 00 LIMA CALLAO
COMMENTS :	CORROSIVE,SOIL TYPE III

ITEM	ANALYSIS			AWD	RESULTS	TOTAL
	1. SOIL TYPE					
1	Lime			2		
	calcareous clay					
	Sandy Clay (loess)					
	Sand				X	2
	Clay			0		
	Marga de Barro					
	Clay and Sand, mixed 75%					
	Sand with Clay					
	Clay			-2		
	Marga - Clay					
	Humus Soil					
	Turva Soil			-4		
	Silt					
	Meriarna Soil					
	2. SOIL CONDITIONS					
2.1	Water at construction level, pipeline level			0		
	No Water			-1	X	-1
	Variable Level			-2		
2.2	Normal Soil (Natural)			0	X	0
	Mixed Soil			-2		
2.3	Uniform Soil at Construction Places			0	X	0
	Non Uniform soil at construction places			-3		
	3. RESISTIVITY - MILLER SOIL BOX					
3	>10,000 ohm-cm			0	99,000	0
	10,000 - 5,000 ohm-cm			-1		
	5,000 - 2,300 ohm-cm			-2		
	2,300 - 1,000 ohm-cm			-3		
	< 1,000 ohm-cm			-4		
	4. HUMIDITY					
4	< 20%			0	X	0
	> 20%			-1		
	5. pH VALUE					
5	pH > 6			0	7.36	0
	pH < =6			-1		
	6. TOTAL ACIDITY TO pH = 7					
6	< 2.5 mEq/Kg			0	0	0
	2.5 - 5 mEq/Kg			-1		
	> 5 mEq/Kg			-2		
	REDOX POTENTIAL TO pH = 7					
7	mV	rH				
	> 400	> 27.8	High Oxygen Contents	2		
	200 - 400	20.9 - 27.8	With Oxygen	0		
	0 - 200	14.0 - 20.9	Poor Oxygen	-2		
	< 0	< 14.0		-4	-45.5	-4
	8. CONTENTS OF CALCIUM CARBONATE OR MAGNESIUM, TOTAL ALCALINITY TO pH = 4.8					
8	> 5% = > 50,000 mg/Kg			2		
	1-5% = 10,000 - 50,000 mg/Kg			1	18077	1
	< 1% = < 10,000 mg/Kg			0		
	Alcalinity to pH = 4.8					
	> 1,000 mEq/Kg			2		
	200 - 1,000 mEq/Kg			1		
	< 200 mEq/Kg			0		
	9. HYDROGEN SULPHIDE AND SULPHURS					
9	Not present			0		
	Low = < 0.5 mg/Kg de S=			-2		
	Present = > 0.5 mg/Kg de S=			-4		
	10. COKE OR CARBON CONTENTS					
10	Non Present			0	X	0
	Present			-4		
	11. CHLORIDE IONS					
11	< 100 mg/Kg			0		
	> 100 mg/Kg			-1	2112	-1
	12. SULPHATE IONS					
12	< 200 mg/kg			0		
	200 - 500 mg/kg			-1		
	500 - 1,000 mg/kg			-2		
	> 1,000 mg/kg			-3	1693	-3
				TOTAL		-6

PIPELINE :	
KILOMETER :	PK 4 + 00 LIMA Y CALLAO
COMMENTS :	CORROSIVE, SOIL TYPE III

ITEM	ANALYSIS	ADD	RESULTS	TOTAL
	1. SOIL TYPE			
1	Lime	2		
	calcareous clay			
	Sandy Clay (loose)			
	Sand		X	2
	Clay	0		
	Marga de Barro			
	Clay and Sand, mixed 75%			
	Sand with Clay			
	Clay	-2		
	Marga - Clay			
	Humus Soil			
	Turra Soil	-4		
	Silt			
	Marisma Soil			
	2. SOIL CONDITIONS			
2.1	Water at construction level, pipeline level	0		
	No Water	-1	X	-1
	Variable Level	-2		
2.2	Normal Soil (Natural)	0	X	0
	Mixed Soil	-2		
2.3	Uniform Soil at Construction Places	0	X	0
	Non Uniform soil at construction places	-3		
	3. RESISTIVITY - MILLER SOIL BOX			
3	>10,000 ohm-cm	0	120,000	0
	10,000 - 5,000 ohm-cm	-1		
	5,000 - 2,300 ohm-cm	-2		
	2,300 - 1,000 ohm-cm	-3		
	< 1,000 ohm-cm	-4		
	4. HUMIDITY			
4	< 20%	0	X	0
	> 20%	-1		
	5. pH VALUE			
5	pH > 6	0	7.22	0
	pH < =6	-1		
	6. TOTAL ACIDITY TO pH = 7			
6	< 2.5 mEq/Kg	0	0	0
	2.5 - 5 mEq/Kg	-1		
	> 5 mEq/Kg	-2		
	REDOX POTENTIAL TO pH = 7			
7	mV rH			
	> 400 > 27.8 High Oxygen Contents	2		
	200 - 400 20.9 - 27.8 With Oxygen	0		
	0 - 200 14.0 - 20.9 Poor Oxygen	-2		
	< 0 < 14.0	-4	-36.5	-4
	8. CONTENTS OF CALCIUM CARBONATE OR MAGNESIUM, TOTAL ALCALINITY TO pH = 4.8			
8	> 5% = > 50,000 mg/Kg	2		
	1-5% = 10,000 - 50,000 mg/Kg	1		
	< 1% = < 10,000 mg/Kg	0	9944	0
	Alcalinity to pH = 4.8			
	> 1,000 mEq/Kg	2		
	200 - 1,000 mEq/Kg	1		
	< 200 mEq/Kg	0		
	9. HYDROGEN SULPHIDE AND SULPHURS			
9	Not present	0		
	Low = < 0.5 mg/Kg de S=	-2		
	Present = > 0.5 mg/Kg de S=	-4		
	10. COKE OR CARBON CONTENTS			
10	Non Present	0	X	0
	Present	-4		
	11. CHLORIDE IONS			
11	< 100 mg/Kg	0		
	> 100 mg/Kg	-1	1233	-1
	12. SULPHATE IONS			
12	< 200 mg/kg	0		
	200 - 600 mg/kg	-1		
	600 - 1,000 mg/kg	-2		
	> 1,000 mg/kg	-3	1317	-3
		TOTAL		-7

PIPELINE :	
KILOMETER :	PK 12 +00 LIMA CALLAO
COMMENTS :	CORROSIVE,SOIL TYPE III

ITEM	ANALYSIS			ADD	RESULTS	TOTAL
	1. SOIL TYPE					
1	Lima			2		
	calcareous clay					
	Sandy Clay (loess)					
	Sand				X	2
	Clay			0		
	Marga de Barro					
	Clay and Sand, mixed 75%					
	Sand with Clay					
	Clay			-2		
	Marga - Clay					
	Humus Soil					
	Turva Soil			-4		
	Silt					
	Marisma Soil					
	2. SOIL CONDITIONS					
2.1	Water at construction level, pipeline level			0		
	No Water			-1	X	-1
	Variable Level			-2		
2.2	Normal Soil (Natural)			0	X	0
	Mixed Soil			-2		
2.3	Uniform Soil at Construction Places			0	X	0
	Non Uniform soil at construction places			-3		
	3. RESISTIVITY - MILLER SOIL BOX					
3	>10,000 ohm-cm			0	750,000	0
	10,000 - 5,000 ohm-cm			-1		
	5,000 - 2,300 ohm-cm			-2		
	2,300 - 1,000 ohm-cm			-3		
	< 1,000 ohm-cm			-4		
	4. HUMIDITY					
4	< 20%			0	X	0
	> 20%			-1		
	5. pH VALUE					
5	pH > 6			0	7.41	0
	pH < =6			-1		
	6. TOTAL ACIDITY TO pH = 7					
6	< 2.5 mEq/Kg			0	0	0
	2.5 - 5 mEq/Kg			-1		
	> 5 mEq/Kg			-2		
	REDOX POTENTIAL TO pH = 7					
7	mV	eH				
	> 400	> 27.9	High Oxygen Contents	2		
	200 - 400	20.9 - 27.9	With Oxygen	0		
	0 - 200	14.0 - 20.9	Poor Oxygen	-2		
	< 0	< 14.0		-4	-48.1	-4
	8. CONTENTS OF CALCIUM CARBONATE OR MAGNESIUM, TOTAL ALCALINITY TO pH = 4.8					
8	> 5% = > 50,000 mg/Kg			2		
	1-5% = 10,000 - 50,000 mg/Kg			1		
	< 1% = < 10,000 mg/Kg			0	6960	0
	Alcalinity to pH = 4.8					
	> 1,000 mEq/Kg			2		
	200 - 1,000 mEq/Kg			1		
	< 200 mEq/Kg			0		
	9. HYDROGEN SULPHIDE AND SULPHURS					
9	Not present			0		
	Low = < 0.5 mg/Kg de S=			-2		
	Present = > 0.5 mg/Kg de S=			-4		
	10. COKE OR CARBON CONTENTS					
10	Non Present			0	X	0
	Present			-4		
	11. CHLORIDE IONS					
11	< 100 mg/Kg			0		
	> 100 mg/Kg			-1	1221	-1
	12. SULPHATE IONS					
12	< 200 mg/kg			0		
	200 - 500 mg/kg			-1		
	500 - 1,000 mg/kg			-2		
	> 1,000 mg/kg			-3	1710	-3
				TOTAL		-7

PIPELINE :	
KILOMETER :	PK20 + 00 LIMA CALLAO
COMMENTS :	CORROSIVE, SOIL TYPE III

ITEM	ANALYSIS	ADD	RESULTS	TOTAL
	1. SOIL TYPE			
1	Lime	2		
	calcareous clay			
	Sandy Clay (loose)			
	Sand		X	2
	Clay	0		
	Marga de Barro			
	Clay and Sand, mixed 75%			
	Sand with Clay			
	Clay	-2		
	Marga - Clay			
	Humus Soil			
	Turva Soil	-4		
	Silt			
	Marisma Soil			
	2. SOIL CONDITIONS			
2.1	Water at construction level, pipeline level	0		
	No Water	-1	X	-1
	Variable Level	-2		
2.2	Normal Soil (Natural)	0	X	0
	Mixed Soil	-2		
2.3	Uniform Soil at Construction Places	0	X	0
	Non Uniform soil at construction places	-3		
	3. RESISTIVITY - MILLER SOIL BOX			
3	>10,000 ohm-cm	0	1,000,000	0
	10,000 - 5,000 ohm-cm	-1		
	5,000 - 2,300 ohm-cm	-2		
	2,300 - 1,000 ohm-cm	-3		
	< 1,000 ohm-cm	-4		
	4. HUMIDITY			
4	< 20%	0	X	0
	> 20%	-1		
	5. pH VALUE			
5	pH > 6	0	7.49	0
	pH < =6	-1		
	6. TOTAL ACIDITY TO pH = 7			
6	< 2.5 mEq/Kg	0	0	0
	2.5 - 5 mEq/Kg	-1		
	> 5 mEq/Kg	-2		
	REDOX POTENTIAL TO pH = 7			
7	mV / pH			
	> 400 / > 27.8 High Oxygen Contents	2		
	200 - 400 / 20.9 - 27.8 With Oxygen	0		
	0 - 200 / 14.0 - 20.9 Poor Oxygen	-2		
	< 0 / < 14.0	-4	-54	-4
	8. CONTENTS OF CALCIUM CARBONATE OR MAGNESIUM, TOTAL ALCALINITY TO pH = 4.8			
8	> 5% = > 50,000 mg/Kg	2		
	1-5% = 10,000 - 50,000 mg/Kg	1	12842	1
	< 1% = < 10,000 mg/Kg	0		
	Alcalinity to pH = 4.8			
	> 1,000 mEq/Kg	2		
	200 - 1,000 mEq/Kg	1		
	< 200 mEq/Kg	0		
	9. HYDROGEN SULPHIDE AND SULPHURS			
9	Not present	0		
	Low = < 0.5 mg/Kg de S=	-2		
	Present = > 0.5 mg/Kg de S=	-4		
	10. COKE OR CARBON CONTENTS			
10	Non Present	0	X	0
	Present	-4		
	11. CHLORIDE IONS			
11	< 100 mg/Kg	0		
	> 100 mg/Kg	-1	3616	-1
	12. SULPHATE IONS			
12	< 200 mg/kg	0		
	200 - 500 mg/kg	-1		
	500 - 1,000 mg/kg	-2		
	> 1,000 mg/kg	-3	1290	-3
		TOTAL		-6

PIPELINE :	
KILOMETER :	PK 28 + 09 LIMA Y CALLAO
COMMENTS :	MIDDLE CORROSIVE SOIL TYPE II

ITEM	ANALYSIS	ADD	RESULTS	TOTAL
	1. SOIL TYPE			
1	Lima	2		
	calcareous clay			
	Sandy Clay (loess)			
	Sand		X	2
	Clay	0		
	Marga de Barro			
	Clay and Sand, mixed 75%			
	Sand with Clay			
	Clay	-2		
	Marga - Clay			
	Humus Soil			
	Turva Soil	-4		
	Silt			
	Marisma Soil			
	2. SOIL CONDITIONS			
2.1	Water at construction level, pipeline level	0		
	No Water	-1	X	-1
	Variable Level	-2		
2.2	Normal Soil (Natural)	0	X	0
	Mixed Soil	-2		
2.3	Uniform Soil at Construction Places	0	X	0
	Non Uniform soil at construction places	-3		
	3. RESISTIVITY - MILLER SOIL BOX			
3	>10,000 ohm-cm	0	1,000,000	0
	10,000 - 5,000 ohm-cm	-1		
	5,000 - 2,300 ohm-cm	-2		
	2,300 - 1,000 ohm-cm	-3		
	< 1,000 ohm-cm	-4		
	4. HUMIDITY			
4	< 20%	0	X	0
	> 20%	-1		
	5. pH VALUE			
5	pH > 6	0	7.54	0
	pH < =6	-1		
	6. TOTAL ACIDITY TO pH = 7			
6	< 2.5 mEq/Kg	0	0	0
	2.5 - 5 mEq/Kg	-1		
	> 5 mEq/Kg	-2		
	REDOX POTENTIAL TO pH = 7			
7	mV / rH			
	> 400 / > 27.9 High Oxygen Contents	2		
	200 - 400 / 20.9 - 27.9 With Oxygen	0		
	0 - 200 / 14.0 - 20.9 Poor Oxygen	-2		
	< 0 / < 14.0	-4	-57	-4
	8. CONTENTS OF CALCIUM CARBONATE OR MAGNESIUM, TOTAL ALCALINITY TO pH = 4.8			
8	> 5% = > 50,000 mg/Kg	2		
	1-5% = 10,000 - 50,000 mg/Kg	1	13763	1
	< 1% = < 10,000 mg/Kg	0		
	Alcalinity to pH = 4.8			
	> 1,000 mEq/Kg	2		
	200 - 1,000 mEq/Kg	1		
	< 200 mEq/Kg	0		
	9. HYDROGEN SULPHIDE AND SULPHURS			
9	Not present	0		
	Low = < 0.5 mg/Kg de S=	-2		
	Present = > 0.5 mg/Kg de S=	-4		
	10. COKE OR CARBON CONTENTS			
10	Non Present	0	X	0
	Present	-4		
	11. CHLORIDE IONS			
11	< 100 mg/Kg	0		
	> 100 mg/Kg	-1	3931	-1
	12. SULPHATE IONS			
12	< 200 mg/kg	0	6	0
	200 - 500 mg/kg	-1		
	500 - 1,000 mg/kg	-2		
	> 1,000 mg/kg	-3		
		TOTAL		-3

PIPELINE :	
KILOMETER :	PK 40 + 00 LIMA Y CALLAO
COMMENTS :	MIDDLE CORROSIVE SOIL TYPE II

ITEM	ANALYSIS			ADD	RESULTS	TOTAL
	1. SOIL TYPE					
1	Lime			2		
	calcareous clay					
	Sandy Clay (loess)					
	Sand				X	2
	Clay			0		
	Marga de Barro					
	Clay and Sand, mixed 75%					
	Sand with Clay					
	Clay			-2		
	Marga - Clay					
	Humus Soil					
	Turva Soil			-4		
	Silt					
	Marisma Soil					
	2. SOIL CONDITIONS					
2.1	Water at construction level, pipeline level			0		
	No Water			-1	X	-1
	Variable Level			-2		
2.2	Normal Soil (Natural)			0	X	0
	Mixed Soil			-2		
2.3	Uniform Soil at Construction Places			0	X	0
	Non Uniform soil at construction places			-3		
	3. RESISTIVITY - MILLER SOIL BOX					
3	>10,000 ohm-cm			0	1,000,000	0
	10,000 - 5,000 ohm-cm			-1		
	5,000 - 2,300 ohm-cm			-2		
	2,300 - 1,000 ohm-cm			-3		
	< 1,000 ohm-cm			-4		
	4. HUMIDITY					
4	< 20%			0	X	0
	> 20%			-1		
	5. pH VALUE					
5	pH > 6			0	7.28	0
	pH < =6			-1		
	6. TOTAL ACIDITY TO pH = 7					
6	< 2.5 mEq/Kg			0	0	0
	2.5 - 5 mEq/Kg			-1		
	> 5 mEq/Kg			-2		
	REDOX POTENTIAL TO pH = 7					
7	mV	eH				
	> 400	> 27.8	High Oxygen Contents	2		
	200 - 400	20.9 - 27.8	With Oxygen	0		
	0 - 200	14.0 - 20.9	Poor Oxygen	-2		
	< 0	< 14.0		-4	-38.8	-4
	8. CONTENTS OF CALCIUM CARBONATE OR MAGNESUIM, TOTAL ALCALINITY TO pH = 4.8					
8	> 5% = > 50,000 mg/Kg			2		
	1-5% = 10,000 - 50,000 mg/Kg			1	11352	1
	< 1% = < 10,000 mg/Kg			0		
	Alcalinity to pH = 4.8					
	> 1,000 mEq/Kg			2		
	200 - 1,000 mEq/Kg			1		
	< 200 mEq/Kg			0		
	9. HYDROGEN SULPHIDE AND SULPHURS					
9	Not present			0		
	Low = < 0.5 mg/Kg de S=			-2		
	Present = > 0.5 mg/Kg de S=			-4		
	10. COKE OR CARBON CONTENTS					
10	Non Present			0		0
	Present			-4		
	11. CHLORIDE IONS					
11	< 100 mg/Kg			0		
	> 100 mg/Kg			-1	526	-1
	12. SULPHATE IONS					
12	< 200 mg/kg			0	39	0
	200 - 500 mg/kg			-1		
	500 - 1,000 mg/kg			-2		
	> 1,000 mg/kg			-3		
				TOTAL		-3

PIPELINE :	
KILOMETER :	PK 46+ 00 LIMA Y CALLAO
COMMENTS :	CORROSIVE, SOIL TYPE III

ITEM	ANALYSIS	ADD	RESULTS	TOTAL
	1. SOIL TYPE			
1	Lime	2		
	calcareous clay			
	Sandy Clay (loose)			
	Sand		X	2
	Clay	0		
	Marga de Barro			
	Clay and Sand, mixed 75%			
	Sand with Clay			
	Clay	-2		
	Marga - Clay			
	Humus Soil			
	Turva Soil	-4		
	Silt			
	Marisma Soil			
	2. SOIL CONDITIONS			
2.1	Water at construction level, pipeline level	0		
	No Water	-1	X	-1
	Variable Level	-2		
2.2	Normal Soil (Natural)	0	X	0
	Mixed Soil	-2		
2.3	Uniform Soil at Construction Places	0	X	0
	Non Uniform soil at construction places	-3		
	3. RESISTIVITY - MILLER SOIL BOX			
3	>10,000 ohm-cm	0	150,000	0
	10,000 - 5,000 ohm-cm	-1		
	5,000 - 2,300 ohm-cm	-2		
	2,300 - 1,000 ohm-cm	-3		
	< 1,000 ohm-cm	-4		
	4. HUMIDITY			
4	< 20%	0	X	0
	> 20%	-1		
	5. pH VALUE			
5	pH > 6	0	7.88	0
	pH < =6	-1		
	6. TOTAL ACIDITY TO pH = 7			
6	< 2.5 mEq/Kg	0	0	0
	2.5 - 5 mEq/Kg	-1		
	> 5 mEq/Kg	-2		
	REDOX POTENTIAL TO pH = 7			
7	mV / pH /			
	> 400 / > 27.8 / High Oxygen Contents	2		
	200 - 400 / 20.9 - 27.8 / With Oxygen	0		
	0 - 200 / 14.0 - 20.9 / Poor Oxygen	-2		
	< 0 / < 14.0	-4	-52.4	-4
	8. CONTENTS OF CALCIUM CARBONATE OR MAGNESIUM, TOTAL ALCALINITY TO pH = 4.8			
8	> 5% = > 50,000 mg/Kg	2		
	1-5% = 10,000 - 50,000 mg/Kg	1	24119	1
	< 1% = < 10,000 mg/Kg	0		
	Alcalinity to pH = 4.8			
	> 1,000 mEq/Kg	2		
	200 - 1,000 mEq/Kg	1		
	< 200 mEq/Kg	0		
	9. HYDROGEN SULPHIDE AND SULPHURS			
9	Not present	0		
	Low = < 0.5 mg/Kg de S=	-2		
	Present = > 0.5 mg/Kg de S=	-4		
	10. COKE OR CARBON CONTENTS			
10	Non Present	0	X	0
	Present	-4		
	11. CHLORIDE IONS			
11	< 100 mg/Kg	0		
	> 100 mg/Kg	-1	5871	-1
	12. SULPHATE IONS			
12	< 200 mg/kg	0		
	200 - 500 mg/kg	-1		
	500 - 1,000 mg/kg	-2		
	> 1,000 mg/kg	-3	1929	-3
		TOTAL		-6

PIPELINE :	
KILOMETER :	PK 54+ 00 LIMA Y CALLAO
COMMENTS :	CORROSIVE, SOIL TYPE III

ITEM	ANALYSIS	ADD	RESULTS	TOTAL
	1. SOIL TYPE			
1	Lime	2		
	calcareous clay			
	Sandy Clay (loess)			
	Sand		X	2
	Clay	0		
	Marga de Barro			
	Clay and Sand, mixed 75%			
	Sand with Clay			
	Clay	-2		
	Marga - Clay			
	Humus Soil			
	Tuns Soil	-4		
	Silt			
	Marisma Soil			
	2. SOIL CONDITIONS			
2.1	Water at construction level, pipeline level	0		
	No Water	-1	X	-1
	Variable Level	-2		
2.2	Normal Soil (Natural)	0	X	0
	Mixed Soil	-2		
2.3	Uniform Soil at Construction Places	0	X	0
	Non Uniform soil at construction places	-3		
	3. RESISTIVITY - MILLER SOIL BOX			
3	>10,000 ohm-cm	0	1,000,000	0
	10,000 - 5,000 ohm-cm	-1		
	5,000 - 2,300 ohm-cm	-2		
	2,300 - 1,000 ohm-cm	-3		
	< 1,000 ohm-cm	-4		
	4. HUMIDITY			
4	< 20%	0	X	0
	> 20%	-1		
	5. pH VALUE			
5	pH > 6	0	8.26	0
	pH < =6	-1		
	6. TOTAL ACIDITY TO pH = 7			
6	< 2.5 mEq/Kg	0	0	0
	2.5 - 5 mEq/Kg	-1		
	> 5 mEq/Kg	-2		
	REDOX POTENTIAL TO pH = 7			
7	mV / eH /			
	> 400 / > 27.8 / High Oxygen Contents	2		
	200 - 400 / 20.9 - 27.8 / With Oxygen	0		
	0 - 200 / 14.0 - 20.9 / Poor Oxygen	-2		
	< 0 / < 14.0	-4	-52.4	-4
	8. CONTENTS OF CALCIUM CARBONATE OR MAGNESUIM, TOTAL ALCALINITY TO pH = 4.8			
8	> 5% = > 50,000 mg/Kg	2		
	1-5% = 10,000 - 50,000 mg/Kg	1	13634	1
	< 1% = < 10,000 mg/Kg	0		
	Alcalinity to pH = 4.8			
	> 1,000 mEq/Kg	2		
	200 - 1,000 mEq/Kg	1		
	< 200 mEq/Kg	0		
	9. HYDROGEN SULPHIDE AND SULPHURS			
9	Not present	0		
	Low = < 0.5 mg/Kg de S=	-2		
	Present = > 0.5 mg/Kg de S=	-4		
	10. COKE OR CARBON CONTENTS			
10	Non Present	0	X	0
	Present	-4		
	11. CHLORIDE IONS			
11	< 100 mg/Kg	0		
	> 100 mg/Kg	-1	1971	-1
	12. SULPHATE IONS			
12	< 200 mg/kg	0		
	200 - 500 mg/kg	-1		
	500 - 1,000 mg/kg	-2		
	> 1,000 mg/kg	-3	1118	-3
		TOTAL		-6

PIPELINE :	
KILOMETER :	PK 64+ 00 LIMA Y CALLAO
COMMENTS :	CORROSIVE, SOIL TYPE III

ITEM	ANALYSIS			ADD	RESULTS	TOTAL
	1. SOIL TYPE					
1	Lima			2		
	calcareous clay					
	Sandy Clay (loess)					
	Sand				X	2
	Clay			0		
	Marga de Barro					
	Clay and Sand, mixed 75%					
	Sand with Clay					
	Clay			-2		
	Marga - Clay					
	Humus Soil					
	Turva Soil			-4		
	Silt					
	Marisma Soil					
	2. SOIL CONDITIONS					
2.1	Water at construction level, pipeline level			0		
	No Water			-1	X	-1
	Variable Level			-2		
2.2	Normal Soil (Natural)			0	X	0
	Mixed Soil			-2		
2.3	Uniform Soil at Construction Places			0	X	0
	Non Uniform soil at construction places			-3		
	3. RESISTIVITY - MILLER SOIL BOX					
3	>10,000 ohm-cm			0		
	10,000 - 5,000 ohm-cm			-1	7,300	-1
	5,000 - 2,300 ohm-cm			-2		
	2,300 - 1,000 ohm-cm			-3		
	< 1,000 ohm-cm			-4		
	4. HUMIDITY					
4	< 20%			0	X	0
	> 20%			-1		
	5. pH VALUE					
5	pH > 6			0	8.17	0
	pH < =6			-1		
	6. TOTAL ACIDITY TO pH = 7					
6	< 2.5 mEq/Kg			0	0	0
	2.5 - 5 mEq/Kg			-1		
	> 5 mEq/Kg			-2		
	REDOX POTENTIAL TO pH = 7					
7	mV	eH				
	> 400	> 27.9	High Oxygen Contents	2		
	200 - 400	20.9 - 27.9	With Oxygen	0		
	0 - 200	14.0 - 20.9	Poor Oxygen	-2		
	< 0	< 14.0		-4	49.3	-4
	8. CONTENTS OF CALCIUM CARBONATE OR MAGNESIUM, TOTAL ALCALINITY TO pH = 4.8					
8	> 5% = > 50,000 mg/Kg			2		
	1-5% = 10,000 - 50,000 mg/Kg			1	19338	1
	< 1% = < 10,000 mg/Kg			0		
	Alcalinity to pH = 4.8					
	> 1,000 mEq/Kg			2		
	200 - 1,000 mEq/Kg			1		
	< 200 mEq/Kg			0		
	9. HYDROGEN SULPHIDE AND SULPHURS					
9	Not present			0		
	Low = < 0.5 mg/Kg de S=			-2		
	Present = > 0.5 mg/Kg de S=			-4		
	10. COKE OR CARBON CONTENTS					
10	Non Present			0	X	0
	Present			-4		
	11. CHLORIDE IONS					
11	< 100 mg/Kg			0		
	> 100 mg/Kg			-1	12570	-1
	12. SULPHATE IONS					
12	< 200 mg/kg			0		
	200 - 500 mg/kg			-1		
	500 - 1,000 mg/kg			-2		
	> 1,000 mg/kg			-3	2550	-3
				TOTAL		-7

PIPELINE :	(RAMAL ETEVENSA)
KILOMETER :	PK 70+ 00 LIMA Y CALLAO
COMMENTS :	CORROSIVE, SOIL TYPE III

ITEM	ANALYSIS			ADD	RESULTS	TOTAL
	1. SOIL TYPE					
1	Lima			2		
	calcareous clay					
	Sandy Clay (loess)					
	Sand				X	2
	Clay			0		
	Marga de Barro					
	Clay and Sand, mixed 75%					
	Sand with Clay					
	Clay			-2		
	Marga - Clay					
	Humus Soil					
	Turva Soil			-4		
	Silt					
	Marisma Soil					
	2. SOIL CONDITIONS					
2.1	Water at construction level, pipeline level			0		
	No Water			-1	X	-1
	Variable Level			-2		
2.2	Normal Soil (Natural)			0	X	0
	Mixed Soil			-2		
2.3	Uniform Soil at Construction Places			0	X	0
	Non Uniform soil at construction places			-3		
	3. RESISTIVITY - MILLER SOIL BOX					
3	>10,000 ohm-cm			0	1,000,000	0
	10,000 - 5,000 ohm-cm			-1		
	5,000 - 2,300 ohm-cm			-2		
	2,300 - 1,000 ohm-cm			-3		
	< 1,000 ohm-cm			-4		
	4. HUMIDITY					
4	< 20%			0	X	0
	> 20%			-1		
	5. pH VALUE					
5	pH > 6			0	8.4	0
	pH < =6			-1		
	6. TOTAL ACIDITY TO pH = 7					
6	< 2.5 mEq/Kg			0	0	0
	2.5 - 5 mEq/Kg			-1		
	> 5 mEq/Kg			-2		
	REDOX POTENTIAL TO pH = 7					
7	mV	eH				
	> 400	> 27.9	High Oxygen Contents	2		
	200 - 400	20.9 - 27.9	With Oxygen	0		
	0 - 200	14.0 - 20.9	Poor Oxygen	-2		
	< 0	< 14.0		-4	-98	-4
	8. CONTENTS OF CALCIUM CARBONATE OR MAGNESIUM, TOTAL ALCALINITY TO pH = 4.8					
8	> 5% = > 50,000 mg/Kg			2		
	1-5% = 10,000 - 50,000 mg/Kg			1	14431	1
	< 1% = < 10,000 mg/Kg			0		
	Alcalinity to pH = 4.8					
	> 1,000 mEq/Kg			2		
	200 - 1,000 mEq/Kg			1		
	< 200 mEq/Kg			0		
	9. HYDROGEN SULPHIDE AND SULPHURS					
9	Not present			0		
	Low = < 0.5 mg/Kg de S=			-2		
	Present = > 0.5 mg/Kg de S=			-4		
	10. COKE OR CARBON CONTENTS					
10	Non Present			0	X	0
	Present			-4		
	11. CHLORIDE IONS					
11	< 100 mg/Kg			0		
	> 100 mg/Kg			-1	200	-1
	12. SULPHATE IONS					
12	< 200 mg/kg			0		
	200 - 500 mg/kg			-1		
	500 - 1,000 mg/kg			-2	726	-2
	> 1,000 mg/kg			-3		
				TOTAL		-5

ANEXO 2

RESISTIVIDAD GEOELECTRICA PARA EL LUGAR DE LAS CAMAS ENTERRADAS EN LURIN CITY GATE Y TERMINAL STATION

1. DESCRIPCION

Para establecer una profundidad de suelo práctica en la cual la resistividad más baja es alcanzable para la construcción de la cama anódica.

El set de datos fue recogido del 16 de junio al 17 de junio. Las localizaciones seleccionadas para la prueba fueron basadas en información disponible a la hora del examen.

Dos sitios fueron probados; la estación de Lurin y la estación terminal. El terreno del interés fue dividido en un marco como la manera que obtenía un arreglo de la matriz; cada cuadrado hace que aproximadamente un lado de 20 m véase el cuadro 1.

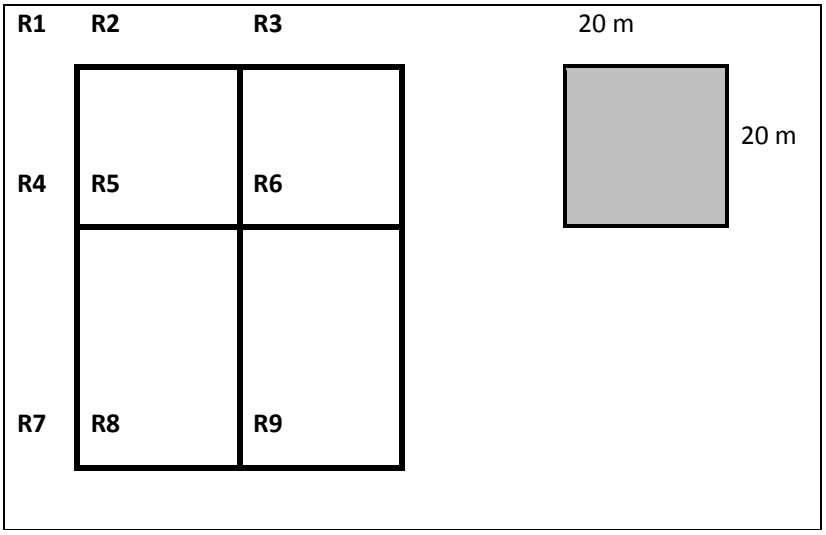


Figura 1. Esquema del arreglo de pruebas

La localización real de la estación no se encontraba segura inicialmente. De acuerdo con la información proveída por el constructor, la localización más probable era entre K 60+800 y K 61+200.

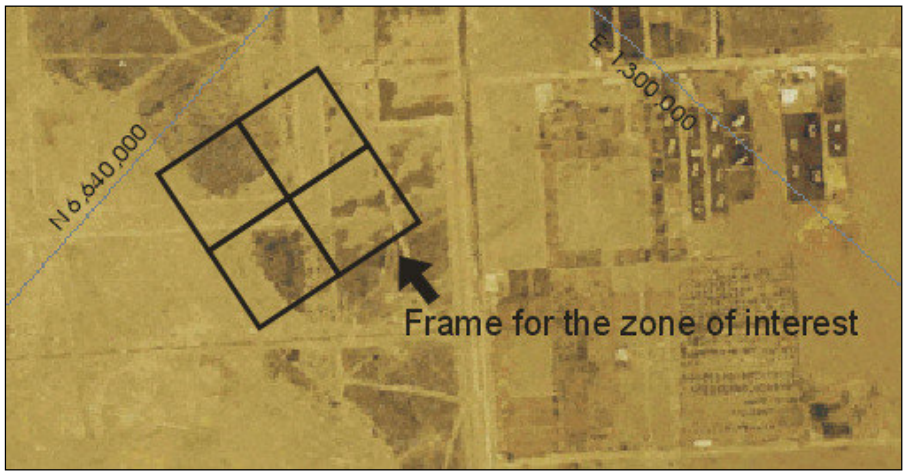


Figura 2. Vista aerea de un tipico arreglo de prueba

2. RESULTADOS

Nueve puntos, R1 a R9 véase el cuadro 1, fueron examinados; en cada punto, tres sistemas de resistencias fueron recogidos: profundidad de 2 m, de 4 m y de 6 m. Un total de 27 resistividades fue obtenidas que cubrían 1.546 metros cuadrados del sitio.

2.1 Lurin Station

Los datos obtenidos se presentan en la tabla 1.

La mayor parte de los datos no cumplieron los requisitos para un análisis de Barnes para la capa por resistencia de la capa. Sin embargo, la tendencia general de los estratos es que más profundo es la capa el más alto la resistividad.

SITE	GPS (UTM)				RESISTIVITY 2M, Ohm - cm			RESISTIVITY 4M, Ohm - cm			RESISTIVITY 6M, Ohm - cm		
					RESISTANCE		RESISTIVITY	RESISTANCE		RESISTIVITY	RESISTAN		RESISTIVITY
	NORTE		ESTE	ALTURA	A	B	2*PI*A*B*200	A	B	2*PI*A*B*400	A	B	2*PI*A*B*600
1	8,640,535	18	300,560		0.22	10	2,765	0.4	10	10,053	0.44	10	16,583
2	8,640,532	18	300,579		0.1	10	1,257	0.5	1	1,257	0.5	10	18,850
3	8,640,529	18	300,552		0.4	1	503	0.2	1	503	0.2	1	1,131
4	8,640,521	18	300,550		0.14	10	1,759	0.14	10	3,519	0.18	10	6,032
5	8,640,516	18	300,567		0.1	10	1,257	0.1	10	2,513	0.1	10	3,770
6	8,640,502	18	300,584		0.3	1	377	0.4	1	1,005	0.4	1	1,508
7	8,640,510	18	300,612		0.2	100	25,133	0.1	100	25,133	0.2	10	30,159
8	8,640,497	18	300,557		0.2	10	2,513	0.2	10	5,027	0.1	10	3,770
9	8,640,491	18	300,571		0.7	1	659	0.4	1	1,005	0.5	1	1,257

Tabla 1 Pruebas de Resistividad en Estación City Gate Lurín

Los puntos R2, R3 y R9 fueron tratados por el método de Barnes hasta 4 M. Los valores demostraron estratos homogéneos a partir de la 0 a 4 metros - a partir 500 a 1300 Ohmio-centímetros -, consideran la tabla 2. Los puntos R2 y R3 están de interés adicional puesto que la cama del ánodo será construida en esta zona. Ver el anexo 2 Resistividad Estacion Lurin.

Los datos en el punto R7 también fueron analizados. Este punto demostró dos características; primero tiene valores más altos de resistividad -25.133 Ohm-cm y demuestra en segundo lugar un aumento marcado en resistencia en la capa -25.133 Ohm-cm. - 50.225 Ohm-cm. de 4 - 6 m - . Este comportamiento implica que la primera capa 0-4 m cubre una cama de roca sólida.

	Resistance Ohms			Conductance Mhos			Layer Conductance Mhos			Layer Resistance Ohms			Layer Resistivity Ohm-cm		
Sample	2 m	4 m	6 m	2 m	4 m	6 m	0-2 m	2-4 m	4-6 m	0-2 m	2-4 m	4-6 m	0-2 m	2-4 m	4-6 m
1	2.20	4.00	4.40	0.45	0.25	0.23	0.45	-	-	2.20	-	-	2,765	-	-
2	1.00	0.50	5.00	1.00	2.00	0.20	1.00	1.00	-	1.00	1.00	-	1,257	1,257	-
3	0.40	0.20	0.30	2.50	5.00	3.33	2.50	2.50	-	0.40	0.40	-	503	503	-
4	1.40	1.40	1.00	0.71	0.71	0.00	0.71	-	-	1.40	-	-	1,759	-	-
5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	-	1.00	-	-	1,257	-	-
6	0.30	0.40	0.40	3.33	2.50	2.50	3.33	-	-	0.30	-	-	377	-	-
7	20.00	10.00	8.00	0.05	0.10	0.13	0.05	0.05	0.03	20.00	20.00	40.00	25,133	25,133	50,265
8	2.00	2.00	1.00	0.50	0.50	1.00	0.50	-	-	2.00	-	-	2,513	-	-
9	0.70	0.40	0.50	1.43	2.50	2.00	1.43	1.07	-	0.70	0.93	-	880	1,173	-

Tabla 2 Análisis De Barnes En City Gate Lurin

Según las indicaciones del anexo Resistividad Estación City Gate Lurin la zona R2-R3-R6-R5-R2 guarda los valores más bajos de resistividad del área examinada incluso en profundidad de 6 m. Esto hace el área favorable para la construcción de la cama anódica. Véase la Figura 3.

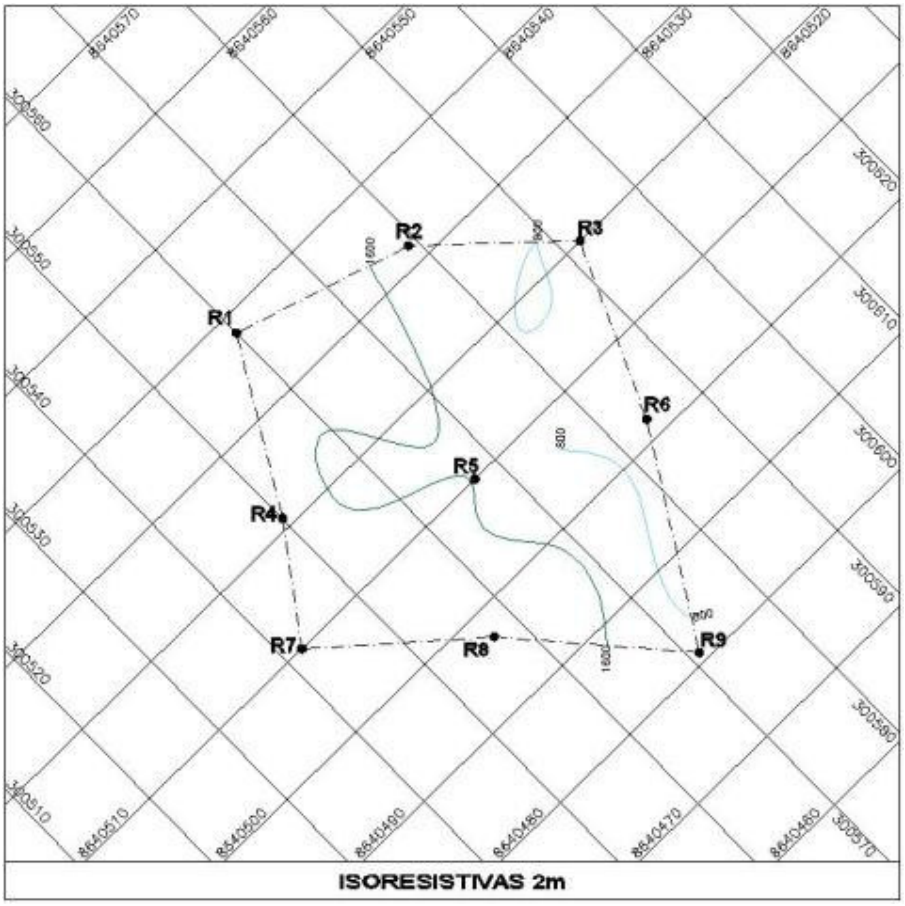


Figura 3. Isoresistividad a 2 m en City Gate Lurin, Ohm cm

Desde un punto de vista de requisito de energía y construcción el estrato de 0-2m es la más apropiada para instalar la cama anódica. **La resistencia que se empleará en el diseño es la más alta de a una profundidad de 0 - 2 m siendo 25.133 Ohmio-centímetros.** La superficie se

clasifica como arena la que demuestra un comportamiento muy homogéneo por lo que esta se caracteríza.

2.2 Terminal Station

Los datos obtenidos se presentan en la tabla 3. Para las dos primeras capas, 0-2 m y 2-4 m, la mayor parte de los datos cupieron los requisitos para un análisis de Barnes. La tendencia general de los estratos es que a más profundidad de terreno es más alta la resistencia.

SITE	GPS (UTM)				RESISTIVITY 2M, Ohm - cm			RESISTIVITY 4M, Ohm - cm			RESISTIVITY 6M, Ohm - cm		
					RESISTAN		RESISTIVITY	RESISTAN		RESISTIVITY	RESISTAN		RESISTIVITY
	NORTE		ESTE	ALTURA	A	B	2*PI*A*B*200	A	B	2*PI*A*B*400	A	B	2*PI*A*B*600
1	8,673,488	18	268,004	21	0.22	10	2,765	0.19	10	4,775	0.14	10	5,278
2	8,673,467	18	268 502	22	0.5	10	6,283	0.28	10	7,037	0.28	10	10,556
3	8,673,447	18	268,493	22	0.24	10	3,016	0.2	10	5,027	0.21	10	7,917
4	8,673,484	18	268,488	23	0.22	10	2,765	0.14	10	3,519	0.18	10	6,786
5	8,673,461	18	268,489	23	0.26	10	3,267	0.2	10	5,027	0.22	10	8,294
6	8,673,443	18	268,480	24	0.4	10	5,027	0.3	10	7,540	0.26	10	9,802
7	8,673,479	18	268,469	22	0.2	10	2,513	0.18	10	4,524	0.3	10	7,049
8	8,673,457	18	268,471	21	0.2	10	2,513	0.22	10	5,529	0.18	10	6,786
9	8,673,439	18	268,472	25	0.2	10	2,513	0.18	10	4,524	0.22	10	8,294

Tabla 3 Resistividad de prueba en Terminal Station

Los puntos R1 R7 y R9 fueron cuidadadosamente tratados por el método Barnes hasta 4 M. Los valores demostraron estratos homogéneos a partir de 0 a 2 metros - a partir de 2500 a 6300 Ohm-cm -, considerado en la tabla 4. Señala R7, R8 y R9 están de interés adicional puesto que la cama del ánodo será construida en esta zona. Ver el anexo Resitividad Terminal Station

	Resistance Ohms			Conductance Mhos			Layer Conductance Mhos			Layer Resistance Ohms			Layer Resistivity Ohm-cm		
Sample	2 m	4 m	6 m	2 m	4 m	6 m	0-2 m	2-4 m	4-6 m	0-2 m	2-4 m	4-6 m	0-2 m	2-4 m	4-6 m
1	2.20	1.90	1.40	0.45	0.53	0.71	0.45	0.07	0.19	2.20	13.93	5.32	2,765	17,509	6,685
2	5.00	2.80	2.60	0.20	0.36	0.38	0.20	0.16	-	5.00	6.26	-	6,283	7,867	-
3	2.40	2.00	2.10	0.42	0.50	0.48	0.42	0.08	-	2.40	12.00	-	3,016	15,080	-
4	2.20	1.40	1.80	0.45	0.71	0.56	0.45	0.26	-	2.20	3.85	-	2,765	4,838	-
5	2.60	2.00	2.20	0.38	0.50	0.45	0.38	0.12	-	2.60	8.67	-	3,267	10,891	-
6	4.00	3.00	2.60	0.25	0.33	0.38	0.25	0.08	0.05	4.00	12.00	19.50	5,027	16,080	24,504
7	2.00	1.90	2.00	0.50	0.56	0.50	0.50	0.06	-	2.00	18.00	-	2,513	22,618	-
8	2.00	2.20	1.60	0.50	0.45	0.56	0.50	-	-	2.00		-	2,513	-	-
9	2.00	1.80	2.20	0.50	0.56	0.45	0.50	0.06	-	2.00	18.00	-	2,513	22,619	-

Tabla 4 Analisis Barnes En Terminal Station

Es sensible que debajo de la primera capa es menos conductivo. Además, las capas 0-2 m y 2-4 m son paralelas a la superficie.

Según las indicaciones de resistividad Terminal Station el área examinada exhibe un valor relativamente homogéneo de resistividad a los 2m. Véase el cuadro 4.

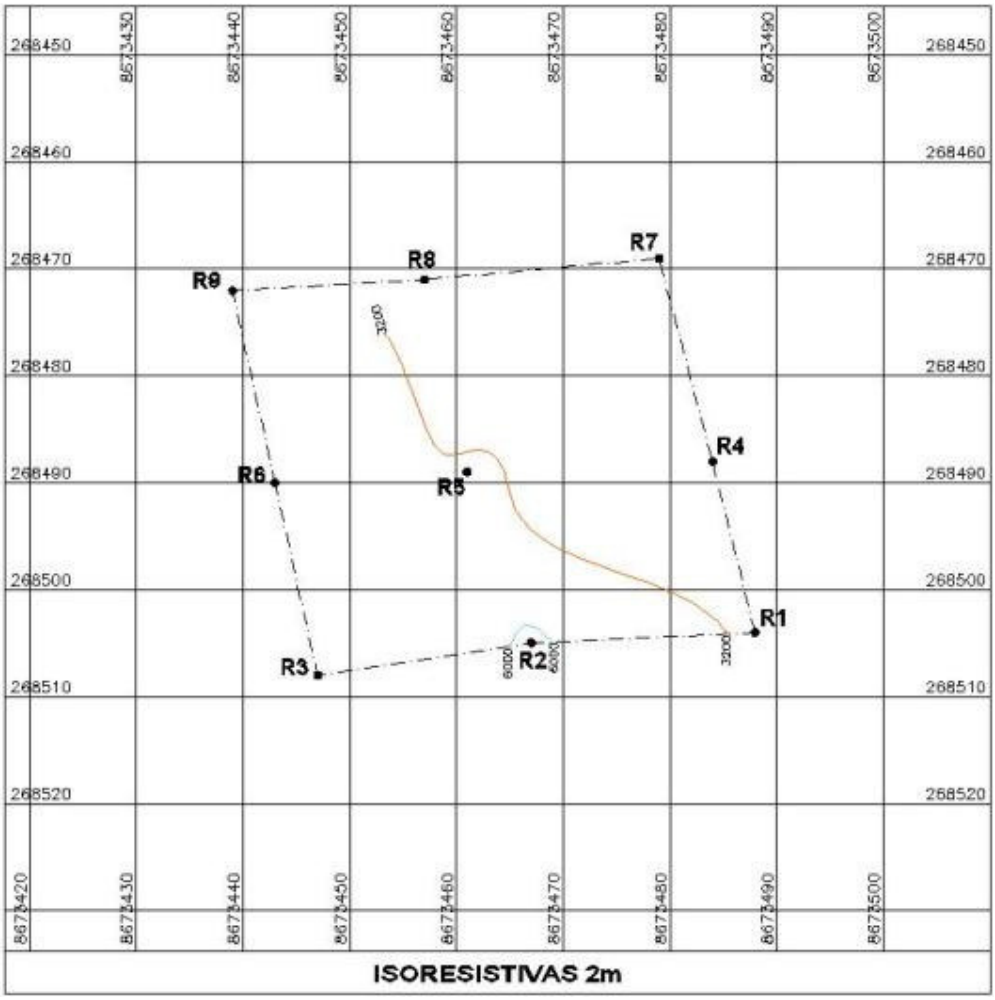


Figura 4. Isoresitividad a 2 m en Terminal Station, Ohm-cm

Desde un punto de vista del requisito de construcción y de energía la capa 0-2m es la más apropiada para poner la cama anódica.

El suelo superior se clasifica como arena que demuestra un comportamiento muy homogéneo que es característica.

Una nueva prueba de la resistencia fue realizada el 22 de agosto - 2003 en el sitio definido para la construcción del Terminal Station. El objetivo era medir la resistencia del área en la cual la cama del ánodo finalmente será construida. Debajo de los resultados:

	Resistance Ohms			Conductance Mhos			Layer Conductance Mhos			Layer Resistance Ohms			Layer Resistivity Ohm-cm		
Sample	2 m	4 m	6 m	2 m	4 m	6 m	0-2 m	2-4 m	4-6 m	0-2 m	2-4 m	4-6 m	0-2 m	2-4 m	4-6 m
1	5.40	3.00	-	0.19	0.33	-	0.19	0.15	-	5.40	6.75	-	6,786	8,482	-
2	8.00	5.40	-	0.13	0.19	-	0.13	0.06	-	8.00	16.62	-	10,053	20,880	-

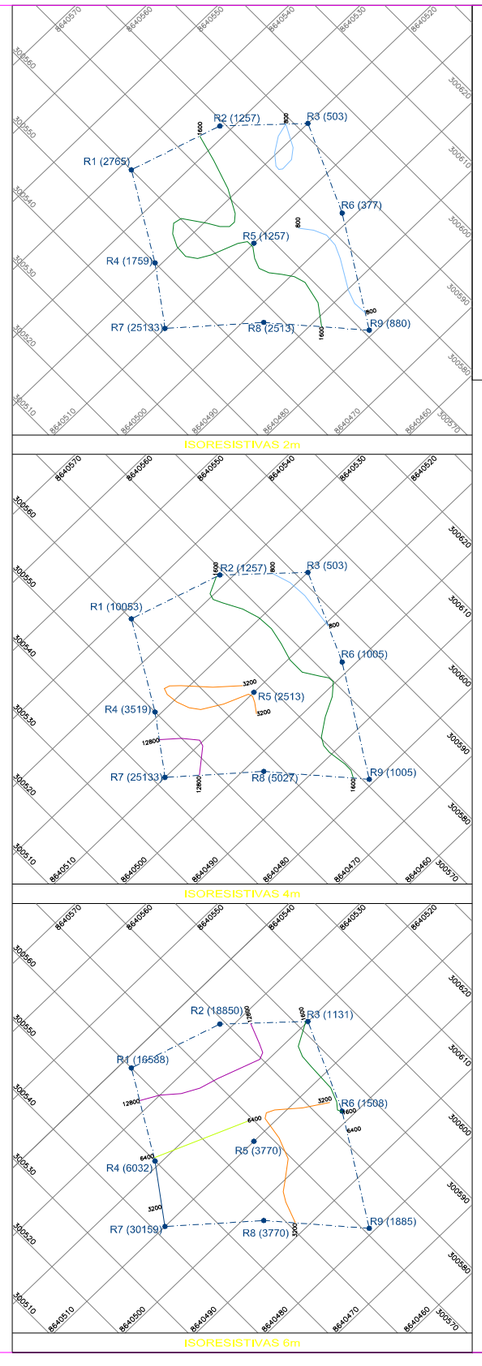
Tabla 6 Análisis Barnes en Terminal Station (Sitio Definido)

Desde un punto de vista del requisito de construcción y de energía la capa los 0-2m es la más apropiada para poner de la cama del ánodo. La resistencia de la blanco que se empleará en el diseño es la más alta de la capa de 0 - 2 m 10.053 Ohm-cm.

Tabla 7. Datos Preliminares en la Zona del Terminal Station

RESISTIVITY							
FORMA CP-001							**Rev 0.**
ITEM	**KILOMETER**	**RESISTANCE (Ohm)**		**S**	**(cm)**	**RESISTIVITY (Ohm-cm) 2*PI*S*R**	**COMMENTS**
		A	**B**	**100**	**200**	**2*Pi*S*(A*B)**	
1	N: 8673366 E:18- 268507	0.36	10	-	200	**4,524**	Frente a terrenos de "El Arenado". A diez metros de la Gambeta
2	N: 8673477 E:18- 268473	0.52	10	-	200	**6,535**	Dentro de terrenos de Humberto Montoya. A 100 m de la Avda Gambeta.
3	N: 8673458 E:18- 268471	0.32	10	-	200	**4,021**	Dentro de terrenos de Humberto Montoya. A cien metros de la Gambeta
4	N: 8673501 E:18- 268481	0.5	10	-	200	**6,283**	Dentro de terrenos de Juana Orihuela. Chacra Uno. A cien metros de la Gambeta
5	N: 8673568 E:18- 268457	0.84	10	-	200	**10,556**	Dentro de terrenos de Juana Orihuela. Chacra Dos. A cien metros de la Gambeta
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
	NOTES:	Barrido en zona de posible contrucción de la Estación terminal Av Gambeta.K 60+850. Junio 9 2003					
		Pi= 3.1416					
		S= pins spacing centimeters.					

A-1 PLOT 1/500





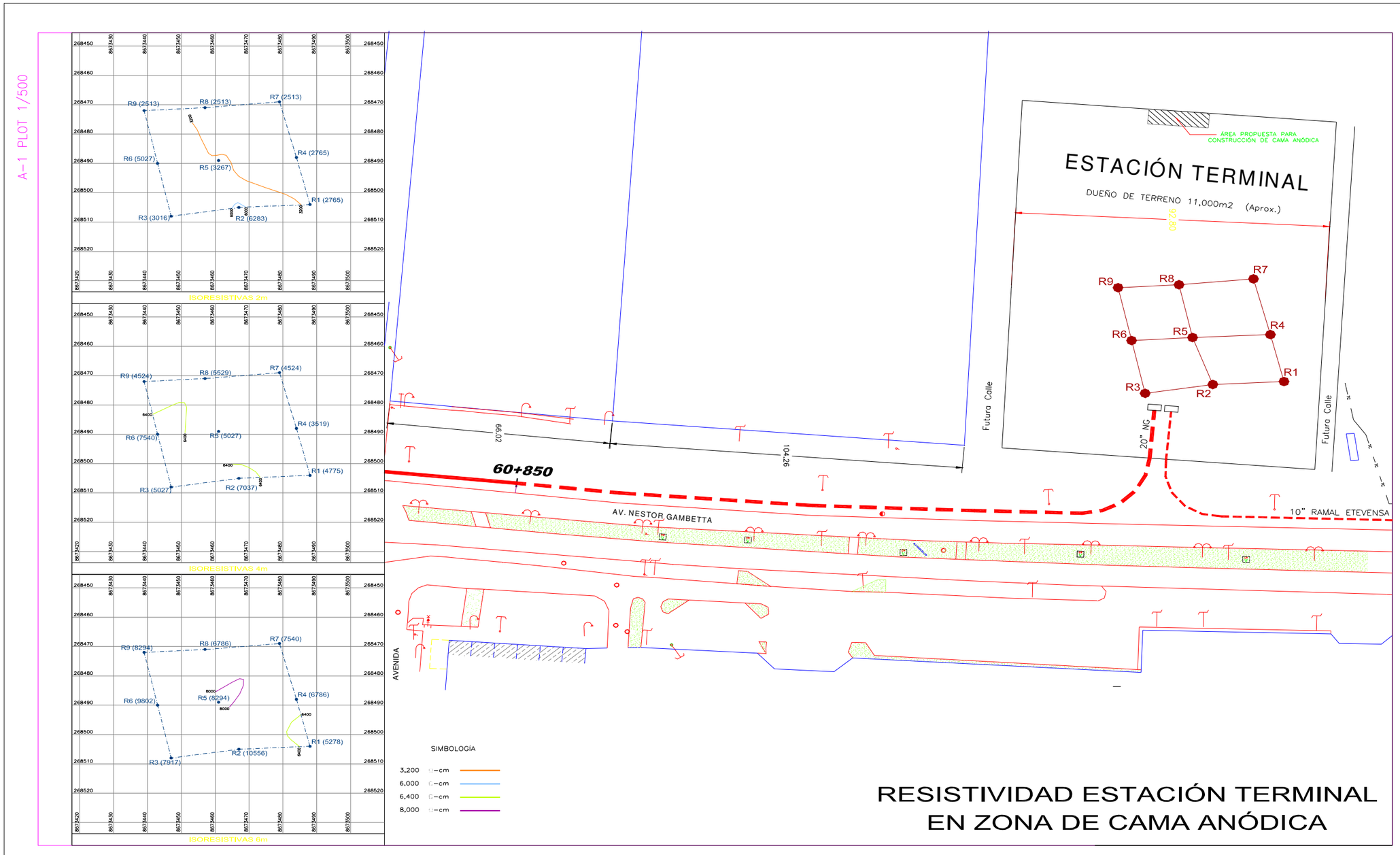
PLANTA LURÍN
ESC 1:5000

PUNTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS R1-R9 EN ZONA DE CAMA ANÓDICA
(ESC. 1:2000)

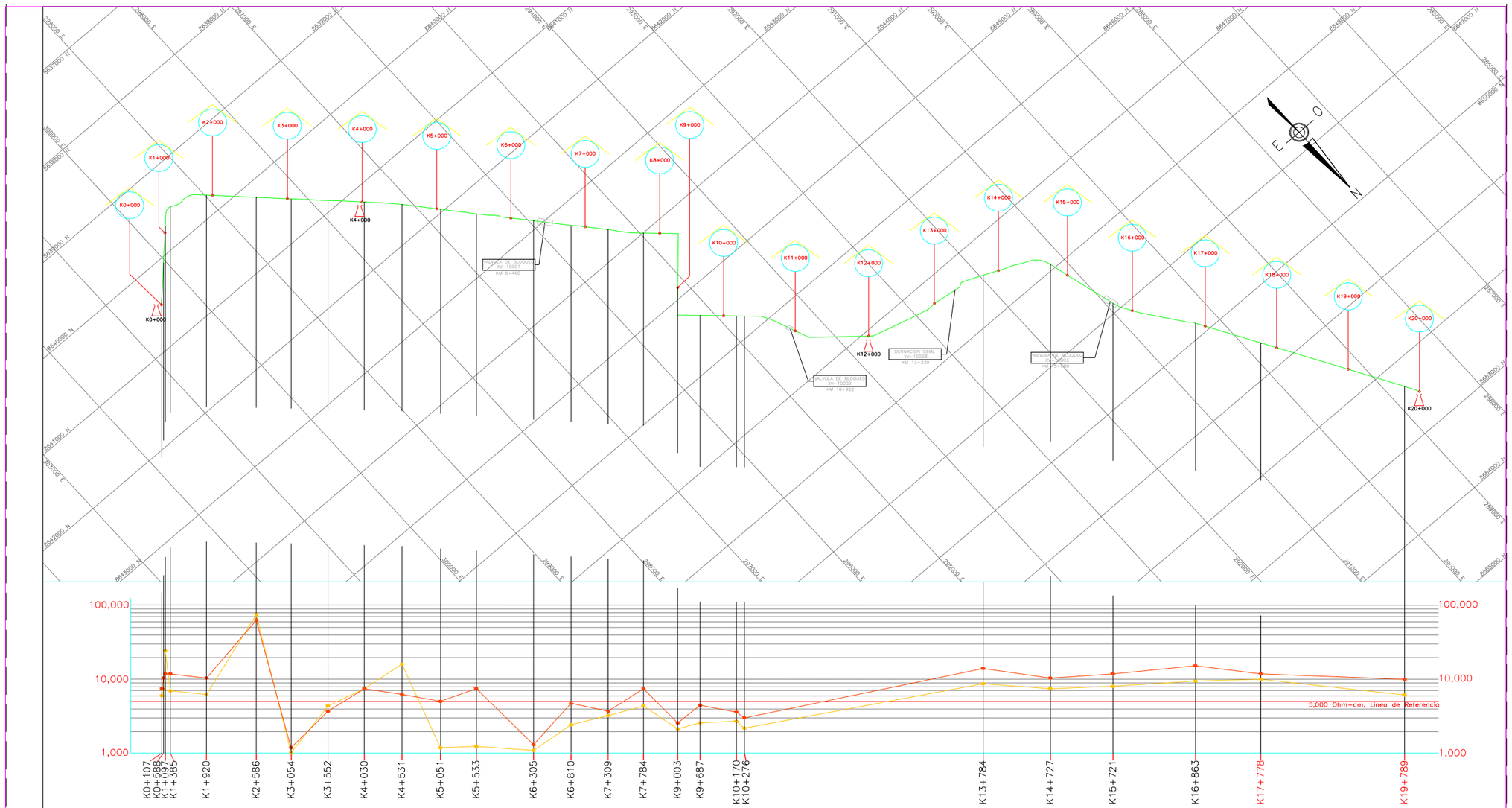
SIMBOLOGÍA

800 Ω-cm	
1,600 Ω-cm	
3,200 Ω-cm	
6,400 Ω-cm	
12,800 Ω-cm	

RESISTIVIDAD ESTACIÓN LURIN EN ZONA DE CAMA ANÓDICA



ANEXO 3 PLANOS DE RESISTIVIDAD DE LA TUBERÍA DE GAS



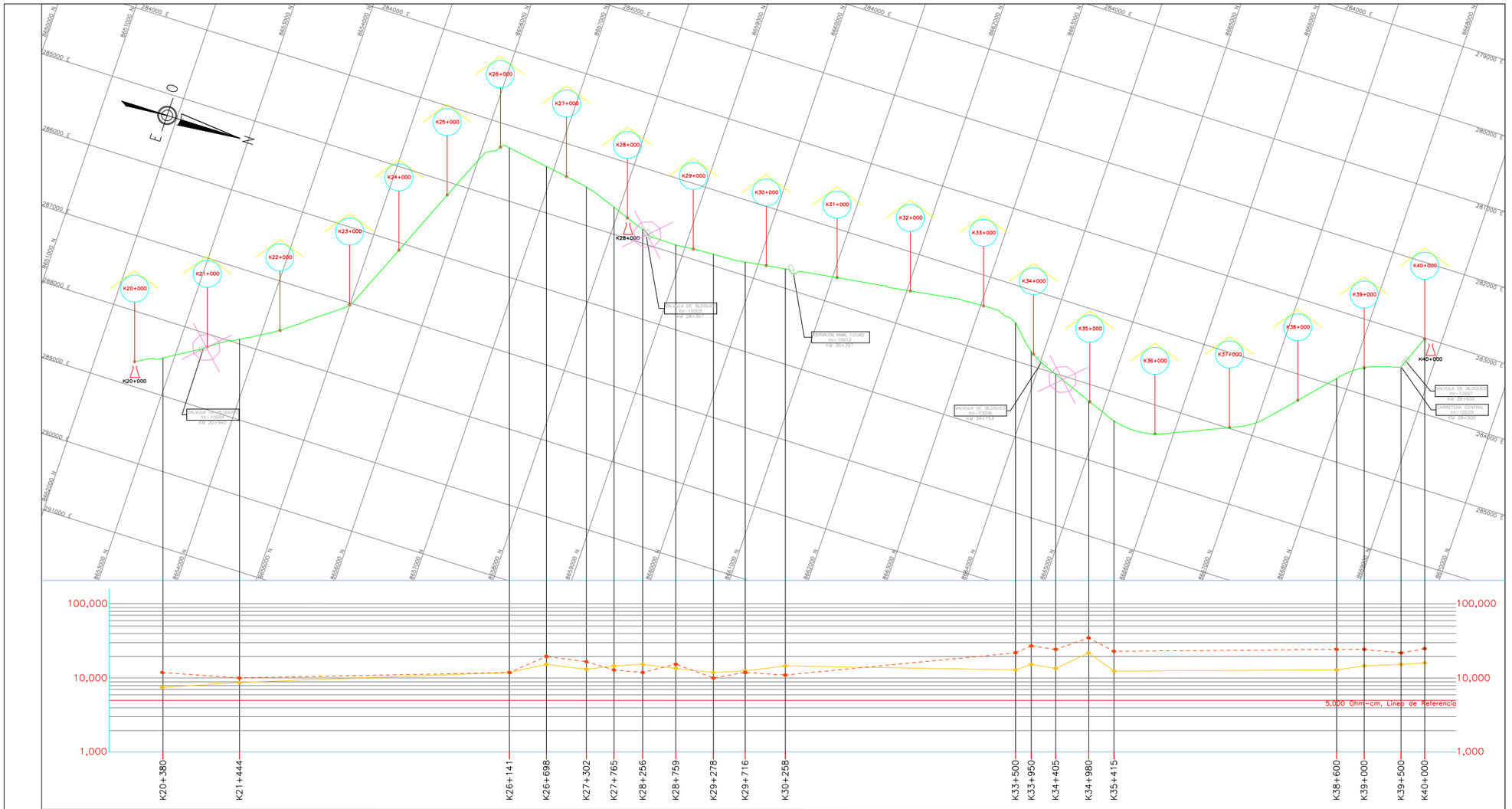
CLASIFICACIÓN DE RESISTIVIDAD DE SUELOS

RANGO DE RESISTIVIDAD Ohm-cm	CLASIFICACIÓN	CORROSIVIDAD
0 - 1,000	MUY BAJA	Extremadamente Corrosivo
1,000 - 5,000	BAJA	Usualmente muy Corrosivo
5,000 - 10,000	MEDIA	Frecuentemente Corrosivo
10,000 - 25,000	ALTA	Raramente Corrosivo
25,000 - 100,000	MUY ALTA	Raramente Corrosivo a menos que esté mezclado
Más de 100,000	EXTREMADAMENTE ALTA	No corrosivo a menos que esté mezclado

PERFIL DE RESISTIVIDADES
K00+000 - K20+000

CONVENCIONES

- VALVULA DE BLOQUEO
- RECTIFICADOR
- UNIDAD DE MONITOREO
- MUESTRA DE TIERRA
- PERFIL DE RESISTIVIDAD A 1m.
- PERFIL DE RESISTIVIDAD A 2m.
- TUBERIA 20"
- CRUCE DE VIAS
- RIO
- ABCISADO (K31+000)
- POSTE DE POTENCIAL (K20+00)



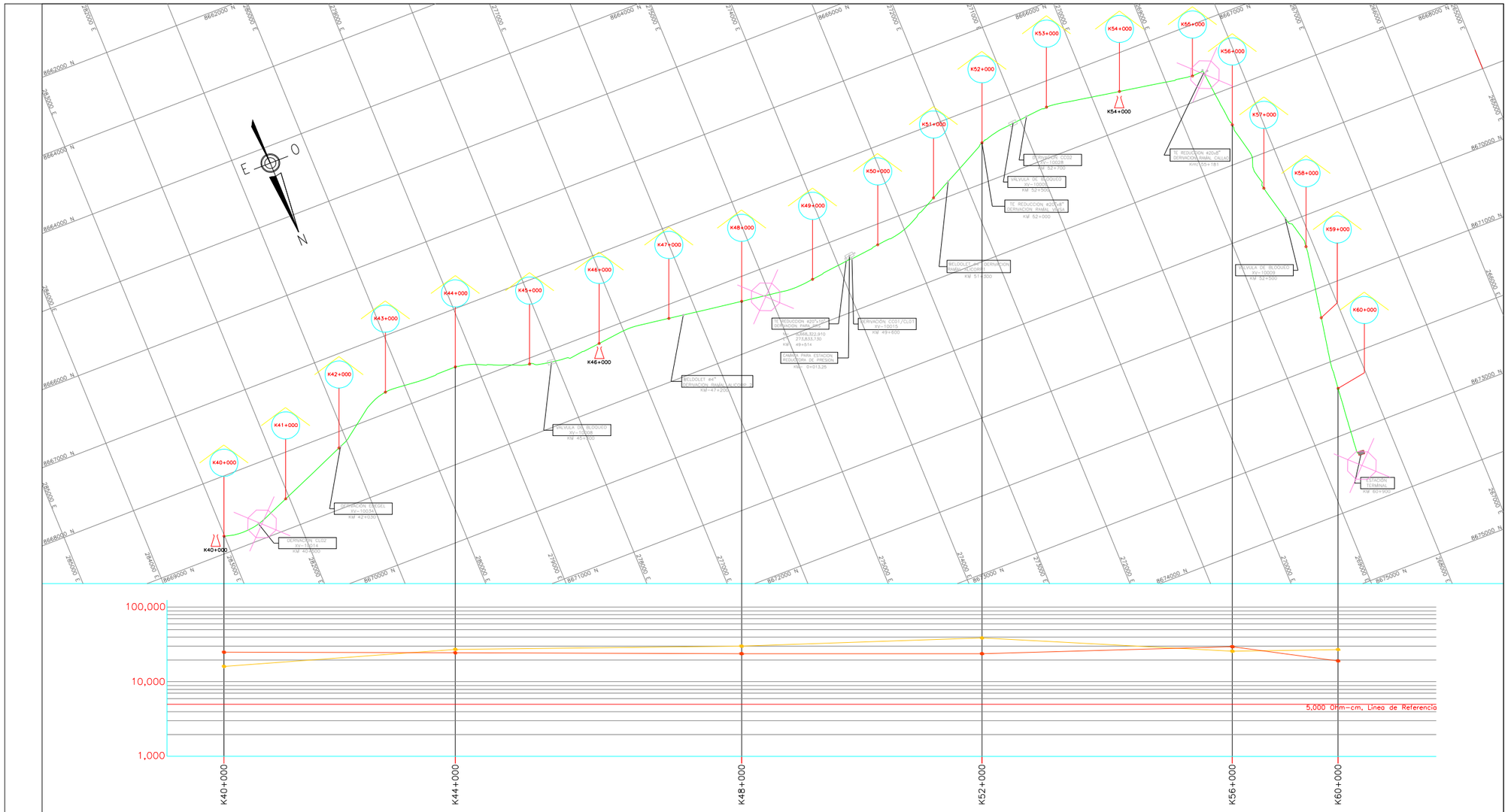
CLASIFICACIÓN DE RESISTIVIDAD DE SUELOS

RANGO DE RESISTIVIDAD Ohm-cm	CLASIFICACIÓN	CORROSIVIDAD
0 – 1,000	MUY BAJA	Extremadamente Corrosivo
1,000 – 5,000	BAJA	Usualmente muy Corrosivo
5,000 – 10,000	MEDIA	Frecuentemente Corrosivo
10,000 – 25,000	ALTA	Raramente Corrosivo
25,000 – 100,000	MUY ALTA	Raramente Corrosivo a menos que esté mezclado
Más de 100,000	EXTREMADAMENTE ALTA	No corrosivo a menos que esté mezclado

PERFIL DE RESISTIVIDADES
K 20+000 – K 40+000

C O N V E N C I O N E S

- VALVULA DE BLOQUEO
- RECTIFICADOR
- UNIDAD DE MONITOREO
- MUESTRA DE TIERRA
- PERFIL DE RESISTIVIDAD A 1m.
- PERFIL DE RESISTIVIDAD A 2m.
- TUBERIA 20"
- CRUCE DE VIAS
- RIO
- ABCISADO
- POSTE DE POTENCIAL



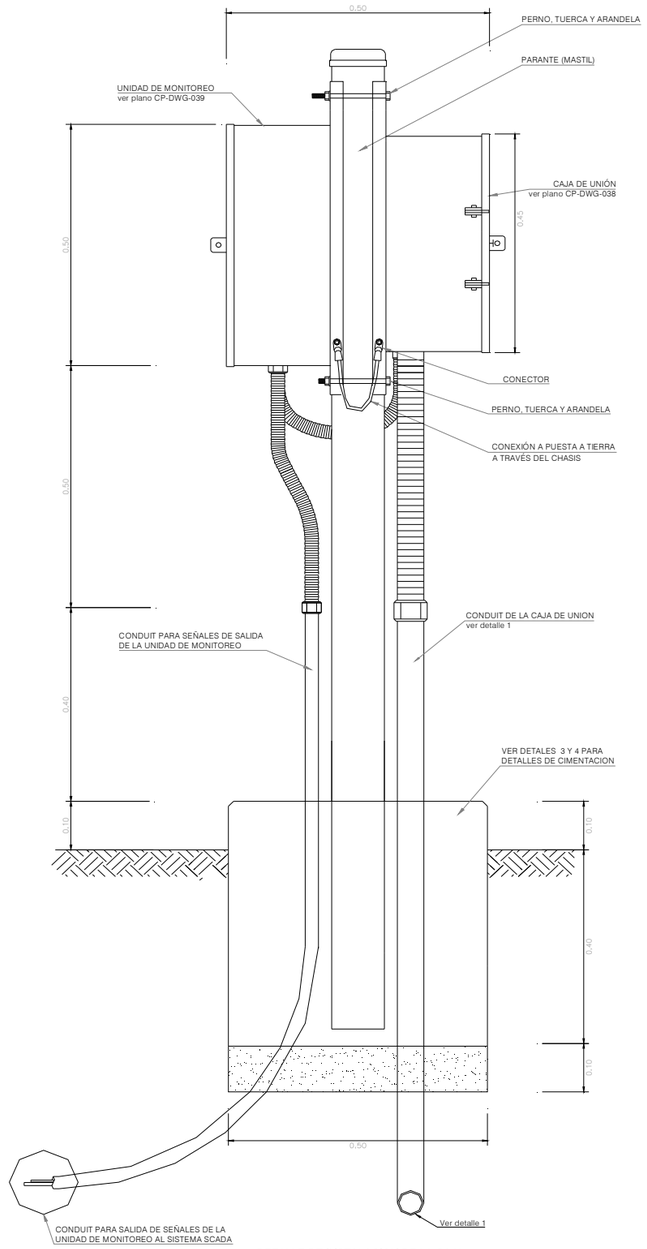
CLASIFICACIÓN DE RESISTIVIDAD DE SUELOS

RANGO DE RESISTIVIDAD Ohm-cm	CLASIFICACIÓN	CORROSIVIDAD
0 – 1,000	MUY BAJA	Extremadamente Corrosivo
1,000 – 5,000	BAJA	Usualmente muy Corrosivo
5,000 – 10,000	MEDIA	Frecuentemente Corrosivo
10,000 – 25,000	ALTA	Raramente Corrosivo
25,000 – 100,000	MUY ALTA	Raramente Corrosivo a menos que esté mezclado
Más de 100,000	EXTREMADAMENTE ALTA	No corrosivo a menos que esté mezclado

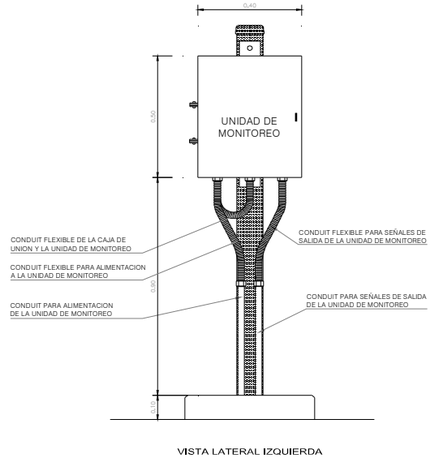
PERFIL DE RESISTIVIDADES
K 40+000 – K 60+900

C O N V E N C I O N E S

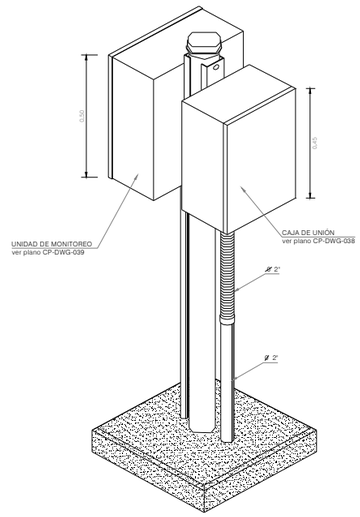
- VALVULA DE BLOQUEO
- R RECTIFICADOR
- M UNIDAD DE MONITOREO
- MUESTRA DE TIERRA
- PERFIL DE RESISTIVIDAD A 1m.
- PERFIL DE RESISTIVIDAD A 2m.
- TUBERIA 20"
- CRUCE DE VIAS
- RIO
- K31+000 ABCISADO
- 30+00 POSTE DE POTENCIAL



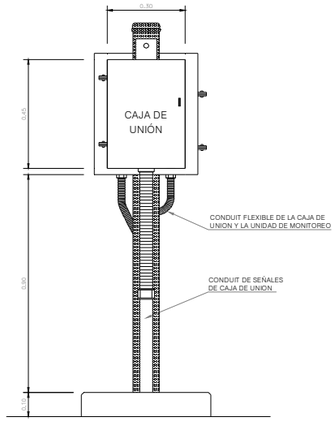
DETALLE DE INSTALACION DE LA CAJA
DE UNION Y LA UNIDAD DE MONITOREO



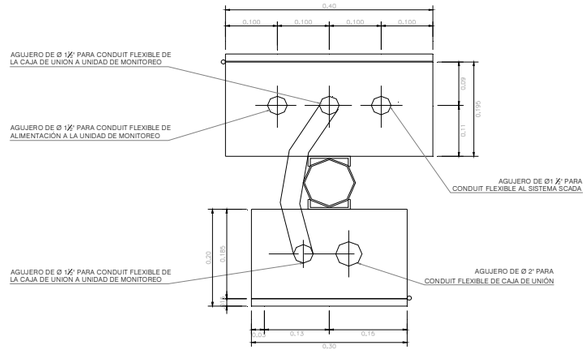
VISTA LATERAL IZQUIERDA



ISOMETRIA



VISTA LATERAL DERECHA

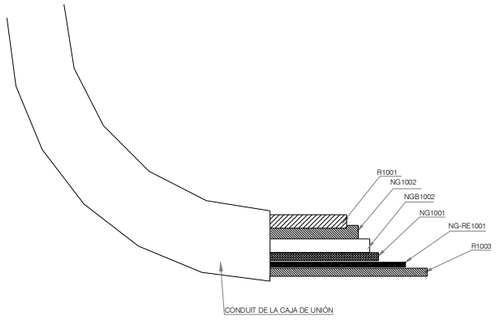


VISTA INFERIOR

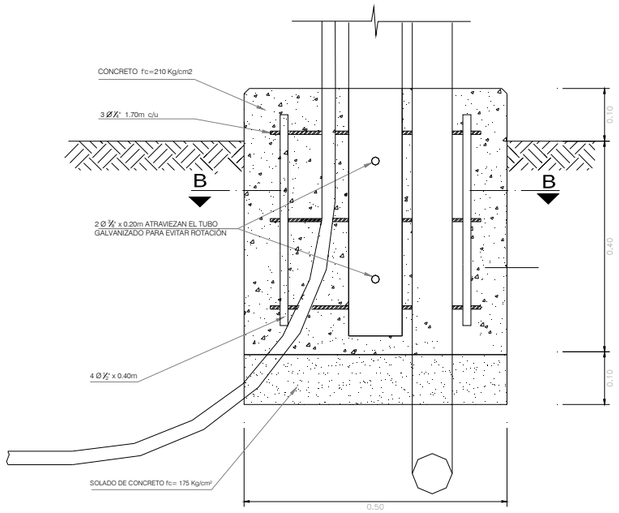
NOTAS

1. TODAS LAS DIMENSIONES EN METROS EXCEPTO LAS INDICADAS.
2. ACERO PARA REFUERZO 60,000 PSI.
3. LOS CABLES ENTERRADOS DEBERÁN ESTAR DE 70 A 1m DE LA SUPERFICIE.
4. COLOCAR UNA CINTA AMARILLA DE PELIGRO EN TODO EL RECORRIDO DE LOS CABLES A 20cm DE LA SUPERFICIE.

A-1 PLU 1/5

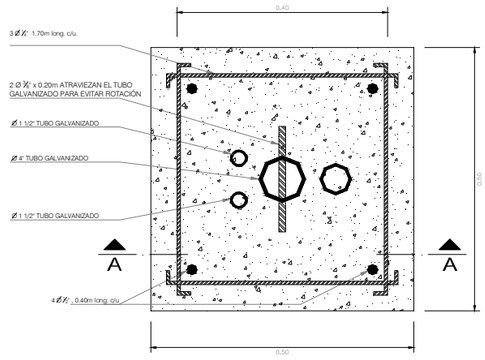


DETALLE 1
DISTRIBUCIÓN DE CABLES DE LA CAJA DE UNIÓN

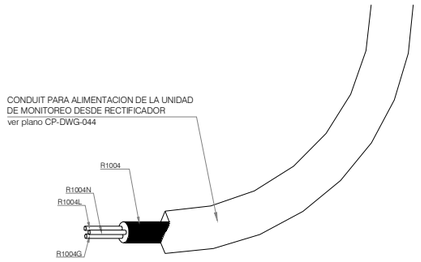


DETALLE 3
CIMENTACIÓN SECCION A-A

ESCALA 1:5



DETALLE 4
CIMENTACION UNIDAD DE MONITOREO Y CAJA DE UNION
SECTION B-B
ESCALA 1:5



DETALLE 2
CONDUIT PARA ALIMENTACIÓN DE UNIDAD DE MONITOREO

NOTAS
1. TODAS LAS DIMENSIONES EN METROS EXCEPTO LAS INDICADAS. 2. ACERO PARA REFUERZO 60,000 PSI. 3. LOS CABLES ENTERRADOS DEBERÁN ESTAR DE 70 A 1m DE LA SUPERFICIE. 4. COLOCAR UNA CINTA AMARILLA DE PELIGRO EN TODO EL RECORRIDO DE LOS CABLES A 20cm DE LA SUPERFICIE.

TABLA 1. SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA N°1

ITEM	UBICACIÓN	LONGITUD (m)	DIAMETRO (pulg)	COMENTARIOS
1	K 0+000 to K 39+600	38,600	20 "	Línea Principal de Gas de Lurín a XV 10007
2	K 0+000 to K 0+125	125	4 "	Ramal a Cerámica San Lorenzo (Ánodos de sacrificio)

TABLA 2. SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA N°2

ITEM	UBICACIÓN	LONGITUD (m)	DIAMETRO (pulg)	COMENTARIOS
1	K 39+600 to K 60+900	21,300	20"	Desde XV 10007 a Estación Terminal, variante 20"
2	Terminal Station to K 4+550	4,550	10"	Ramal ETEVENSA hasta Reducción 10" x 8"
3	K 4+550 to K 8+400	3,850	8"	Ramal desde Reducción hasta ETEVENSA
4	K 0+000 to K 414	414	4"	Ramal ALICORP 01
5	K 0+000 to K 4+048	4,048	6"	Ramal CERÁMICA LIMA (CL1)
6	K 0+000 to K 4+830	4,830	4",6",8"	Ramales: CORPORACIÓN CERÁMICA 01 (CC01) CERÁMICA LIMA (CL2)
7	K 0+000 to K 2+396	2,396	8"	Ramal a VIDRIOS NACIONALES S.A 02

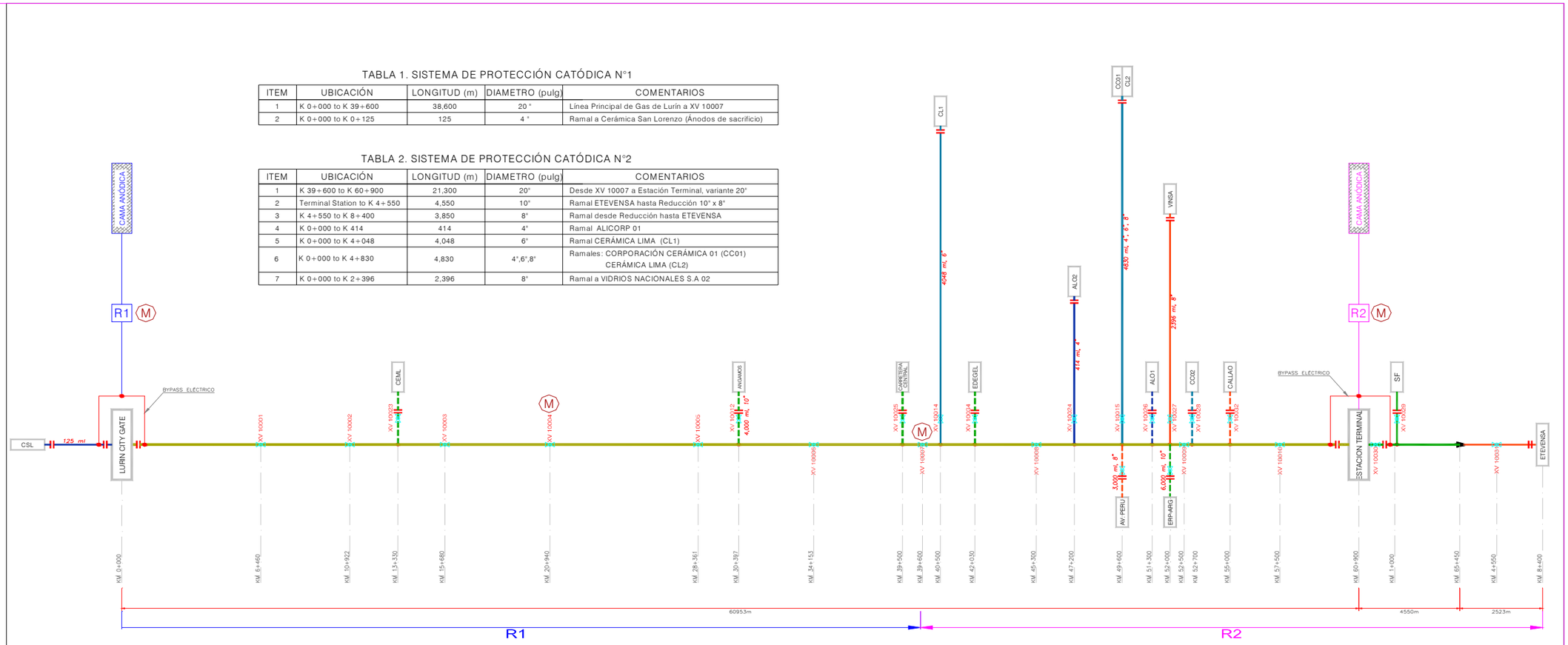


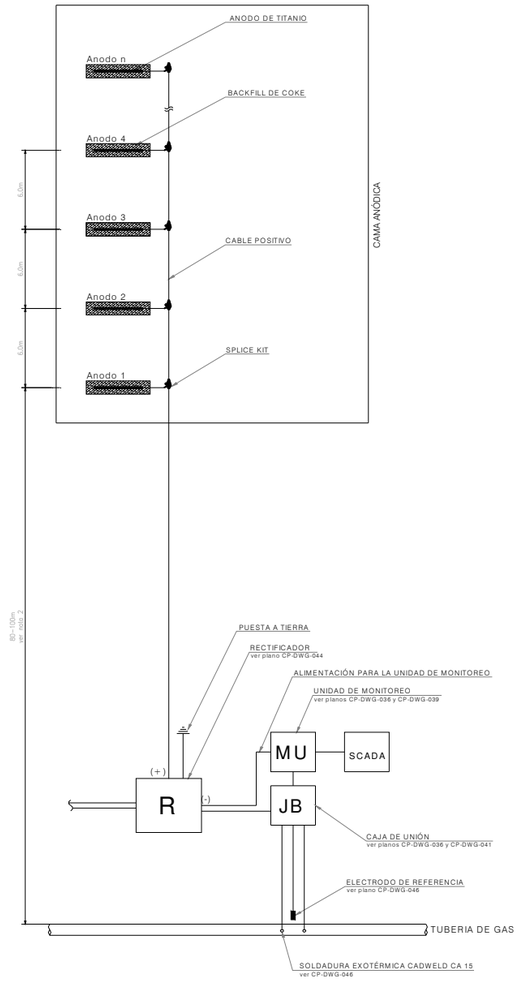
TABLA 3. FUTUROS RAMALES

ITEM	UBICACIÓN	LONGITUD(m)	DIAMETRO (pulg)	COMENTARIOS
1	K 13+330	3,500	10"	Ramal Cementos Lima
2	K 30+397	4,000	10"	Ramal Angamos
3	K 39+500	10,000	10"	Ramal Carretera Central
4	K 42+030	20	10"	Ramal EDEGEL
5	K 51+300	20	4"	Ramal Alicorp 01
6	K 52+000	6,000	10" / 8"	Ramal ERP
7	K 52+700	20	4"	Ramal a Corporación Cerámica 02
8	K 55+000	2,000	8"	Ramal Callao, longitud aproximada)

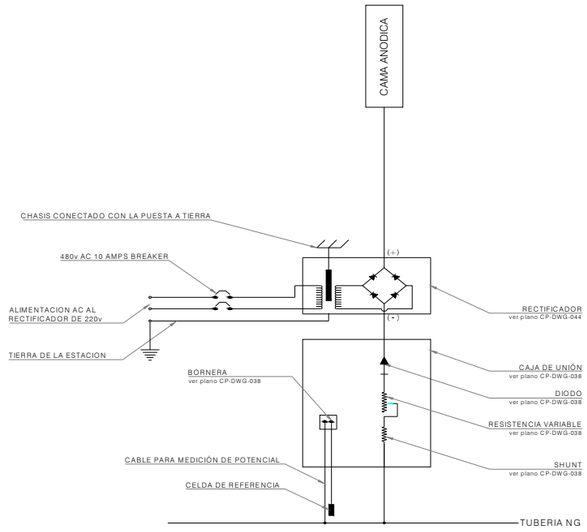
SIMBOLOGÍA

CSL	CERÁMICA SAN LORENZO	AL01	ALICORP 01		TUBERIA DE 20"
CEML	CEMENTOS LIMA	AL02	ALICORP 02		TUBERIA DE 10"
CL1	CERAMICA LIMA 01	SF	SUDAMERICANA DE FIBRAS		TUBERIA DE 8"
CL2	CERAMICA LIMA 02	=	AISLAMIENTO ELECTRICO REQUERIDO (inst en valvula) POR GNLC		TUBERIA DE 6"
CC01	CORPORACIÓN CERÁMICA 01		VÁLVULA DE BLOQUEO		TUBERIA DE 4"
CC02	CORPORACIÓN CERÁMICA 02	M	UNIDAD DE MONITOREO REMOTO DE PROTECCION CATODICA	R	RECTIFICADOR
ERP-ARG	ERP–AV ARGENTINA AL SUR				

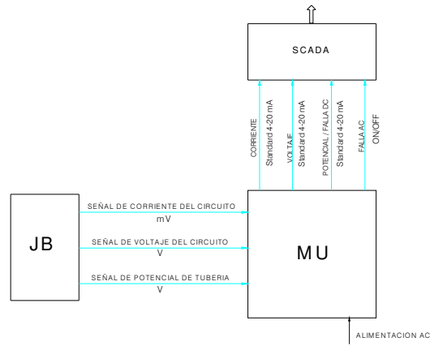
A-1 PLOT 1/100



ESQUEMA DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA
EN ESTACIONES

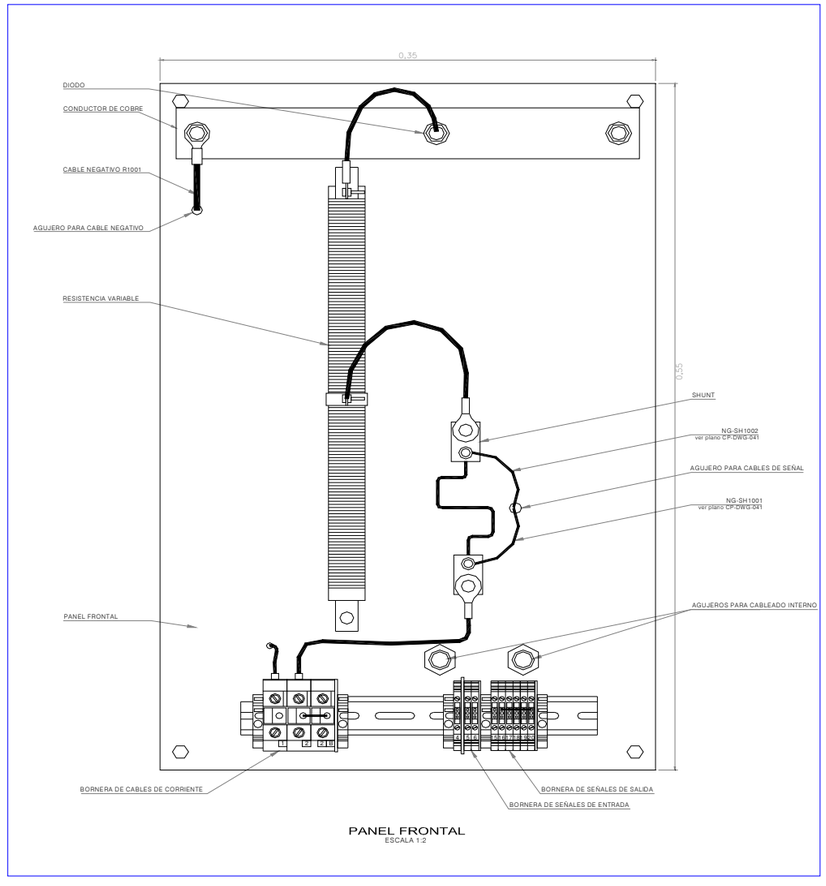


ESQUEMA ELÉCTRICO DE PROTECCIÓN CATÓDICA
CON RECTIFICADOR

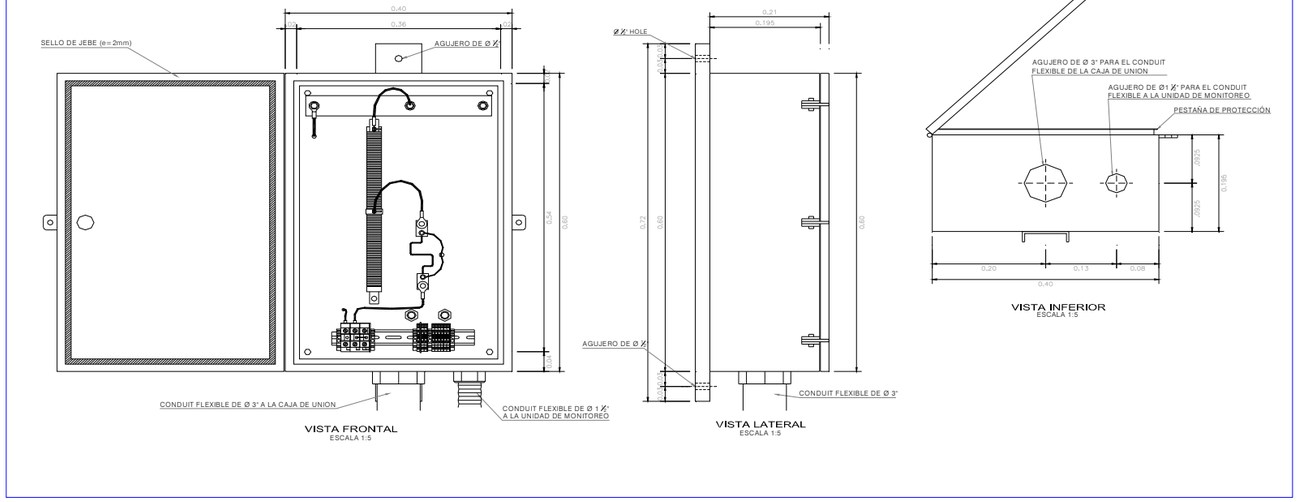


ESQUEMA UNIDAD DE MONITOREO
ver CP-DWG-041 Y 042

ESQUEMA ELECTRICO



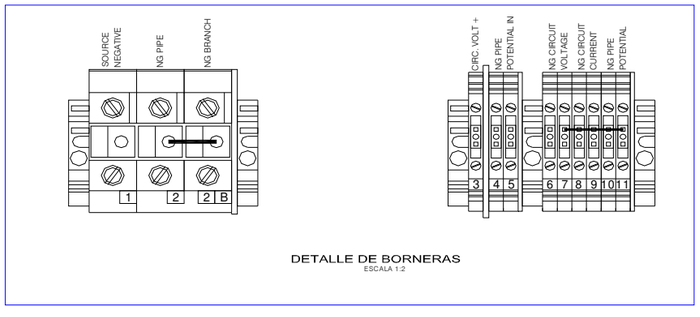
PANEL FRONTAL
ESCALA 1:2



VISTA FRONTAL
ESCALA 1:5

VISTA LATERAL
ESCALA 1:5

VISTA INFERIOR
ESCALA 1:5

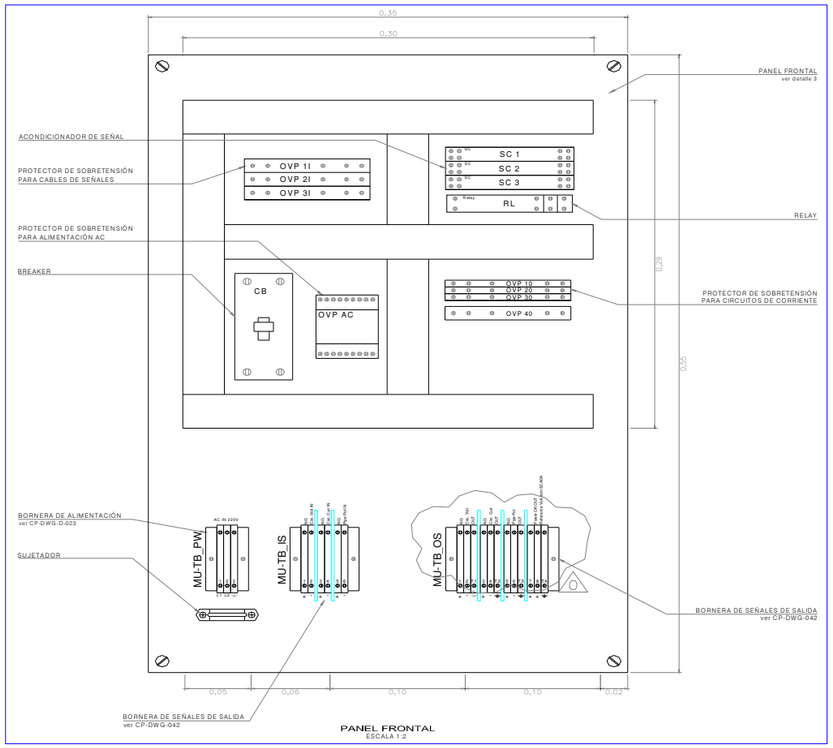


DETALLE DE BORNERAS
ESCALA 1:2

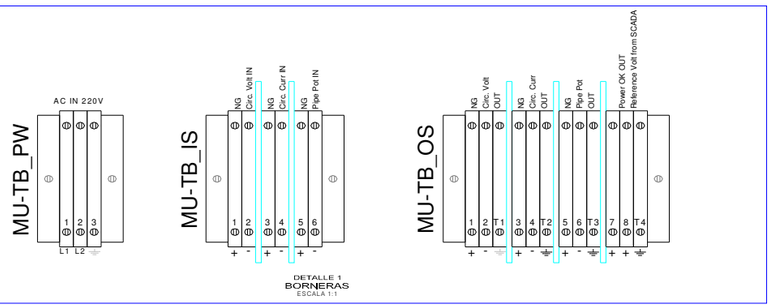
TABLA 1. COMPONENTES PRINCIPALES

ITEM	NOMBRE	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Chasis	1	304SS - e=1/16" 0,40 x 0,21 x 0,60 (LARGO, ANCHO, ALTURA), IP65
2	Terminales de Corriente	3	16 x 66 x 51mm(L, H, W) AWG (22-10)
3	Terminales de Señales	9	6 x 60 x 47mm(L, H, W) AWG (22-10)
4	Shunt	1	0,1Ω (1A / 100mV) - 4 A
5	Resistencia variable	1	0-10Ω - 300W, 0,32m(L) Ø 3cm
6	Diodo	1	Direct Type 75A - 1200V
7	Placa conductora de cobre	1	-
8	Panel frontal	1	Acero Recubierto 0,35 x 0,55

CAJA DE UNIÓN - DETALLES DE FABRICACIÓN



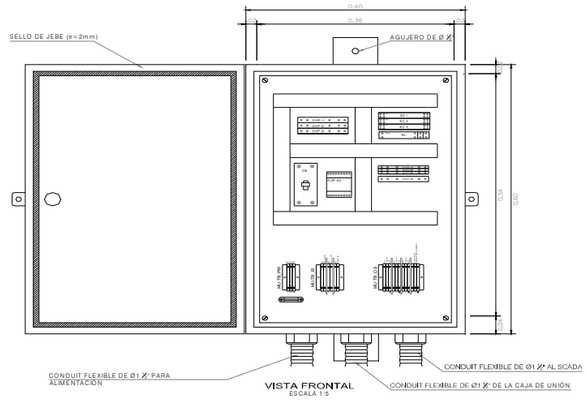
PANEL FRONTAL
ESCALA 1:2



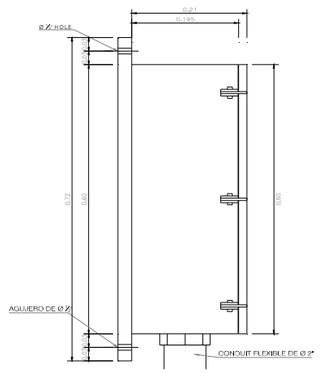
DETALLE 1
BORNERAS
ESCALA 1:1

TABLA 1. COMPONENTES PRINCIPALES

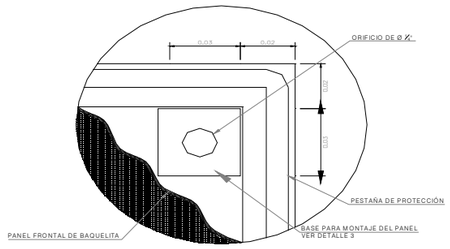
ITEM	NOMBRE	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Chasis	1	304SS - 1/16", 0,40 x 0,21 x 0,60 (LARGO, ANCHO, ALT), IP65
2	Terminales	21	25 x 25 x 5mm (L, H, W) AWG (22-10)
3	Breaker AC	1	Thermomagnetic 400V - 30A
4	Protectores de Sobretensión de Señales de Entrada	3	Ver CP-DWG-042
5	Protectores de Sobretensión de Señales de Salida	4	Ver CP-DWG-042
6	Panel Frontal	1	Baquelita 0,36 x 0,46 e=4mm



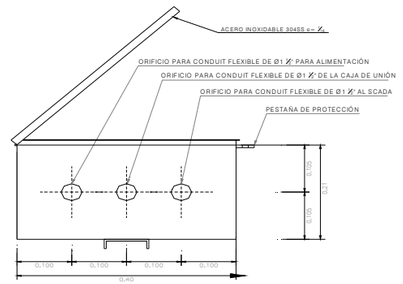
VISTA FRONTAL
ESCALA 1:5



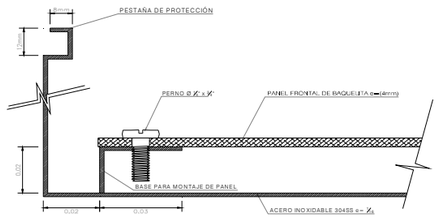
VISTA LATERAL
ESCALA 1:5



DETALLE 2
BASE PARA MONTAJE DEL PANEL
ESCALA 1:1



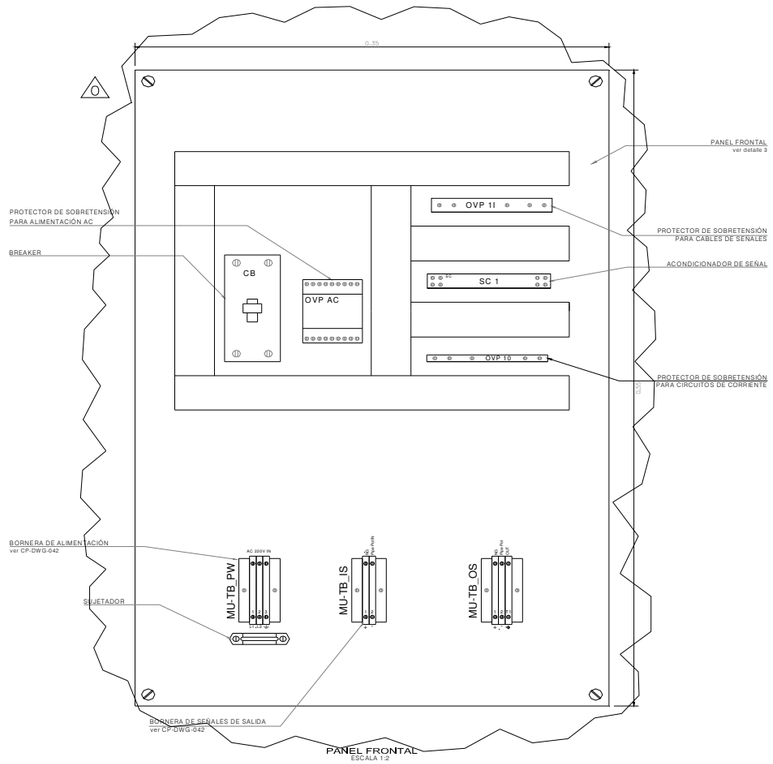
VISTA INFERIOR DEL CHASIS
ESCALA 1:5



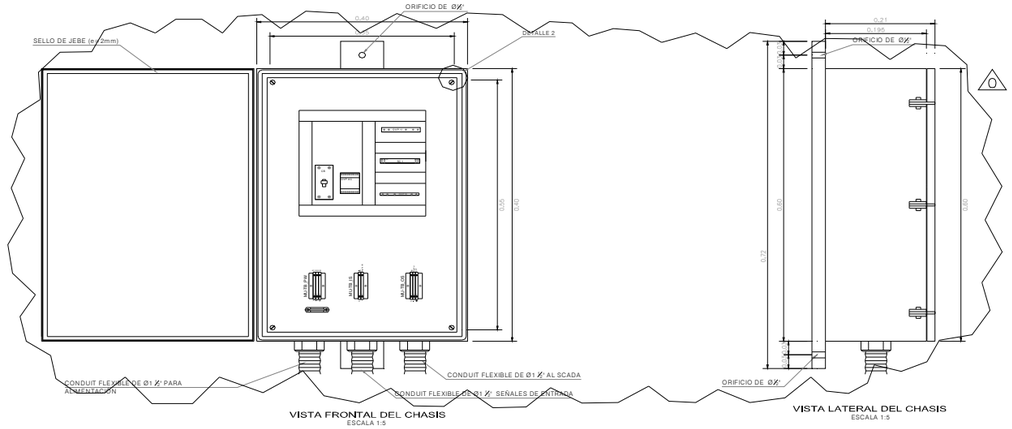
DETALLE 3
MONTAJE DEL PANEL
VISTA LATERAL
ESCALA 1:1

UNIDAD DE MONITOREO
DETALLES

A – 1 PLOT 1/5

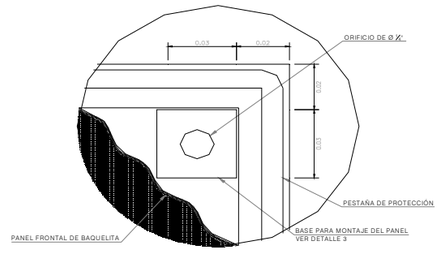


PANEL FRONTAL
ESCALA 1:2

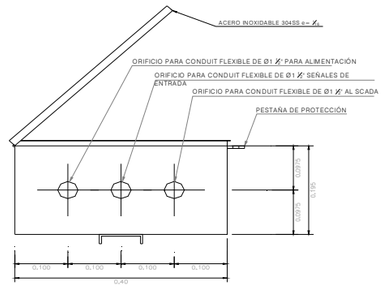


VISTA FRONTAL DEL CHASIS
ESCALA 1:5

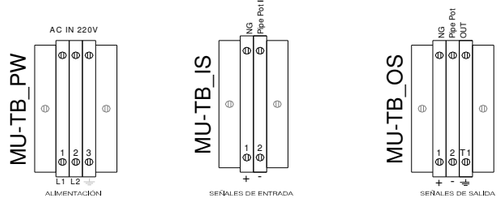
VISTA LATERAL DEL CHASIS
ESCALA 1:5



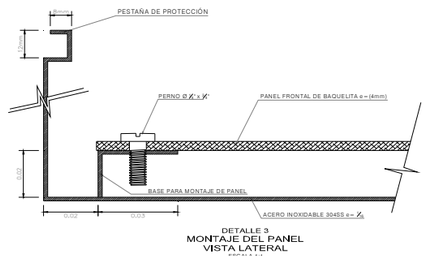
DETALLE 2
BASE PARA MONTAJE DEL PANEL
ESCALA 1:1



VISTA INFERIOR DEL CHASIS
ESCALA 1:5



DETALLE 1
BORNERAS
ESCALA 1:1



DETALLE 3
MONTAJE DEL PANEL
VISTA LATERAL
ESCALA 1:1

TABLA 1. COMPONENTES PRINCIPALES

ITEM	NOMBRE	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Chasis	1	304SS - 1/16", 0,40 x 0,21 x 0,60 (LARGO, ANCHO, ALT), IP65
2	Terminales	8	25 x 25 x 5mm (L, H, W) AWG (22-10)
3	Breaker AC	1	Thermomagnetic 400V - 30A
4	Protectores de Sobretensión de Señales de Entrada	1	Ver CP-DWG-043
5	Protectores de Sobretensión de Señales de Salida	1	Ver CP-DWG-043
6	Panel Frontal	1	Baquelita 0,36 x 0,46 e= 4mm

UNIDAD DE MONITOREO EN VALVULA DE BLOQUEO DETALLES

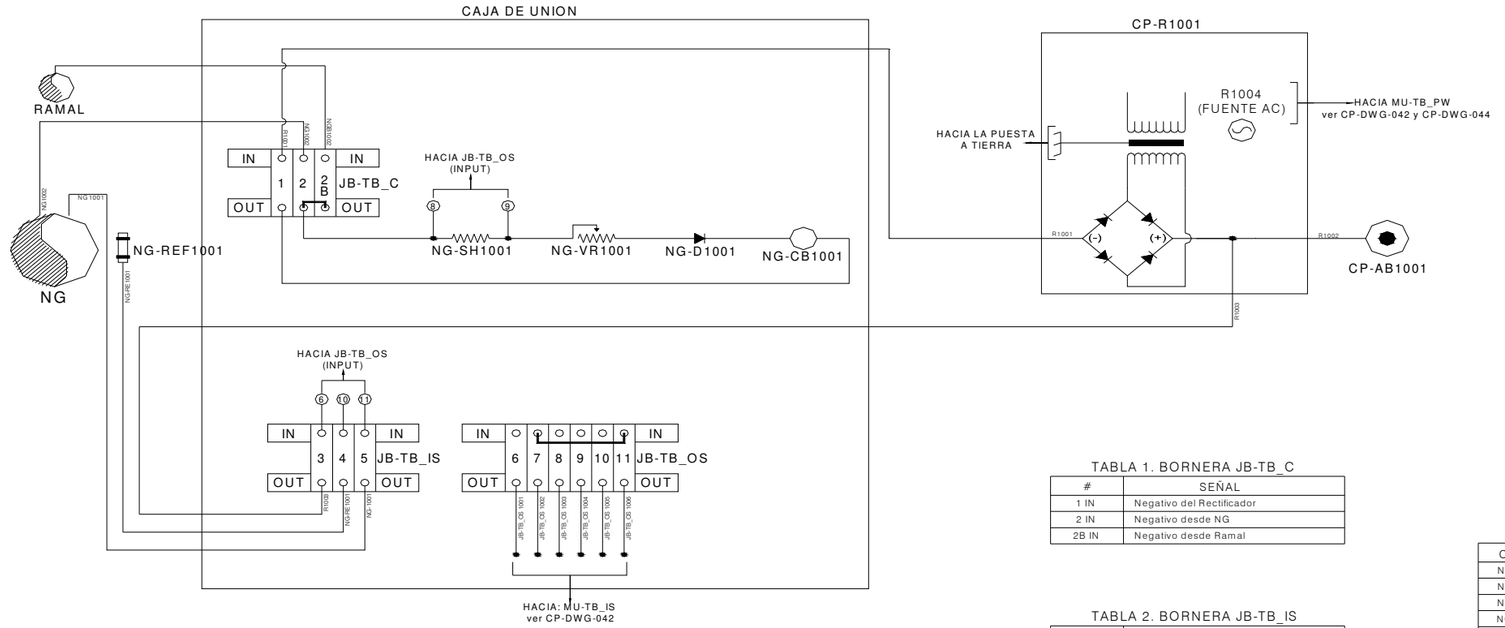


TABLA 1. BORNERA JB-TB_C

#	SEÑAL
1 IN	Negativo del Rectificador
2 IN	Negativo desde NG
2B IN	Negativo desde Ramal

TABLA 2. BORNERA JB-TB_IS

#	SEÑAL
3	(+) del Rectificador
4	(+) Electrodo de Referencia NG
5	(-) Cable para medición de Potencial NG

TABLA 3. BORNERA JB-TB_OS

#	SEÑAL
6 IN/OUT	(+) Voltaje del Circuito NG
7 IN/OUT	(-) Voltaje del Circuito NG
8 IN/OUT	(+) Corriente del Circuito NG
9 IN/OUT	(-) Corriente del Circuito NG
10 IN/OUT	(+) Electrodo de Referencia NG
11 IN/OUT	(-) Cable para medición de Potencial NG

TABLA 4. CABLES

CÓDIGO	AISLAMIENTO	AWG	COLOR	ENTERRADO	LONGITUD(m)
R1001	HMWPE	2	NEGRO	SI	15
NG-SH1001	RW SHIELDED	18	NEGRO	NO	0,5
NG-SH1002	RW SHIELDED	18	ROJO	NO	0,5
NG-RE1001	R HW	14	AZUL	SI	100
NG1001	HMWPE	10 / 8	NEGRO	SI	100
JB-TB1001 JB-TB1003 JB-TB1005	RW SHIELDED	18	ROJO	NO	2,5
JB-TB1002 JB-TB1004 JB-TB1006	RW SHIELDED	18	NEGRO	NO	2,5
NG 1002	HMWPE	2	NEGRO	SI	100
NGB 1002	HMWPE	10 / 8	NEGRO	SI	120
R1003	HMWPE	2	NEGRO	SI	15
R1002	HMWPE	2	NEGRO	SI	VER CP-DWG-030

TABLA 5. COMPONENTES PRINCIPALES

CÓDIGO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
NG-RE1001	Electródo de Referencia Permanente	Ag/AgCl
NG-SH1001	Shunt	0,1Ω (1A/100mV)- 2W
NG-VR1001	Resistencia Variable (Rehóstato)	0-10Ω - 300W
NG-D1001	Diodo	Directo 75A - 1200V
NG-CB1001	Conductor de Cobre	200 x 30 x 3mm VER CP-DWG-030
CP-R1001	Rectificador con Taps	50V - 10A. VER CP-DWG-44
CP-AB1001	Cama Anódica	VER CP-DWG-030
JB-TB	Bornera de la Caja de Unión	AWG (26-12), 25 A - 300 V. VER CP-DWG-038

DIAGRAMA ELÉCTRICO DE LA CAJA DE UNIÓN

TABLA 1. SEÑALES DE ENTRADA DE LA BORNERA MU_TB_IS

#	SEÑAL
1	(+) Voltaje del Circuito NG
2	(-) Voltaje del Circuito NG
3	(+) Corriente del Circuito NG
4	(-) Corriente del Circuito NG
5	(+) Electrodo de Referencia NG
6	(-) Cable para medición de Potencial NG

TABLA 2. SEÑALES DE SALIDA DE LA BORNERA MU_TB_OS

#	SEÑAL
1	(+) Voltaje del Circuito NG
2	(-) Voltaje del Circuito NG
T1	Terminal de Puesta a Tierra del SCADA
3	(+) Corriente del Circuito NG
4	(-) Corriente del Circuito NG
T2	Terminal de Puesta a Tierra del SCADA
5	(+) Electrodo de Referencia NG
6	(-) Cable para medición de Potencial NG
T3	Terminal de Puesta a Tierra del SCADA
7	(+) Alimentación AC OK
8	Voltaje de Referencia del SCADA
T4	Terminal de Puesta a Tierra del SCADA

TABLA 3. BORNERA DE ALIMENTACIÓN MU_TB_PW

#	SEÑAL
1	Fase 1
2	Fase 2
3	Puesta a Tierra

TABLA 4. BORNERA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA MU_TB_D

#	SEÑAL
1-4	Terminal de alimentación de corriente a SC1-SC3 y RL
5	Terminal de entrada de alimentación desde OVP-AC

TABLA 5. BORNERA PARA TOMA A TIERRA MU_TB_D

#	SEÑAL
4	Chasis conectado a la puesta a tierra
1-3	Conexión a tierra para los elementos de protección

TABLA 6. COMPONENTES PRINCIPALES

CODIGO	NOMBRE	DESCRIPCION
OVP-1I, OVP-2I, OVP-3I	Protector de Sobretensión para cables transmisores de señales	90 v (VER CP-010)
OVP-10, OVP-20, OVP-30, OVP40	Protector de Sobretensión para circuitos de corriente	24V 0,5A 0(4)-20mA (VER CP-010)
SC-1, SC-2, SC-3	Acondicionador de Señal	Configurable (VER CP-010)
RL	Relay tipo contacto seco	Normalmente cerrado tipo AC
OVP-AC	Protección de Sobretensión para alimentación AC	230V AC/DC 16A (VER CP-010)
MU-TB_PW	Bornera de Alimentación de la Unidad de Monitoreo	N°4 AWG 26-10, 36A / 600V (VER CP-010)
MU-TB_IS/OS	Bornera de Señales de la Unidad de Monitoreo	N°2,5 AWG 26-12, 25A / 300V (VER CP-010)
CB	Breaker	THERMOMAGNETICO 50A / 600V
MU-TB_D	Bornera de Distribución de Energía de la Unidad de Monitoreo	8 polos AWG 26-14, 24A/500V (VER CP-010)
MU-TB_IS/OS	Bornera de Distrib. Puesta a Tierra de la Unidad de Monitoreo	8 polos AWG 26-14, 24A/500V (VER CP-010)

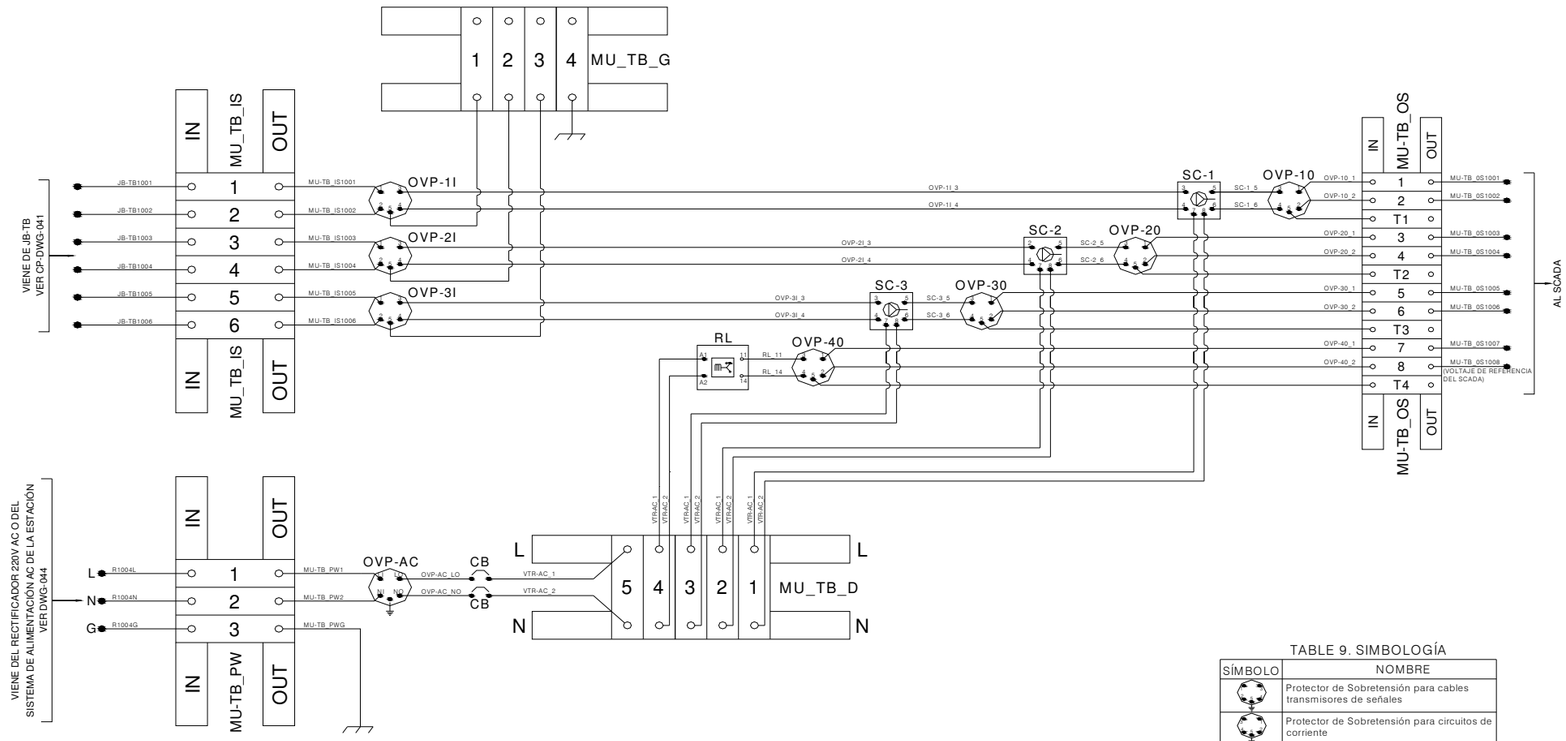


TABLE 9. SIMBOLOGÍA

SÍMBOLO	NOMBRE
	Protector de Sobretensión para cables transmisores de señales
	Protector de Sobretensión para circuitos de corriente
	Acondicionador de Señal V/mV →mA
	Rely tipo contacto seco
	Protección de Sobretensión para alimentación AC
	Breaker
	Chasis conectado a la puesta a tierra

TABLA 7. CABLES

CÓDIGO DE CABLE	AISLAMIENTO	AWG	COLOR	ENTERRADO	LONGITUD(m)
R1004	PVC	3 x 12 (1.5 cm)	EXTERIOR NEGRO CABLE 1 VERDE, CABLE 2 ROJO, CABLE 3 NEGRO	SI (requiere conduit de Ø1½")	20
TODOS LAS SEÑALES POSITIVAS ENTRE MU-TB_IS (TERMINALES 1, 3, 5) Y MU-TB_0S	RW SHIELDED	18	ROJO	NO	12
TODOS LOS DE SEÑALES NEGATIVAS ENTRE MU-TB_IS (TERMINALES 2, 4, 6) Y MU-TB_0S	RW SHIELDED	18	NEGRO	NO	12
MU-TB_PW1, OVP-AC_LO, VTR-AC_1, RL_11 y RL_14	TW	18	ROJO	NO	12
MU-TB_PW2, VTR-AC_2	TW	16	NEGRO	NO	12

DIAGRAMA ELÉCTRICO DE LA UNIDAD DE MONITOREO

TABLA 1. SEÑALES DE ENTRADA DE LA BORNERA MU_TB_IS

#	SEÑAL
1	(+) Electrodo de Referencia NG
2	(-) Cable para medición de Potencial NG

TABLA 2. SEÑALES DE SALIDA DE LA BORNERA MU_TB_OS

#	SEÑAL
1	(+) Electrodo de Referencia NG
2	(-) Cable para medición de Potencial NG
T1	Terminal de Puesta a Tierra del SCADA

TABLA 3. BORNERA DE ALIMENTACIÓN MU_TB_PW

#	SEÑAL
1	Fase 1
2	Fase 2
3	Puesta a Tierra

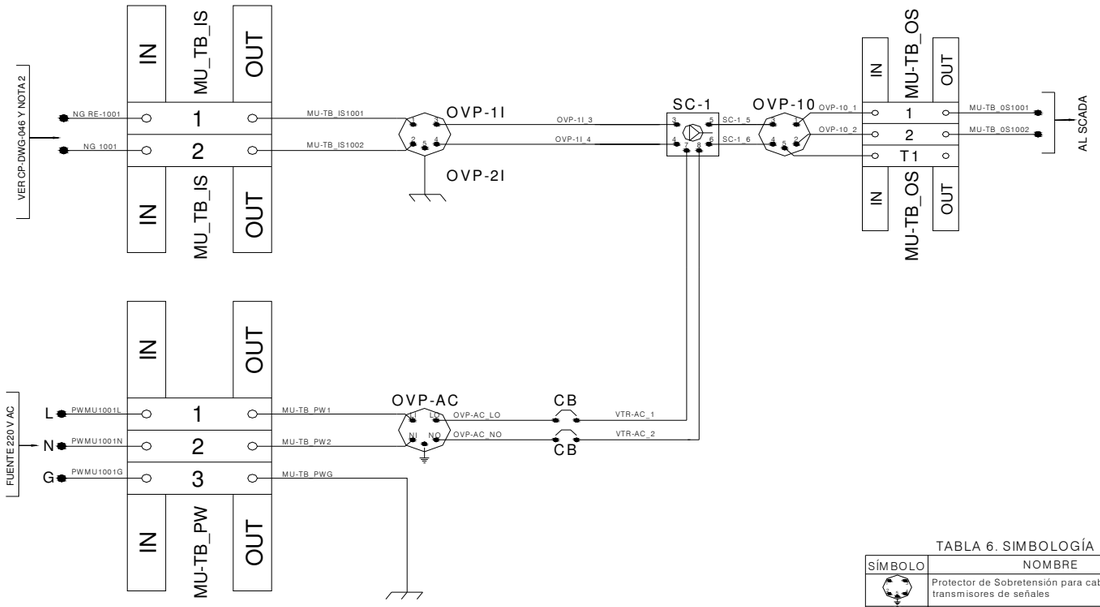


TABLA 6. SIMBOLOGÍA

SÍMBOLO	NOMBRE
	Protector de Sobretensión para cables transmisores de señales
	Protector de Sobretensión para circuitos de corriente
	Acondicionador de Señal V/mV →mA
	Rely tipo contacto seco
	Protección de Sobretensión para alimentación AC
	Breaker
	Chasis conectado a la puesta a tierra

TABLA 4. COMPONENTES PRINCIPALES

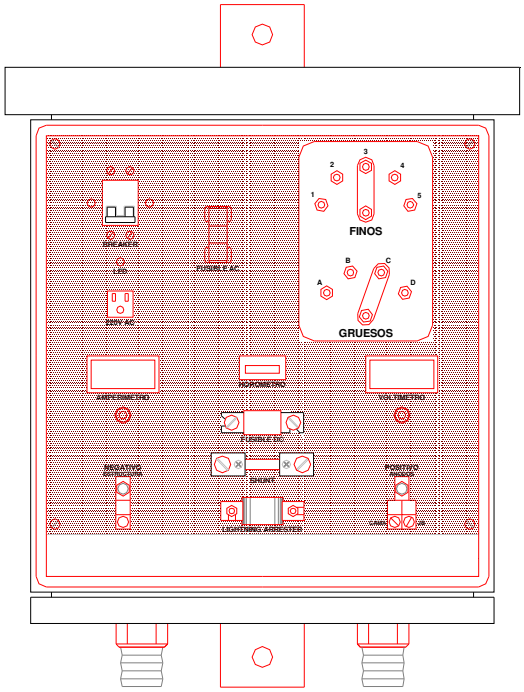
CODIGO	NOMBRE	DESCRIPCION
OVP-1I	Protector de Sobretensión para cables transmisores de señales	90 v (VER CP-010)
OVP-10	Protector de Sobretensión para circuitos de corriente	24V 0,5A 0(4)-20mA (VER CP-010)
SC-1	Acondicionador de Señal	Configurable (VER CP-010)
OVP-AC	Protección de Sobretensión para alimentación AC	230V AC/DC 16A (VER CP-010)
MU-TB_PW	Bornera de Alimentación de la Unidad de Monitoreo	N°4 AWG 26-10, 36A / 600V (VER CP-010)
MU-TB_IS/OS	Bornera de Señales de la Unidad de Monitoreo	N°2,5 AWG 26-12, 25A / 300V (VER CP-010)
CB	Breaker	THERMOMAGNETICO 50A / 600V

TABLA 5. CABLES

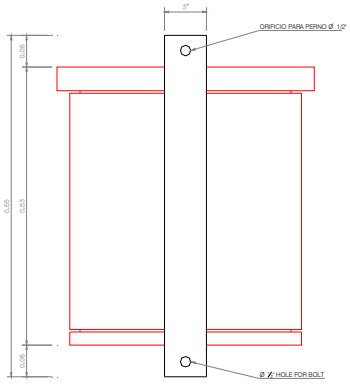
CÓDIGO DE CABLE	AISLAMIENTO	AWG	COLOR	ENTERRADO	LONGITUD (m)
PWMU 1001(*)	PVC	3 x 12 (1") Ø= 1"	EXTERIOR NEGRO CABLE 1 VERDE, CABLE 2 ROJO, CABLE 3 NEGRO	SI (requiere conduit de Ø1½")	20
LAS SEÑALES POSITIVAS ENTRE MU-TB_IS (TERMINAL 1) Y MU-TB_0S	RW SHIELDED	18	ROJO	NO	12
LAS DE SEÑALES NEGATIVAS ENTRE MU-TB_IS (TERMINAL 2) Y MU-TB_0S	RW SHIELDED	18	NEGRO	NO	12
MU-TB_PW1, OVP-AC_LO, VTR-AC_1	TW	18	ROJO	NO	12
MU-TB_PW2, VTR-AC_2	TW	16	NEGRO	NO	12
NG-RE-1001	RHW	14	AZUL	SI	15
NG 1001	HMWPE	10	NEGRO	SI	20

(*) DESCRIPCION REFERENCIAL UNICAMENTE

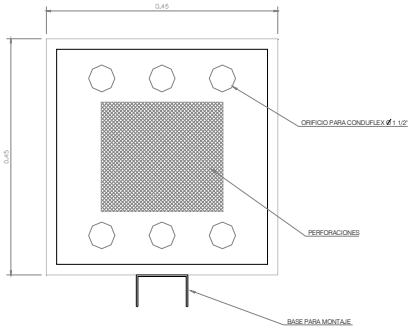
DIAGRAMA ELÉCTRICO DE LA UNIDAD DE MONITOREO EN VALVULA DE BLOQUEO



PANEL DE CONTROL
RECTIFICADOR
ESCALA 1:2.5



RECTIFICADOR
VISTA TRASERA
ESCALA 1:5



RECTIFICADOR
VISTA INFERIOR
ESCALA 1:5

INSTALACIÓN DE RECTIFICADOR

BIBLIOGRAFÍA

1. NACE, Standard Recommended Practice RP0169 -1996 Item No. 21001 "Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems" NACE INTERNACIONAL 1996 USA

2. NACE, Standard Recommended Practice RP0388 – 2001 Item No. 21040 "Impressed Current Cathodic Protection of Internal Submerged Surfaces of Steel Water Storage Tanks" NACE INTERNACIONAL 2001 USA

3. NACE, Standard Recommended Practice RP0177-2000 Item No. 21021 "Mitigation of Alternating Current and Lightning Effects on Metallic Structures and Corrosion Control Systems", NACE INTERNACIONAL 2000 USA

4. NACE, Standard Recommended Practice RP0200 – 2000 Item No. 21091 "Steel Cased Pipeline Practices" NACE INTERNACIONAL 2000 USA

5. NACE Standard Test Method TM0497-2002 Item No. 21231 "Measurement Techniques Related to Criteria for Cathodic Protection on Underground or Submerged Metallic Piping Systems" NACE INTERNACIONAL 2002 USA

6. NACE TRAINING Manual Cathodic Protection LEVEL 1 NACE INTERNACIONAL 2002 USA

7. A.W. PEABODY "PEABODY'S "Control Of Pipeline Corrosion" NACE International The Corrosion Society, 2001, SECOND EDITION, CAP #2, CAP #3, CAP #4, CAP #8, CAP #9, CAP #10, CAP #16, USA

8. Pierre R. Roberge "Handbook of Corrosion Engineering, McGraw-Hill, FIRST EDITION,2000, CAP #11, USA

9. Reglamento De Transporte De Hidrocarburos Por Ductos Decreto Supremo Nº 041-99-EM, PERU 1999

10. Norma Oficial Mexicananom-008-Secre-1999 Control De La Corrosión Externa En Tuberías De Acero Enterradas Y/O Sumergidas, MEXICO 1999

11. Diseño, Instalación Y Mantenimiento De Los Sistemas De Protección Catódica., PROY-NRF-047-PEMEX-2002, MEXICO

12. Normas Argentinas Mínimas De Seguridad Para El Transporte Y Distribución De Gas Natural Y Otros Gases Por Cañerías N.A.G.-100 SECCION 453 A 473. ARGENTINA, 1993

13. ANSI/ASME B31.8-1992 Gas transmission and distribution piping systems.