



**UNIVERSIDAD ESTATAL  
PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN PETRÓLEOS**

**“CONTROL DEL ATAQUE CORROSIVO EN EL CAMPO PACOA,  
APLICANDO ÁNODOS DE SACRIFICIO PARA LA  
OPTIMIZACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA ÚTIL DE LAS  
INSTALACIONES DE SUPERFICIE.”**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN PETRÓLEO**

**AUTORES:** Carlos Geovanni Aguirre Amaguaya

Mayra Alejandra Ortiz Rodríguez

**TUTOR:** ING. FAUSTO CARVAJAL

**LA LIBERTAD – ECUADOR  
2012 -2013**

**UNIVERSIDAD ESTATAL  
PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA EN PETRÓLEOS

**“CONTROL DEL ATAQUE CORROSIVO EN EL CAMPO PACOA,  
APLICANDO ÁNODOS DE SACRIFICIO PARA LA  
OPTIMIZACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA ÚTIL  
DE INSTALACIONES DE SUPERFICIE.”**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN PETRÓLEO**

**AUTORES:** Carlos Giovanni Aguirre Amaguaya

Mayra Alejandra Ortiz Rodríguez

**TUTOR:** ING. FAUSTO CARVAJAL

LA LIBERTAD – ECUADOR

2012 -2013

La Libertad, 29 de Enero del 2013

### **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación, **“CONTROL DEL ATAQUE CORROSIVO EN EL CAMPO PACOA, APLICANDO ÁNODOS DE SACRIFICIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA ÚTIL DE LAS INSTALACIONES DE SUPERFICIE.** “Elaborado por la señora Mayra Alejandra Ortiz Rodríguez y el Sr. Carlos Geovanny Aguirre Amaguaya, egresados de la Carrera de Ingeniería en Petróleos, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del Título de Ingeniero en Petróleo, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la Apruebo en todas sus partes.

**Atentamente**

---

**Ing. Fausto Carvajal**  
TUTOR

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

Nosotros, Carlos Geovanni Aguirre Amaguaya y Mayra Alejandra Ortiz Rodríguez declaramos que el trabajo de titulación aquí presentado corresponde exclusivamente a sus autores, documento consultado en referencias bibliográficas así como investigaciones de datos reales de campo así como correlacionado con profesionales del área, a través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual de este trabajo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

---

Carlos Aguirre Amaguaya

---

Mayra Ortiz Rodríguez

## DEDICATORIA

*Este trabajo de tesis de grado está dedicado a DIOS, por darme la vida a través de mis queridos PADRES quienes con mucho cariño, amor y ejemplo han hecho de mí una persona con valores en especial a mi MADRE por darme su apoyo incondicional para poder desenvolverme como: ESPOSA, MADRE Y PROFESIONAL, a mi ESPOSO, que ha estado a mi lado brindándome cariño, confianza y apoyo para seguir adelante y cumplir otra etapa en mi vida.*

*A Miguel y Maitte, mis HIJOS, que son el motivo y la razón que me ha llevado a seguir superándome día a día, para alcanzar mis más apreciados ideales de superación, quiero también dejar a cada uno de ellos una enseñanza que cuando se quiere alcanzar algo en la vida, no hay tiempo ni obstáculo que lo impida para poderlo LOGRAR.*

*A todos los ingenieros que dieron su apoyo para desarrollar este proyecto.*

*Y a todos los que confiaron en mí...*

*Agradecimientos infinitos*

*Mayra Ortiz*

## DEDICATORIA

*El presente trabajo de titulación dedico a mi sagrada Madre y a mis hermanos quienes con mucha paciencia, entereza y gran ejemplo pese a las adversidades supieron ser una guía invaluable de esfuerzo y dedicación lo que ha permitido que salgamos triunfantes de innumerables batallas de esta vida de probación, a Dios por crear este mundo y darme una familia maravillosa, a mi Madre adoptiva y a mi hermano mayor que son ejes fundamentales de este logro, a mis eternos compañeros y amigos, y sobre todo a la memoria de mi Padre.*

*Carlos Aguirre*

## AGRADECIMIENTO

*Agradecemos la inmensa y dedicada colaboración de nuestro profesor, maestro y amigo el Ingeniero Fausto Carvajal quien sin egoísmo ha compartido el conocimiento para la realización de este proyecto, al Ingeniero Alamir Álvarez Loordestacado directivo quien con abnegación y vocación de enseñanza supo dirigir los destinos de la Carrera de Ingeniería en Petróleo constituyéndose un referente para la provincia, el país y el mundo.*

## **TRIBUNAL DE GRADO**

---

Econ. Ramón Muñoz  
DECANO DE LA FACULTAD DE  
CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

---

Ing. Alamir Álvarez  
DIRECTOR DE LA CARRERA  
DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO

---

Ing. Fausto Carvajal  
PROFESOR TUTOR

---

Ing. Carlos Portilla Díaz  
PROFESOR DE ÁREA

---

Abg. Milton Zambrano Coronado.  
SECRETARIO GENERAL PROCURADOR



## RESUMEN

La industria petrolera mundial está en constante investigación tecnológica para solucionar los diferentes problemas que se presentan en esta compleja profesión, es así que la corrosión será un tema de debate en toda la industria, debido a que ésta se halla presente desde el yacimiento hasta la comercialización debido a su composición y origen por lo tanto en todas sus etapas se adapta a altos estándares de control y calidad.

La salinidad que se halla presente en el medio ambiente del perfil costanero ecuatoriano y particularmente en la Provincia de Santa Elena por su condición de península hace que las instalaciones de superficie de los campos petroleros existentes en la zona, tengan que sufrir a causa de problemas relacionados con la corrosión, cuyas afectaciones son muy visibles en tanques, equipos, tuberías y más instalaciones del Bloque 1 Campo Pacoa localizado al norte de la provincia de Santa Elena, campo que por más de veinte años ha venido produciendo petróleo sin interrupción, en tanto que sus instalaciones se han deteriorado con rapidez a pesar del mantenimiento dado.

La vida útil del equipo de la industria petrolera se acorta a menudo como resultado de la corrosión y en los últimos diez años se han tenido grandes adelantos en su detección con métodos aplicados para un adecuado control en la producción del petróleo. 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.

En función de este conocimiento se realizará un diagnóstico de los diferentes ambientes en los que está expuesta la infraestructura (calidad del agua, temperaturas de operación y temperatura ambiente, humedad, ambientes severos, marinos, alta contaminación atmosférica, etc.) y se determinará la colocación del sistema anticorrosivo adecuado para aplicarse en las instalaciones de superficie del campo Pacoa una vez realizado los cálculos y diseños de construcción respectivos en las zonas de mayor afectación lo que permitirá la implementación del sistema de Ánodos de Sacrificio para evitar el daño corrosivo y optimizar el tiempo de vida útil de las instalaciones de superficie de dicho campo.

Una vez determinado los lugares de aplicación se procederá al diseño de los materiales bajo estándares internacionales para aplicarlos en las tuberías y tanques del Campo Pacoa determinando los costos de implementación del sistema y su factibilidad.

# ÍNDICE GENERAL

|                           | PÁGINA |
|---------------------------|--------|
| PORTADA.....              | I      |
| APROBACIÓN DEL TUTOR..... | II     |
| DECLARACION EXPRESA.....  | III    |
| DEDICATORIA.....          | IV     |
| AGRADECIMIENTO.....       | V      |
| RESUMEN.....              | VI     |
| ÍNDICE GENERAL.....       | VII    |
|                           |        |
| ÍNDICE DE CUADROS.....    | VII    |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS.....   | IX     |
| ÍNDICE DE ANEXOS.....     | X      |
| INTRODUCCIÓN.....         | XI     |

## CAPÍTULO I

### PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS DE LA CORROSIÓN

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1.2 Proceso de la corrosión.....</b>   | <b>27</b> |
| <b>1.2.1. Ánodo o zona anódica.....</b>   | <b>28</b> |
| <b>1.2.2. Cátodo o zona catódica.....</b> | <b>28</b> |
| <b>1.3. Medio corrosivo.....</b>          | <b>28</b> |
| <b>1.3.1. Corriente eléctrica.....</b>    | <b>28</b> |
| <b>1.3.2. Conductor eléctrico.....</b>    | <b>28</b> |
| <b>1.3.3.Reacciones anódicas.....</b>     | <b>29</b> |
| <b>1.3.4.Reacciones catódicas.....</b>    | <b>30</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1.4. Factores que afectan la velocidad de corrosión.....</b> | <b>31</b> |
| <b>1.4.1. Clasificación de los metales.....</b>                 | <b>36</b> |
| <b>1.4.2. Causas de corrosión.....</b>                          | <b>38</b> |
| <b>1.5. Ánodo.....</b>  | <b>38</b> |
| <b>1.5.1. Cátodo.....</b>                                       | <b>39</b> |
| <b>1.5.2. Electrolito.....</b>                                  | <b>40</b> |
| <b>1.6. Clasificación de la corrosión.....</b>                  | <b>47</b> |
| <b>1.6.1. Clasificación de acuerdo al tipo.....</b>             | <b>47</b> |
| <b>1.6.2. Corrosión combinada con otros fenómenos.....</b>      | <b>51</b> |
| <b>1.6.3. Clasificación de acuerdo al medio ambiente.....</b>   | <b>54</b> |

## **CAPÍTULO II**

### **La corrosión en la industria petrolera**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>2.1. Corrosión en facilidades de superficie.....</b> | <b>58</b> |
| <b>2.2. Cabezal de pozos.....</b>                       | <b>58</b> |
| <b>2.3. Líneas de flujo.....</b>                        | <b>58</b> |
| <b>2.4. Equipos de procesamiento de gas.....</b>        | <b>59</b> |
| <b>2.5. Tratadores de calor.....</b>                    | <b>59</b> |
| <b>2.6. Tanques de almacenamiento.....</b>              | <b>59</b> |

## CAPÍTULO III

### CORROSIÓN EN TUBERÍAS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3.1. Corrosión interna.....</b>  | <b>61</b> |
| <b>3.2. Factores que la originan.....</b>   | <b>61</b> |
| <b>3.3. Formas de detección.....</b>  | <b>62</b> |
| <b>3.4. Perfil de calibración.....</b>  | <b>63</b> |
| <b>3.5. Cupones.....</b>  | <b>63</b> |
| <b>3.6. Localización.....</b>   | <b>64</b> |
| <b>3.7. Métodos utilizados para controlar el problema.....</b>                          | <b>65</b> |
| <b>3.7.1. Uso de inhibidores.....</b>   | <b>65</b> |
| <b>3.8. Corrosión externa.....</b>  | <b>66</b> |
| <b>3.8.1. Factores que la originan.....</b>   | <b>66</b> |
| <b>3.8.2. Forma de detección.....</b>   | <b>67</b> |
| <b>3.8.3. Métodos utilizados para controlar el problema.....</b>                        | <b>67</b> |
| <b>3.8.4. Introducción a los métodos protectores.....</b>                               | <b>68</b> |
| <b>3.8.5. Pinturas y recubrimientos.....</b>  | <b>68</b> |
| <b>3.8.6. Preparación de la superficie.....</b>   | <b>69</b> |
| <b>3.9. Diseño para el control anticorrosivo en las instalaciones de superficie....</b> | <b>71</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3.9.1. Método de protección catódica.....</b>                            | <b>71</b> |
| <b>3.9.2. Protección catódica por corriente impresa.....</b>                | <b>73</b> |
| <b>3.9.3. Protección catódica con ánodos de sacrificio.....</b>             | <b>75</b> |
| <b>3.9.4. Características de un ánodo de galvánico o de sacrificio.....</b> | <b>78</b> |
| <b>3.9.5. Tipos de ánodos.....</b>  | <b>78</b> |
| <b>3.9.6. Criterios de protección.....</b>                                  | <b>79</b> |
| <b>3.9.7. Resistividad del suelo.....</b>                                   | <b>80</b> |
| <b>3.9.8. Cálculos de diseño de un sistema de ánodos galvánicos.....</b>    | <b>85</b> |

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS DE LABORATORIO DEL CAMPO PACOA**

|  |            |
|--|------------|
| <b>4.1 Caracterización del agua de las estaciones campo Pacoa central.....</b> | <b>88</b>  |
| <b>4.2. Caracterización del agua de las estaciones campo Pacoa norte.....</b>  | <b>89</b>  |
| <b>4.3 Caracterización del crudo.....</b>                                      | <b>90</b>  |
| <b>4.4. Caracterización del agua de las estaciones campo Pacoa sur.....</b>    | <b>91</b>  |
| <b>4.5. Caracterización del crudo del campo Pacoa yacimiento productor</b>     |            |
| <b>Socorro pozo matachivato, formación D.....</b>                              | <b>93.</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>4.6. Caracterización del crudo producido en el campo Pacoa -01 yacimiento productor, socorro, arena productiva C/D.....</b> | <b>94</b> |
| <b>4.7. Caracterización del crudo producido en el campo Pacoa -02 yacimiento productor socorro, arena productora B.....</b>    | <b>95</b> |
| <b>4.8. Caracterización del crudo producido en el campo Pacoa -03 yacimiento productor socorro arena productora C.....</b>     | <b>96</b> |
| <b>4.9. Caracterización del crudo de las estaciones de campo estación Pacoa norte.....</b>                                     | <b>96</b> |

## **CAPÍTULO V**

### **Especificaciones de los materiales y constructivas para protección catódica**

|   |            |
|---|------------|
| <b>5.1. Unidades transformadoras.....</b>                   | <b>97</b>  |
| <b>5.2. Ánodos titanio mix (tipo varilla sólida).....</b>   | <b>99</b>  |
| <b>5.3. Relleno de coque metalúrgico.....</b>               | <b>100</b> |
| <b>5.4. Uniones de cable.....</b>                           | <b>101</b> |
| <b>5.4.1. Uniones de estructura - cable.....</b>            | <b>102</b> |
| <b>5.4.2. Juntas aislantes.....</b>                         | <b>103</b> |
| <b>5.5. Protector de juntas aislantes (pararrayos).....</b> | <b>104</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>5.6. Instalación del sistema de protección catódica.....</b>  | <b>104</b> |
| <b>5.7. Instalación del rectificador.....</b>                    | <b>105</b> |
| <b>5.8. Tuberías.....</b>  | <b>106</b> |
| <b>5.9. Instalación de las camas anódicas.....</b>               | <b>107</b> |
| <b>5.9.1. Amarre de ánodos y uniones cable – cable.....</b>      | <b>107</b> |
| <b>5.9.2. Colocación de los ánodos.....</b>                      | <b>108</b> |
| <b>5.9.3. Tendido de los cables para corriente directa.....</b>  | <b>108</b> |
| <b>5.9.4. Instalación del protector de juntas aislantes.....</b> | <b>109</b> |
| <b>5.9.5. Condiciones de suelo.....</b>                          | <b>109</b> |

## **CAPÍTULO VI**

### **ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO**

|  |            |
|--|------------|
| <b>6.1 Análisis técnico.....</b>         | <b>110</b> |
| <b>6.1.2. Análisis económico.....</b>    | <b>110</b> |
| <b>6.2. Criterios de evaluación.....</b> | <b>111</b> |
| <b>6.2.1. Ingresos.....</b>              | <b>111</b> |
| <b>6.2.2. Egresos.....</b>               | <b>111</b> |



|  |            |
|--|------------|
| <b>6.3. Indicadores económicos.....</b>  | <b>111</b> |
| <b>6.4. Tasa interna de retorno (tir).....</b>                                   | <b>112</b> |
| <b>6.5. Relación beneficio/costo.....</b>  | <b>112</b> |
| <b>6.6. Cálculos en base a los resultados para el control anticorrosivo.....</b> | <b>115</b> |
| <b>6.7. Cálculos de parámetros para protección con los datos obtenidos.....</b>  | <b>116</b> |
| <b>6.8. Criterios de diseño.....</b>   | <b>116</b> |

## **CAPÍTULO VII**

### **PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO**

|  |            |
|--|------------|
| <b>7.1. Normas.....</b>  | <b>126</b> |
| <b>7.2 Criterios para sistemas de protección catódica.....</b>           | <b>126</b> |
| <b>7.3. Mediciones de potencial.....</b>                                 | <b>126</b> |
| <b>7.4. Criterios para la prevención de la corrosión en tanques.....</b> | <b>127</b> |
| <b>7.5. Especificaciones para tanques de almacenamiento.....</b>         | <b>131</b> |
| <b>7.6. Ánodos de sacrificio.....</b>                                    | <b>131</b> |
| <b>7.6.1. Ánodos galvánicos (de sacrificio).....</b>                     | <b>133</b> |
| <b>7.7. Factores que afecta la protección catódica.....</b>              | <b>134</b> |
| <b>7.8. Reemplazo de fondos de tanques.....</b>                          | <b>134</b> |
| <b>7.8.1. Mantenimiento.....</b>   | <b>135</b> |

## CAPÍTULO VIII

### OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA

|  |     |
|--|-----|
| 8.1. Consideraciones y suposiciones..... | 140 |
| 8.2. Conclusiones.....                   | 141 |
| 8.3. Recomendaciones.....                | 142 |
| 8.4. Bibliografía.....                   | 143 |

### ÍNDICE DE CUADRO

|  |     |
|--|-----|
| Cuadro 1. Elementos Metálicos.....   | 43  |
| Cuadro 2. Recubrimientos.....  | 69  |
| Cuadro 3. Ánodos galvánicos y campos de aplicación.....                        | 77  |
| Cuadro 4. Característica de los ánodos.....                                    | 78  |
| Cuadro 5. Clasificación de los medios corrosivos según su<br>resistividad..... | 84  |
| Cuadro 6. Electrodo de referencia más usados .....                             | 85  |
| Cuadro 7. Cálculos de vida de ánodos.....                                      | 87  |
| Cuadro 8 Composición química.....  | 100 |
| Cuadro 9 Tipos de recubrimientos.....  | 116 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Gráfico 1  | Proceso metalúrgico .....  | 25 |
| Gráfico 2  | Corrosión en tramo de tubería enterrada o sumergida.....           | 27 |
| Gráfico 3  | Efecto acelerador del óxido de hierro .....                        | 32 |
| Gráfico 4  | Efecto acelerador de la pila galvánica .....                       | 33 |
| Gráfico 5  | Efecto acelerador de medios diferentes.....                        | 34 |
| Gráfico 6  | Efecto de acelerador de diferentes concentraciones de oxígeno..... | 35 |
| Gráfico 7  | Proceso de corrosión .....   | 41 |
| Gráfico 8  | Celda electrónica.....   | 42 |
| Gráfico 9  | Características de corrosión por picadura.....                     | 48 |
| Gráfico 10 | Condiciones de un ataque corrosivo .....                           | 50 |
| Gráfico 11 | Corrosión general y localizada .....                               | 53 |
| Gráfico 12 | Ánodos de sacrificio vs. Corriente impresa.....                    | 60 |
| Gráfico 13 | Corrosión interna en tuberías .....                                | 61 |
| Gráfico 14 | Monitoreo detector de corrosión .....                              | 62 |
| Gráfico 15 | Ánodo.....   | 72 |
| Gráfico 16 | Ubicación delrectificador.....                                     | 73 |
| Gráfico 17 | Método de WENNER para medir resistividad de suelos.....            | 82 |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Gráfico 18 Caja de suelo para medición de resistividad eléctrica.....</b> | <b>84</b>  |
| <b>Gráfico 19 Protección de tanque con ánodos de sacrificio.....</b>         | <b>132</b> |
| <b>Gráfico 20 Cambio de fondo de tanque viejo.....</b>                       | <b>135</b> |

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

|  |            |
|--|------------|
| <b>Anexo I Mapas de ubicación del campo Pacoa.....</b>                 | <b>144</b> |
| <b>Anexo II Mapa de ubicación del bloque 1.....</b>                    | <b>145</b> |
| <b>Anexo III Tabla comparativa de ánodos de sacrificio.....</b>        | <b>146</b> |
| <b>Anexo IV Fotografías de corrosión en el campo.....</b>              | <b>147</b> |
| <b>Anexo V Listas de símbolos.....</b>                                 | <b>151</b> |
| <b>Anexo VI Resistividad de los suelos método WENNER 4 barras.....</b> | <b>153</b> |
| <b>Anexo VII Medición Potencial.....</b>                               | <b>155</b> |
| <b>Anexo VIII Series potenciales normales o estándar.....</b>          | <b>156</b> |
| <b>Anexo IX Elementos químicos, símbolos y potenciales.....</b>        | <b>157</b> |
| <b>Anexo X Glosario.....</b>   | <b>158</b> |

## **INTRODUCCIÓN**

El bloque 1 está ubicado en la Provincia de Santa Elena, a 120 km al Oeste de la ciudad de Guayaquil. Tiene una extensión de 1200 km<sup>2</sup> de los 480 km<sup>2</sup> se encuentran costa afuera.

El bloque 1 está localizado al norte y oeste del bloque ESPOL, tiene una extensión de 4000 km<sup>2</sup> de los cuales 3000 km<sup>2</sup> están costa afuera 1000 km<sup>2</sup> en la tierra.

## **GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO**

### **VÍAS DE ACCESO**

La principal vía de acceso es la carretera Guayaquil – Salinas 20 km antes de llegar a la cabecera cantonal de Santa Elena que comunican a las poblaciones de Baños de San Vicente, San Vicente, Punta Blanca y San Pablo. Existen otras vías de segundo orden que comunican las poblaciones de Cerro Alto, El morrillo y Santa Rosa del Morrillo, también se puede acceder desde la capital de provincia de Santa Elena hacia la Ruta del Spondilus a 30 km de dicha localidad.

### **CLIMA Y METEOROLOGÍA**

La Península de Santa Elena presenta un clima llamativo dividido en dos estaciones bien definidas durante el año, una estación cálida y lluviosa entre los meses de Enero –Abril una estación fría y seca entre Mayo – Diciembre. La primera se debe a la zona de convergencia intertropical y a la influencia de la corriente cálida del golfo de Panamá (corriente del niño). Koppen clasifica al clima como seco, semiárido, del tipo estepa. De acuerdo a la clasificación bioclimática.

Las precipitaciones anuales no alcanzan los 200 mm<sup>3</sup>. Una variación ligera pero apreciable se presenta en las localidades de Morrillo y Cerro Alto, pues según datos presentados por la PRONAREG (Programa Nacional de Regionalización), se indica una precipitación total anual inferior a 300 mm<sup>3</sup>, es decir el clima es un poco húmedo.

## **Geología regional**

La presencia de grandes anomalías gravimétricas positivas, indican que no existe litósfera continental bajo la costa Ecuatoriana sino más bien una litósfera Oceánica que fue accionada por alguna forma de colisión, por efecto de una antigua zona de subducción frente a la costa Ecuatoriana.

## **Geología local (Cuenca Pacoa)**

El bloque 1 geográficamente está localizada al sur de la falla Colonche que separa la cordillera Chongón Colonche del levantamiento Santa Elena/Cuenca Progreso. Dentro del Bloque 1 se definen dos campos de mayor y menor productividad, el Campo Pacoa y el área de Monteverde respectivamente, ambas ubicadas en la parte Sur-central del bloque 1. El campo Pacoa, con una extensión de 15 km<sup>2</sup>, fue el nuevo campo petrolero descubierto en 1990 por Belco.

## **OBJETIVOS GENERAL:**

Establecer los criterios, metodologías y requisitos mínimos, para el diseño, selección de materiales, instalación y mantenimiento de los sistemas de protección catódica en tanques de almacenamiento de hidrocarburos.

### **Específicos**

1. Conocer las ventajas y desventajas de los sistemas de protección catódica por medio de corriente impresa.
2. Conocer las ventajas y desventajas de los sistemas de protección catódica por medio de ánodos de sacrificio.
3. Conocer el diseño, instalación y mantenimiento de sistemas de protección catódicas para tanques de almacenamiento de productos petroleros.
4. Aplicar un sistema de protección catódica a tanques de almacenamiento de productos petroleros.

*“La integridad de una instalación hidrocarburífera garantiza que éste sea seguro y que permanezca intacto. Incluye cada aspecto del diseño, la inspección, la administración y el mantenimiento del mismo.”*



# CAPÍTULO I

## PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS DE LA CORROSIÓN

### DEFINICIÓN Y CONCEPTO DE LA CORROSIÓN

#### 1. CORROSIÓN

En la naturaleza los metales se encuentran bajo la forma de compuestos estables. Así como ejemplo el hierro se encuentra bajo la forma de óxido de hierro, debido a que es la forma más estable, de menor energía y menos reactiva.

El hombre ha encontrado la manera de utilizar los metales para su beneficio, extrayéndolos de la naturaleza, purificándolos y asociándolos con otros elementos para mejorar sus propiedades físicas y dándoles la forma apropiada para su utilización práctica. Éste es el campo de la Metalurgia.

Como nos muestra la figura 1, a través de estos procesos, se va transformando aquel compuesto natural en piezas metálicas que conformarán equipos; cada uno de estos procesos utilizados requiere de un aporte de energía y la pieza metálica final, tiene la forma y las propiedades deseadas, que son: dureza, brillo, color, elasticidad, resistencia mecánica por mencionar algunas, y posee un nivel de energía mucho mayor del compuesto natural de donde proviene.

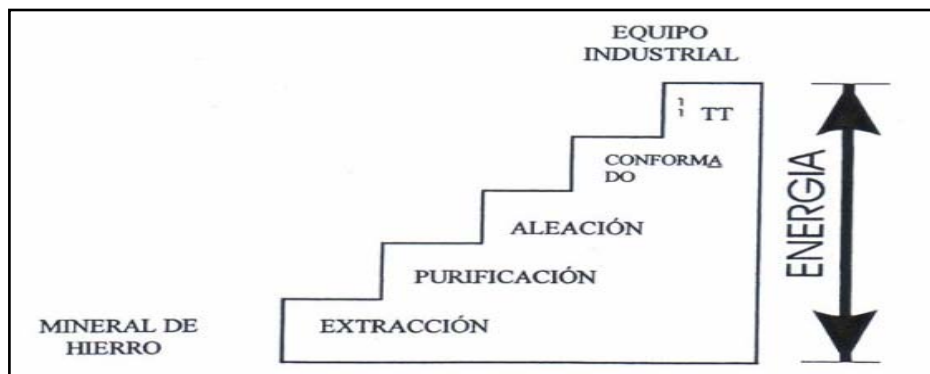


Figura 1. Proceso Metalúrgico

Ésta mayor carga energética hace que el metal resultado de éste proceso sea mucho más inestable que el compuesto original, y como consecuencia éste tiende a regresar al nivel de energía bajo del compuesto natural. Esta tendencia de un metal de volver a su estado de energía natural es el fenómeno que conocemos con el nombre de corrosión.

Dando una definición más completa podemos decir que:

A pesar de que existe este fenómeno natural que tiende a degradar nuestros objetos metálicos para llevarlos al estado de óxidos o sales disueltas, sabemos que se emplean los metales y aleaciones metálicas en forma generalizada en todos los aspectos de la vida humana: en el hogar, en la industria, en los servicios, en los transportes, etc.

**CORROSIÓN = DETERIORO DE UN MATERIAL POR ACCIÓN DEL MEDIO.**

Esto se debe fundamentalmente a que la velocidad de corrosión puede ser suficientemente baja para no afectarnos significativamente.

Existen varias maneras de expresar el concepto de corrosión, uno de los conceptos más aceptados a nivel de ingeniería es DETEORIZACIÓN DE UNA SUSTANCIA, "METAL" o de sus propiedades por la interacción del medio con el metal, es decir se cumple la siguiente acción:

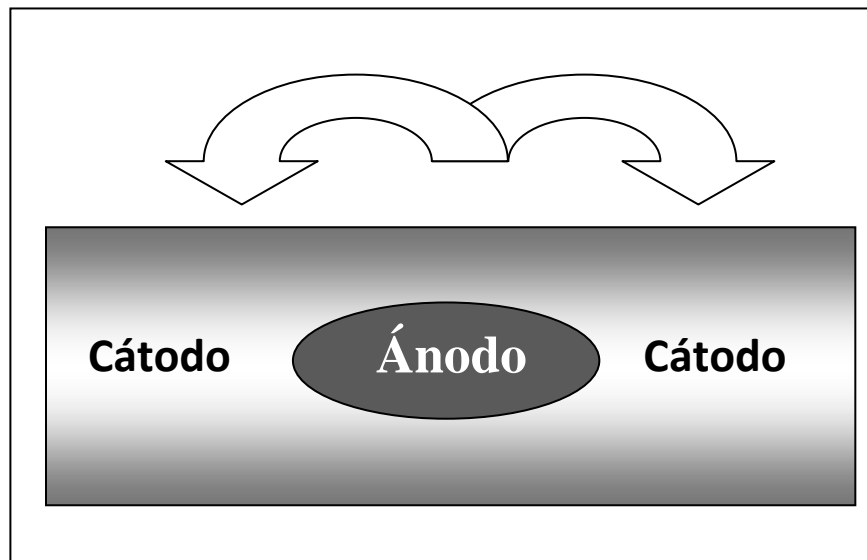
**MATERIAL + MEDIO = PRODUCTO DE CORROSIÓN + ENERGÍA**

En la naturaleza las minas son muy estables, aun estando en la tierra por muchos años poseen cambios muy pequeños. Como es de conocimiento general los metales son extraídos de las minas para refinarla y volverlas a su composición pura se utiliza energía destruyendo así el equilibrio que le proporciona la naturaleza.

Depende del tipo del metal para que requiera la cantidad de energía necesaria, determinando así que entre más energía se necesite para refinar un metal, dicho cuerpo se hace más susceptible, a la degradación por corrosión.

## 1.2. PROCESO DE LA CORROSIÓN

Siempre que se produce un fenómeno de corrosión de un metal o Aleación metálica sumergida en un medio húmedo, suelo, agua de río, agua demar, medio industrial, etc. Es posible identificar varios de los componentes del proceso corrosivo. La figura 2 nos muestra un tramo de tubería enterrada en el cual se han señalado éstos componentes.



**Figura 2. Corrosión en tramo de tubería enterrada o sumergida**

- 1.2.1 **Ánodo o zona anódica:** Sitio donde se produce la salida de una corriente eléctrica desde el metal hacia el suelo. Esta es la zona donde el metal sufre corrosión.
- 1.2.2 **Cátodo o zona catódica:** sitio al cual llega la corriente que proviene del suelo.
- 1.3. **Medio corrosivo:** en este caso el medio corrosivo es el suelo húmedo que ataca al metal.
- 1.3.1. **Corriente eléctrica:** flujo ordenado de electrones que viajan en una misma dirección, resultado de una diferencia de potencial existente entre dos elementos.
- 1.3.2. **Conductor eléctrico:** la corriente que sale de la zona anódica y circula por el medio corrosivo para penetrar en la estructura por la zona catódica, debe cerrar el circuito, en este caso a través de la propia tubería que actúa como conductor eléctrico.

El paso de una corriente eléctrica desde el metal hacia el suelo (**zona anódica**) o desde el suelo hacia el metal (**zona catódica**) produce reacciones que debemos conocer para poder familiarizarnos con el fenómeno de corrosión y entender luego los mecanismos utilizados para prevenirlo.

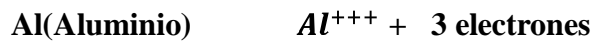
Es oportuno recordar el modelo del átomo, que tiene carga neutra o la suma de todas las cargas es cero. Si liberamos electrones del átomo se vuelve un ión positivo.

### 1.3.3. Reacciones Anódicas

En la zona anódica el metal se oxida siguiendo la reacción siguiente:



Ejemplos:

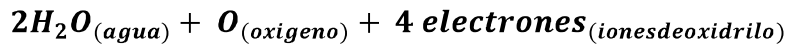


Estos electrones que quedan libres o disponibles de la reacción anódica se trasladan hasta la zona catódica, en la cual son consumidos en otras reacciones que se conocen con el nombre de reacciones catódicas.

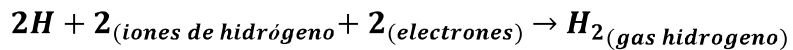
### 1.3.4. Reacciones Catódicas

Las reacciones catódicas más comunes son las siguientes:

#### Reacción del Oxígeno:



#### Reacción del Hidrógeno:



Se analizará cada una de ellas:

La reacción del oxígeno tiene lugar cuando en el medio húmedo hay oxígeno disuelto; esa combinación de agua y oxígeno reacciona con los electrones que quedaron disponibles de la reacción anódica o reacción de corrosión para dar como resultado la formación de iones de oxidrilo.

Estos iones son los causantes principales de la alcalinidad de un medio, podemos decir que esta reacción catódica de reducción de oxígeno aumenta la alcalinidad de un medio corrosivo.

La reacción del hidrógeno también consume electrones provenientes de la reacción anódica o de corrosión, pero en este caso el resultado es la formación de hidrógeno gaseoso. La presencia de iones de hidrógeno en un medio húmedo es común en los medios ácidos. Recordemos que la acidez de un medio está dada por la presencia de estos iones de hidrógeno.

A medida que son consumidos por la reacción catódica del hidrógeno el medio pierde carácter ácido. Es importante destacar que si no hubiera reacción catódica capaz de consumir los electrones que se generan en la reacción de corrosión o reacción anódica el fenómeno se detendría, porque de acuerdo con las leyes básicas de la electricidad no se puede acumular electrones.

Por eso algunos de los métodos de prevención de la corrosión se basan en neutralizar las posibles reacciones catódicas que complementan la reacción de corrosión consumiendo los electrones que aquella libera.

No puede haber reacción anódica o de corrosión si no hay una reacción catódica capaz de consumir los electrones que se producen.

#### **1.4. Factores que afectan la velocidad de corrosión**

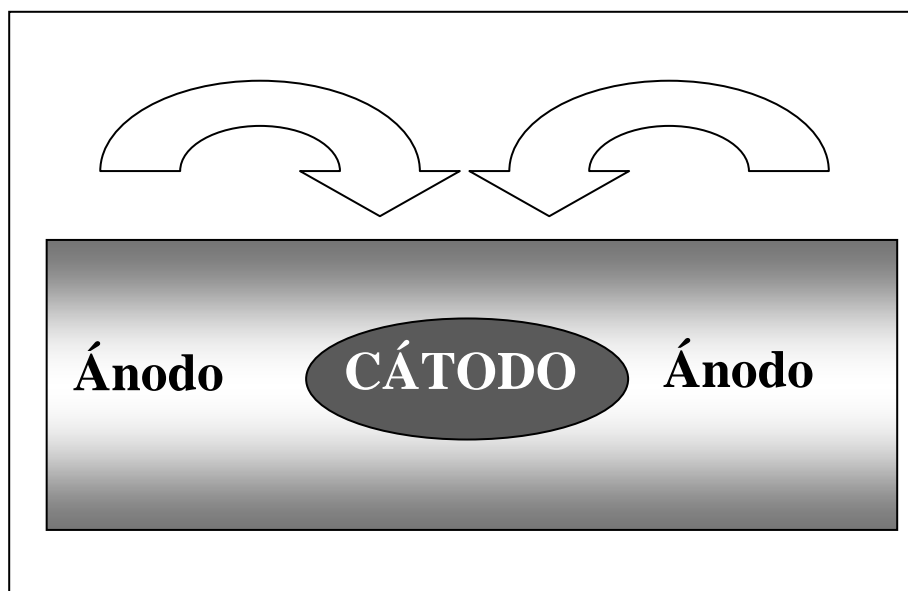
Entre los factores que intervienen en la velocidad de corrosión de un metal podemos mencionar los siguientes:

- La humedad del suelo o medio corrosivo.
- Su contenido salino.
- Los gases presentes en el medio.
- La composición del metal o aleación.
- Las tensiones residuales que pudieran quedar en el objeto metálico, producto del proceso de fabricación.
- Las tensiones mecánicas a que esté sometido el objeto por su uso.

En términos generales se puede afirmar que toda discontinuidad o irregularidad que exista en el objeto metálico o en el medio corrosivo constituirá un factor acelerador de la corrosión.

### **Discontinuidades en el metal**

En la figura 3 se muestra una tubería enterrada y sometida a la acción corrosiva del suelo húmedo. Una mancha de óxido presente en la tubería se comporta como factor acelerador de la corrosión. Éste óxido se comporta como catódico frente al hierro no oxidado, formando una pila o par bimetalico que acelera el fenómeno natural de la corrosión. Es importante destacar que la corrosión ocurriría de todos modos, con o sin la presencia de las manchas de óxido, el efecto de éstas es acelerar la velocidad del proceso.



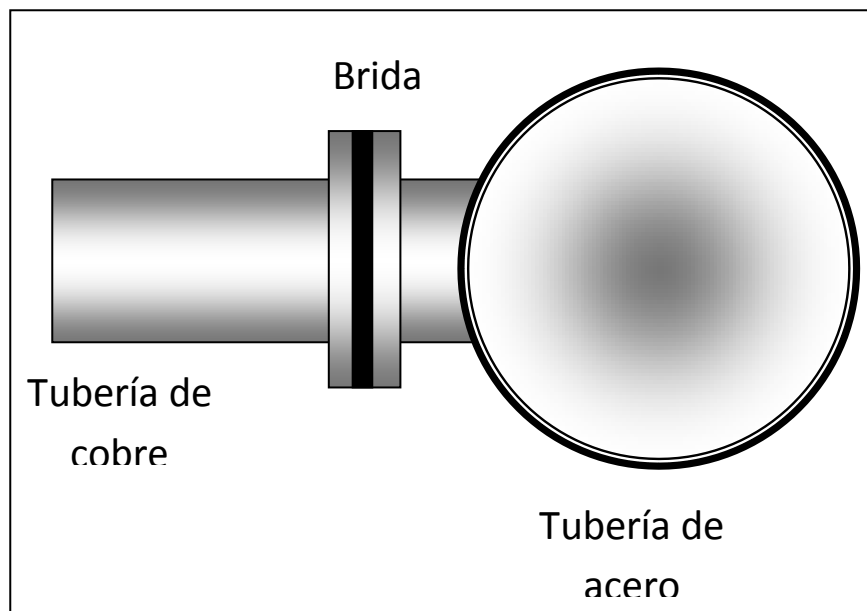
**Figura 3. Efecto acelerador del óxido de hierro**

En la figura 3 se muestra un caso típico de una red de gas en la cual la tubería principal es de acero y la tubería de entrada a una casa para suministrar gas es de cobre.



Éste último metal es más noble que el acero normal y, en consecuencia se formará una pila galvánica en la cual el ánodo o zona decorrosión será la tubería de acero y el cátodo lo constituirá la tubería de cobre.

Esto puede multiplicar la velocidad de corrosión enormemente.

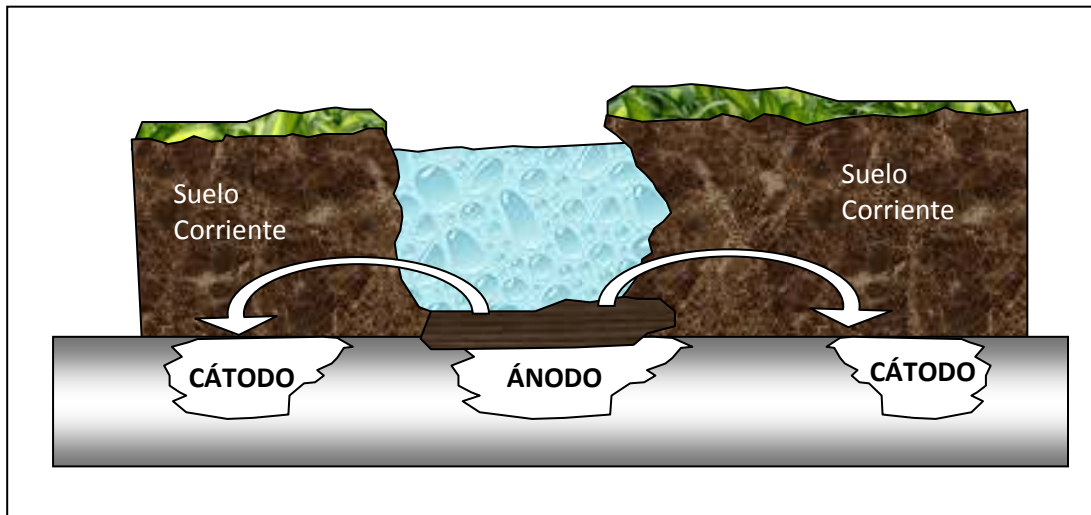


**Figura 4. Efecto acelerador de pila galvánica**

#### **Discontinuidades en el medio corrosivo**

La figura 5 muestra el cruce de una tubería a través de un río o quebrada; la zona mojada de la misma será más anódica que la zona seca, formándose también una pila

aceleradora de la corrosión, sólo que en este caso causa es una discontinuidad en el medio corrosivo.

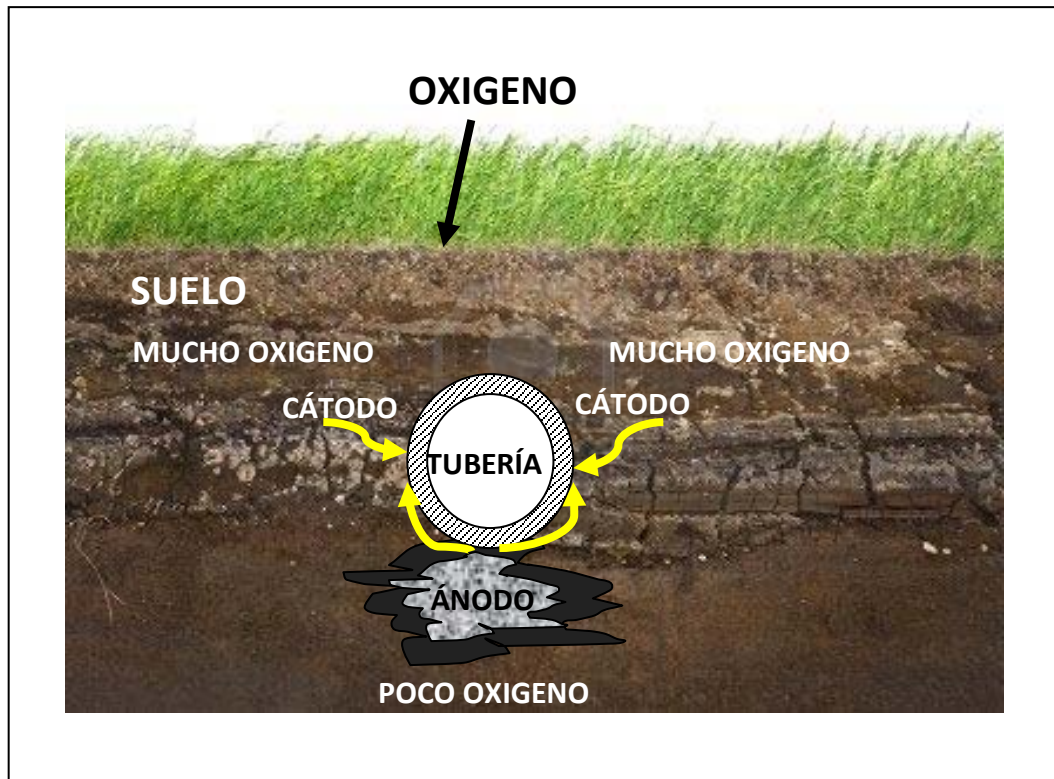


**Figura 5. Efecto acelerador de medios diferentes**

En la figura 5 también tenemos el caso de una tubería enterrada; se observa que la parte superior de la misma recibe más oxígeno por encontrarse más cerca de la superficie y éste gas penetra en el suelo por difusión; mientras tanto, la parte inferior de la tubería está menos oxigenada. Esto produce un fenómeno acelerador de la corrosión conocido como celda o pila de aireación diferencial.

La zona que recibe más oxígeno, en este caso la de arriba, tiene mayor facilidad para que se produzca la reacción catódica que involucra estegas, mientras que la zona con menor concentración del gas se convierte en una zona anódica o de corrosión.

Por ello es muy común observar que cuando se destapa una tubería enterrada la parte inferior está más corroída que la superior.



**Figura 6. Efecto acelerador de diferentes concentraciones de oxígeno**

#### **1.4.1. Clasificación de los metales**

Si bien la corrosión es un fenómeno natural que afecta a todos los metales y aleaciones, la velocidad del proceso es diferente para cada uno de ellos; Así por ejemplo; sabemos

que los aceros inoxidable son más resistentes a la corrosión en ciertos medios agresivos que los aceros al carbono normales.

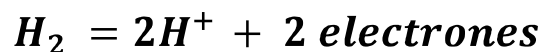
Esto nos permite establecer una clasificación de los metales en función de la velocidad con la cual se oxidan en un medio determinado; para ello se han elaborado dos tipos de ordenamiento llamados series.

### **Serie de Potenciales Normales o Estándar**

Ordena los potenciales de oxidación de los metales sumergidos en una solución normal de sus propios iones a presión y temperatura normales.

En anexos se incluye una serie de Potenciales Normales o Estándar típica; cada elemento se representa por una reacción en equilibrio, siendo el término de la izquierda el elemento en estado metálico y el de la derecha el estado oxidado del mismo, estableciéndose un valor de potencial para cada uno de los equilibrios.

Para medir este potencial se fijó como referencia y se le asignó un valor de cero, a la reacción del hidrógeno:



Estas series de potenciales normales sirven como referencia solamente, porque se basa en reacciones de equilibrio con una solución de sus propios iones del metal, lo que representa una condición ideal que difícilmente se da en la práctica. El segundo tipo de series engloba los metales y aleaciones de uso común en uno de los medios naturales más corrosivos y el que ocupa dos terceras partes del planeta Tierra es el agua de mar.

## **Series Galvánicas**

A diferencia de la serie de potenciales normales, en la serie galvánica se incluyen también aleaciones comerciales como Moner, Inconel R Hastelloy. En el extremo activo o anódico indica aquellos metales o aleaciones que tienden a corroerse en agua de mar, en tanto que el extremo noble o catódico incluye a los que tiende a resistir mejor la corrosión en dicho medio. También en este caso debe tomarse en consideración que la serie fue establecida en condiciones de laboratorio, de modo que sólo puede servir como referencia.

### **¿Para qué sirven las Series?**

Una de las aplicaciones posibles se da cuando se deben poner en contacto dos metales o aleaciones diferentes en un medio determinado; sabemos que el contacto entre dos metales produce un efecto acelerador de la corrosión en el cual uno de ellos se comportará como anódico y sufrirá corrosión en tanto que el otro será catódico quedando parcialmente protegido.

### **¿Cuál asumirá cada papel?**

El estudio de las series nos permite anticipar cuál será la tendencia de cada metal al ser acoplados, por ejemplo, la unión o contacto entre acero y aluminio en agua de mar (ver ubicación de cada uno en la serie galvánica) hace que el aluminio se disuelva (ánodo) y el hierro se proteja (cátodo).

## 1.4.2. CAUSAS DE CORROSIÓN

Existen 3 importantes causas que dan pie a la corrosión las mismas que se explicará más detalladamente a continuación

## CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA

La corrosión electroquímica consiste en la formación de celdas, en diferentes puntos de la estructura mecánica, causando un flujo de corriente causando de esta manera alteraciones químicas del metal.

Este tipo de corrosión implica varios parámetros como:

### 1.5. ÁNODO

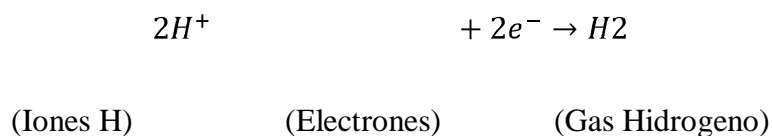
El **ánodo** es un electrodo en el que se produce una reacción de oxidación, mediante la cual un material aumenta su estado de oxidación al perder electrones. Un gran error que fue desarrollado es pensar en que su polaridad es eternamente positiva, el ánodo es positivo si absorbe energía y negativo cuando la suministra.

Cuando el metal se disuelve, los átomos que lo constituyen pierden electrones y van en la solución como ión. Los átomos contienen igual número de protones (partículas cargadas negativamente) La pérdida de electrones deja un exceso de cargas positivas y por lo tanto el ión resultante está cargado positivamente.

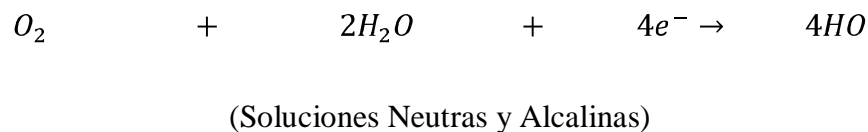
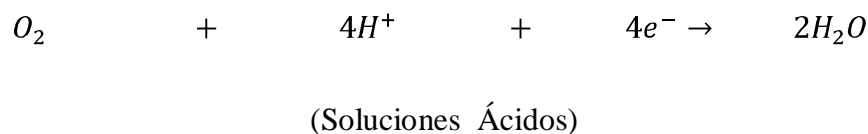
Dentro de esta reacción la pérdida de electrones se la conoce como oxidación El ión hierro está en solución y los dos electrones permanecerán en el metal.

### 1.5.1. CÁTODO

Es la porción superficial insolubles del metal, pero en dicha área se desarrollan otras reacciones químicas que se originan durante el proceso de corrosión los electrones son dejados atrás por la solución de hierro en el viaje del ánodo a través del metal hacia el área de la superficie catódica, los mismos que son consumidos por reacción con el agente oxidante presente en el agua. Este proceso donde son consumidos los electrones se llama reacción de oxidación.



Si el Oxígeno está presente, pueden ocurrir las siguientes reacciones:



Las reacciones de la sección anódica, producen electrones y la reacción o reacciones de la sección catódica consumen los electrones, Siendo así la característica principal de la

reacción electroquímica. Los electrones se generan mediante una reacción química, partiendo en un punto luego viajan a otro punto donde estos son usados para posteriores reacciones.

Con certeza se sabe que el flujo de corriente eléctrica da paso a los electrones de un punto a otro. El flujo de corriente eléctrica está en dirección opuesta al viaje del electrón, entonces los electrones fluyen desde el área anódica al área catódica, el flujo de corriente eléctrica se encontrará en dirección opuesta, es decir el cátodo en dirección al ánodo.

Teniendo presente que este flujo de corriente en mención de encuentra dentro del metal, motivo por la cual el camino metálico entre el ánodo y el cátodo es conductor de electricidad.

### **1.5.2. ELECTROLITO**

Para completar el circuito electrónico, la superficie del metal “ambos cátodos y ánodos” puede ser cubierta con solución eléctricamente conductiva, esta solución es conocida como electrolito. El agua pura es un electrolito pobre pero su conductividad eléctrica se puede incrementar disolviendo en ella sales.

El electrolito es el encargado de conducir corriente desde el ánodo al cátodo. Esta corriente fluye hacia atrás del ánodo a través del metal, a su vez completando el circuito.

*“Esta combinación entre ánodo cátodo y electrolito es llamado “celda de corrosión”*

## **PROCESO DE CORROSIÓN**



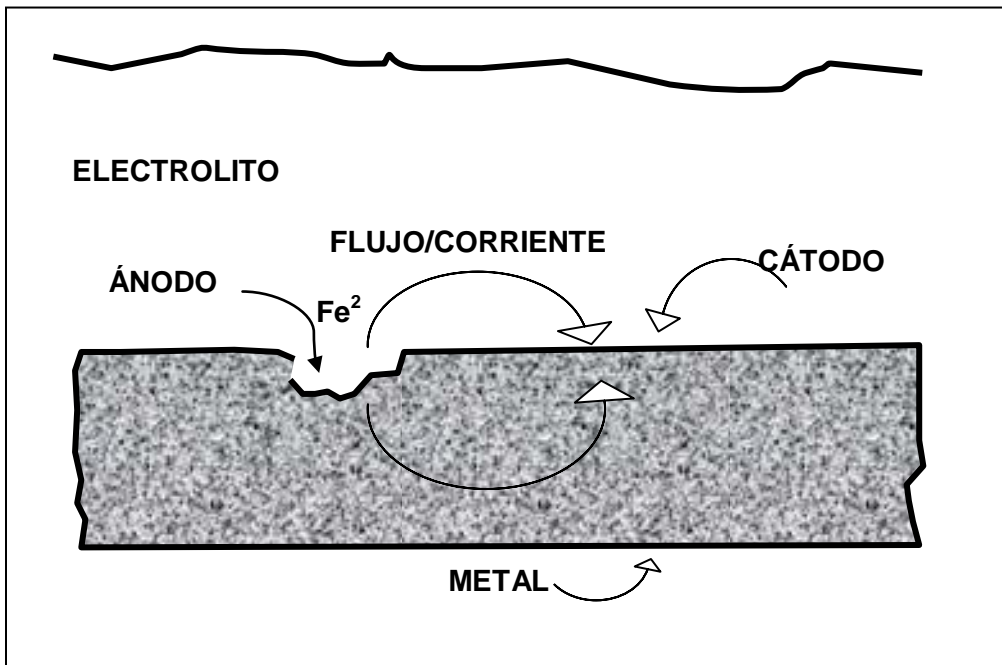


Figura 7. Proceso de corrosión

La transformación electroquímica, por la cual se produce la celda de corrosión, uno de los métodos más eficaces de protección contra la corrosión electroquímica es la aplicación de un sistema de protección catódica.

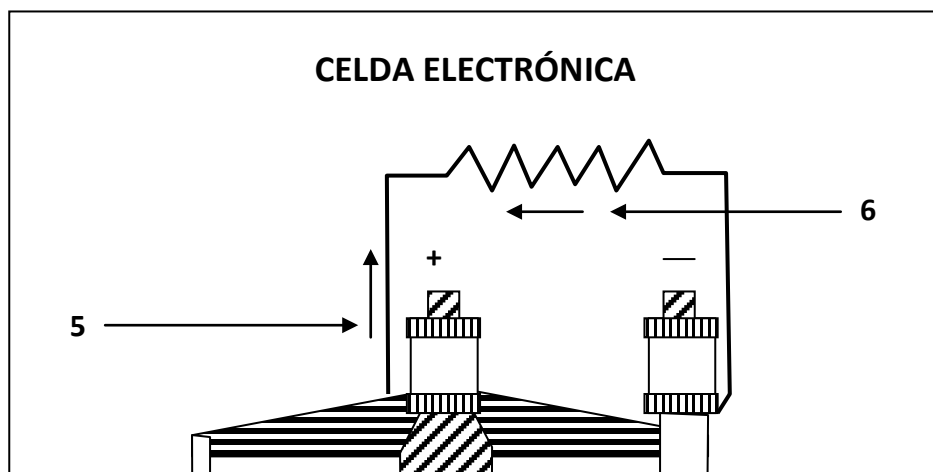




Figura 8. Celda electrónica

1. Varilla de carbón (cátodo)
2. Envase de zinc (ánodo)
3. Electrolito
4. Dirección del flujo de corriente a través del electrolito
5. Dirección del flujo de corriente en el circuito exterior
6. Flujo de electrones

## **CORROSIÓN**

La corrosión química consiste en el ataque directo de un elemento no metálico contra uno metálico.

**Ejemplo de elementos metálicos:**

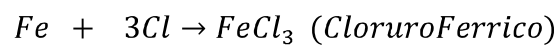
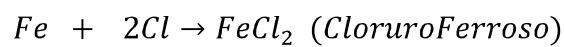
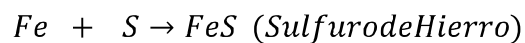
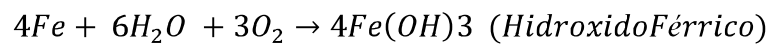
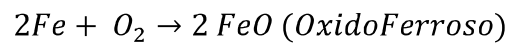
| ELEMENTO | SÍMBOLO |
|----------|---------|
| Oxigeno  | O       |
| Azufre   | S       |
| Cloro    | Cl      |

Cuadro .1 Elementos Metálicos

**Ejemplo de elementos no metálicos:**

- Son esencialmente metales ferrosos constituidos a base de Hierro (Fe), que conforma la mayoría de las instalaciones de superficie en los campos petroleros.
- El agua (H<sub>2</sub>O) es el enemigo de la mayoría de los metales, porque uno de sus componentes es el oxígeno.

Por causa del agua ocurren las siguientes reacciones que son:

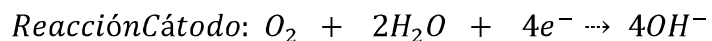
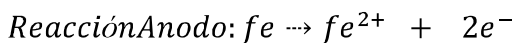


Además del ataque corrosivo de estos elementos mencionados, la corrosión puede ser causada por la reacción de ciertas soluciones o compuestos químicos y sales oxidantes como:

- Cloruroférico
- Sulfato de cobre
- Sulfuros metálicos
- Gases sulfhídricos
- Sulfato de hidrógeno
- Sulfuro de hidrógeno
- Ácidos orgánicos
- Dióxido de carbono
- Cloruro de amonio

Estos tienen una corrosividad característica o específica.

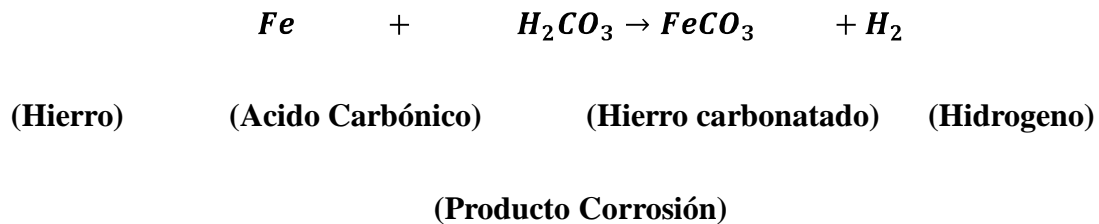
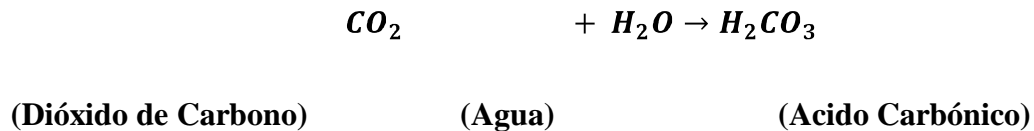
La corrosión de oxígeno ocurre por medio de las siguientes reacciones:



### **El oxígeno principalmente causa corrosión por picadura**

Cuando el dióxido de carbono es disuelto en el agua, da lugar a la formación del ácido carbónico, disminuye el pH del agua y se incrementa la corrosividad.

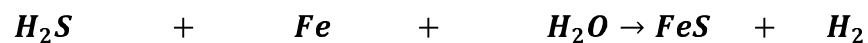
Esta corrosión no es como la del oxígeno pero por lo general resulta de la picadura, la reacción es:



La corrosión primaria es causada por la disolución de carbono es comúnmente llamada: “corrosión dulce”.

El sulfuro de hidrogeno es muy soluble en agua y una vez disuelto su comportamiento es como un ácido débil, originando generalmente picadura. Al ataque corrosivo por H2S se lo llama: “corrosión agria”.

La reacción general de corrosión por H2S puede establecerse de la siguiente manera:



(Ácido Sulfúrico) (Hierro) (Agua) (Sulfuro de Hierro) ( Hidrogeno)

Los daños que se producen por la corrosión en el interior de las tuberías se deben a la acción de este fenómeno.

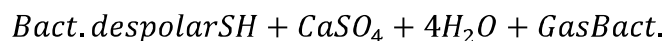
### **CORROSIÓN BACTERIAL.**

El deterioro del metal puede tener algunos causales pero principalmente puede ser influenciada por varios micros – organismos que pueden dar inicio o estimular la corrosión de un metal.

Debemos considerar que las bacterias sulfato- reductoras son micro- organismos que participan en la corrosión, ya que estos se caracterizan por tener la habilidades de utilizar el compuesto azufre para un posterior proceso metabólico, para así producir los sulfuros.

Puesto que estas bacterias son consideradas en los grupos de las anaeróbicas, son muy comunes en sistemas altamente aireados. Existe similitud entre la acción de un despolarizador y las bacterias sulfato reductoras dentro del proceso de corrosión.

Estas bacterias tienen la capacidad de reducir los sulfatos o sulfuros, y como en toda ecuación química la reducción corresponde a la oxidación, tanto los ácidos orgánicos como los hidrocarburos e hidrógenos presentes en el sistema, actuarán como materiales oxidables, permitiendo cumplirse la reacción siguiente.



## **1.6. CLASIFICACIÓN DE LA CORROSIÓN**

La corrosión está clasificada en dos grupos:

- Por el tipo de corrosión
- Por el medio ambiente

### **1.6.1. CLASIFICACIÓN DE ACUERDO AL TIPO**

- **CORROSIÓN GENERALIZADA**

Es considerada como una corrosión uniforme, es decir que la superficie del metal es corroída uniformemente en toda su longitud. Su característica es una reacción por lo general química que se realiza sobre un área bien extensa del material.

Este tipo incluye formas de corrosión tan conocidas, como la formación de herrumbre en el hierro, oxidación de los metales, el empañado de la plata etc.

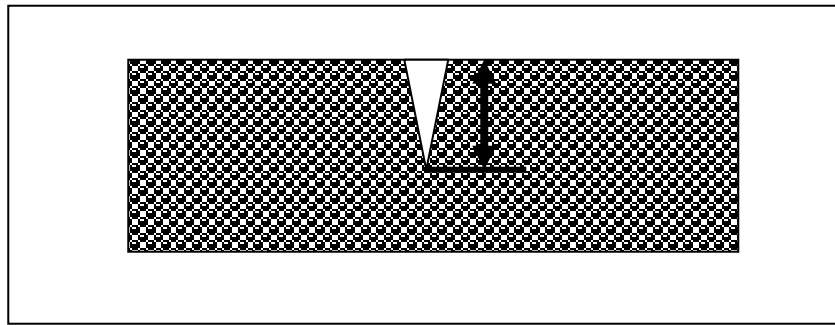
- **CORROSIÓN LOCALIZADA**

Esta corrosión se destaca preferentemente en algunos puntos discretos y puede ser sub-clasificada en:

**1.- Por Picadura.-** Este tipo de corrosión se caracteriza por la perforación en determinados puntos.

Los orificios o agujeros, generalmente son causados por una celda de corrosión.

De acción local que produce cavidades de diámetro pequeño, comúnmente distantes uno de otros, pero cuando están cercanos dan la apariencia de una superficie rugosa.



**Figura. 9 Una picadura se caracteriza porque el área superficial es pequeña pero la profundidad del ataque es importante**

**Cavitación.-** El tipo de corrosión por cavitación se produce por la formación de burbujas de vapor de los líquidos y el impacto posterior de las mismas en la superficie dinámica del contacto metal – líquido. Como sucede en los rotores de las bombas en las tuberías con altas velocidades de líquidos, en los separadores etc.

Lo que causa una serie de picadura generalmente donde se encuentra los diámetros pequeños en la cara del material expuesto. Las burbujas formadas por el líquido aceleran la cavitación las mismas que colapsan y destruyen la capa protectora del metal.

**Fricción o Roce.-** Esta corrosión por fricción o roce se produce por un movimiento relativamente pequeño como el que produce la vibración entre dos materiales en contacto que por lo general uno o ambos son de estructura metálica y dan paso a que se origine una serie de picadura en el área de contacto o cara de



roce, aunque se presenten pequeños desplazamientos entre 10 a 8 cm se producen daños de fricción si esta acción es repetida.

**Hendidura.-** Es frecuente que exista una corrosión intensa que se localizan dentro de las fisuras y otras áreas cubiertas de superficies metálicas expuestas a ambientes corrosivos. Este tipo de ataque se presenta con pequeños volúmenes de solución estancados en huecos, empaques, uniones, depósitos superficiales y algunas fisuras debajo de cabezas de pernos y remaches. Algunos de los depósitos que pueden ser causante de este tipo de corrosión son: polvo, arena, productos de corrosión y otros sólidos, que cubren ciertas áreas y establecen condiciones de la solución en la zona cubierta.

Este tipo de corrosión también puede presentarse en contacto con un cuerpo metal y un no metal como son: empaques, maderas, plásticos, cauchos, concretos, asbestos, etc.

Para que una fisura pueda actuar como zona de corrosión debe tener la suficiente abertura para permitir la entrada del líquido, pero al mismo tiempo debe ser lo suficiente estrecha para contener el líquido estancado dentro de la fisura por tal motivo este tipo de corrosión se desarrolla en fisuras de algunas milésimas por 2mm o 3 mm de largo.

### **Corrosión en grietas**

Se muestra un caso típico de corrosión en grietas o espacios confinados, se trata de un tornillo o perno con su arandela que sujeta dos planchas metálicas entre sí. Entre la arandela y la plancha hay un “espacio confinado” en el cual puede penetrar líquido pero la concentración de oxígeno es menor que en la parte exterior de la grieta. Se forma entonces una celda o pila de aireación diferencial que produce un ataque acelerado bajo la arandela, precisamente donde no es posible detectarlo. Para que se produzca este tipo de ataque deben darse ciertas

condiciones: existencia de un espacio confinado o grieta, presencia de un medio corrosivo y diferencia en la concentración de algún agente agresivo dentro y fuera del espacio confinado, principalmente oxígeno.

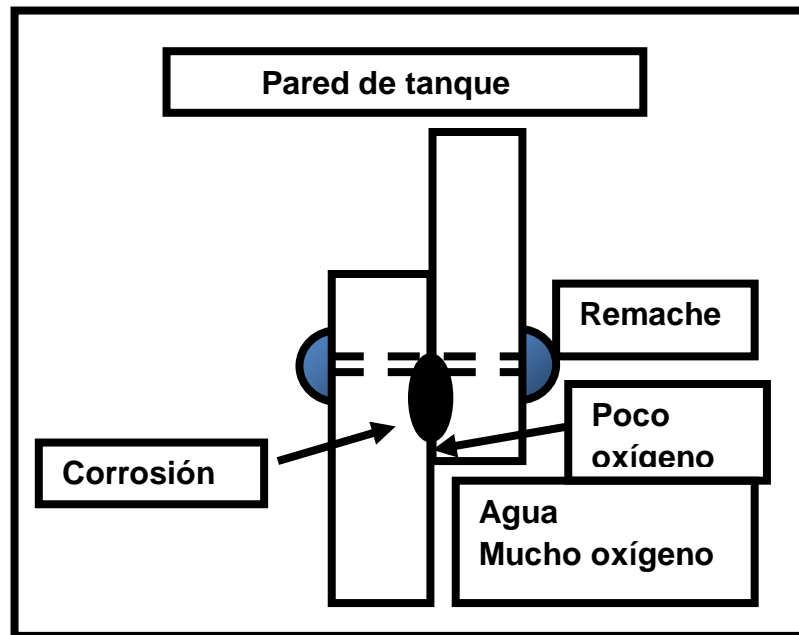


Fig. 10. Condiciones para el ataque corrosivo

### 1.6.2. Corrosión combinada con otros fenómenos

En muchas ocasiones se produce un efecto conjunto de corrosión con otro tipo de ataque a la estructura; por ejemplo.

#### **Esfuerzos Mecánicos**

Un material sometido a un medio corrosivo y a un esfuerzo mecánico en forma simultánea, puede sufrir daños en un tiempo muy corto. El esfuerzo mecánico puede ser continuo o discontinuo. La combinación de corrosión y esfuerzos mecánicos continuos produce un fenómeno acelerado conocido como **corrosión bajo tensiones**. Si la tensión se aplica en forma cíclica, por ejemplo las dilataciones y contracciones que sufre un

equipo sometido a calentamientos y enfriamientos sucesivos, el fenómeno se denomina **corrosión por fatiga**. Es importante destacar que aun cuando estos fenómenos se dan en forma simultánea, cada uno de ellos se trata en forma separada porque se trata de procesos diferentes.

### **Erosión**

En este caso la corrosión va acompañada de una acción superficial de erosión; un ejemplo de ello es el de las bombas que envían petróleo con arena desde el fondo de un pozo productor hacia la superficie: el efecto corrosivo de algunos componentes del petróleo se suma al efecto erosivo de la arena que lo acompaña.

También se observa éste fenómeno en pozos de agua con arena y en reactores catalíticos de refinerías, en donde los catalizadores, generalmente óxidos metálicos muy duros, producen erosión simultáneamente con la corrosión.

Una característica interesante de este tipo de ataque es que la erosión va eliminando los productos de corrosión, lo que dificulta determinar los agentes corrosivos que causan el ataque.

Además, los productos de corrosión pueden actuar brindando una protección parcial contra la corrosión posterior del metal pero la erosión los elimina. Los procesos de corrosión-erosión se presentan preferentemente donde la mezcla corrosiva choca con una pared metálica, como ocurre en codos de tuberías, sitios donde cambia el diámetro de una tubería etc. una forma de minimizar su efecto destructivo es precisamente evitar, a nivel de diseño, el uso de codos en 90°, cambios bruscos en la dirección del fluido.

### **Corrosión por bacterias**

Cuando se habla de “corrosión por bacterias” debe tomarse en consideración que las bacterias no atacan directamente al metal sino que se trata de fenómenos complejos en los cuales intervienen los procesos alimenticios de estos microorganismos; por ejemplo, las bacterias sulfato reductoras (desulfovirió desulfuricans) que se identifican por la sigla SRB, se alimentan de sulfatos orgánicos y producen como desecho sulfuros que pueden afectar a algunos metales y aleaciones.

Como característica típica de estos ataques debe destacar la aparición de un producto de corrosión consistente en una capa de sulfuro de hierro de color negro.

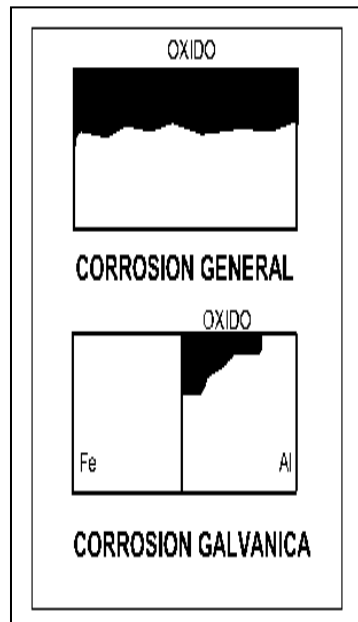
Las bacterias sulfato-reductoras se desarrollan cuando el medio es pobre en oxígeno (condición anaeróbica); con frecuencia un depósito de suciedad o barro hace que el contenido de oxígeno bajo el mismo sea suficientemente reducido como para permitir el desarrollo de estas bacterias.

Se produce entonces un ataque ocasionado por dos factores que actúan en forma conjunta: el desarrollo de SRB y la existencia de una celda o pila de aireación diferencial.

### **Corrosión selectiva**

- Por socavados
- Bajo tensión
- Por corrientes parásitas
- Intergranular
- Galvánica

## CORROSIÓN GENERAL



## CORROSIÓN LOCALIZADA

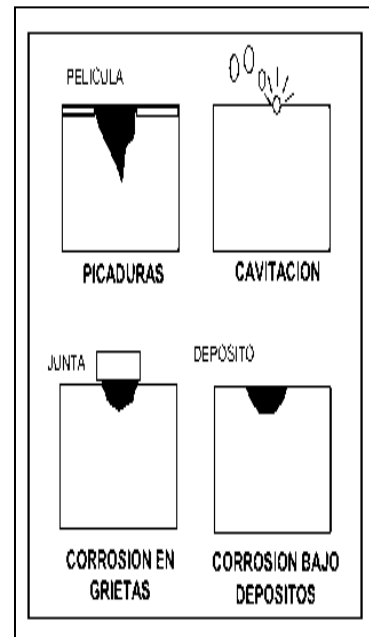


Figura. 11 comparaciones de corrosión general y localizada

### 1.6.3. CLASIFICACIÓN DE ACUERDO AL MEDIO AMBIENTE

Existen las siguientes clases:

#### GASEOSO:

Cuando el medio está constituido por gases o el aire atmosférico, que es el ejemplo típico.

El aire atmosférico puede ser subclasificado en:

**INDUSTRIAL:** Que contiene  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NO}_2$ , y otros productos químicos.

**MARINO:** Que contiene cloruros.

**URBANOS:** Que contiene SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, Y NO<sub>2</sub> en concentraciones bajas.

**TROPICAL:** Que posee una alta humedad relativa de aire a temperatura elevada.

**POLUIDO:** Es el compuesto por el nitrógeno, vapor de agua y gas carbónico (componentes naturales) y que contiene otros gases o sustancias.

## **COMBINACIÓN DE LAS ANTERIORES**

### **NO POLUIDO O RURAL**

Es aquel que contiene los componentes normales del aire y eventualmente polvo(sólidos (SiO<sub>2</sub>) EN SUSPENSIÓN).

### **SÓLIDO**

Está representado particularmente por los suelos. Se subdivide en:

- Arenosa
- Arcillosa
- Otras

### **LÍQUIDO:**

Tiene las siguientes subdivisiones:

- **NATURAL:** Representada por las aguas y que se subdivide en:

**DULCE.**-Representada por los ríos y lagos.

**SALADA.**- Representada por los mares y océanos.

**OTRAS.**- Representadas por los productos químicos tales como:

Alcohol, ácidos, éteres, esteres, etc.

## **CAPITULO II**

### **LA CORROSIÓN EN LA INDUSTRIA PETROLERA**

La vida útil del equipo de la industria petrolera se acorta a menudo como un resultado de la corrosión y en los últimos 10 años se ha tenido grandes adelantos en su detección y remedios aplicados para controlar, en la producción del petróleo.

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 de sufrir el 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.

La ocurrencia de corrosión en la producción de un campo petrolero es un proceso continuo que nunca termina. Muchos campos son designados “NO CORROSIVOS” al comienzo de su historia, pero con el paso del tiempo los problemas de operación y fallas debido a la corrosión aumentan y se hacen necesarias medidas de control de corrosión.



Métodos modernos de medición de las tasas de corrosión muestran que estos valores pueden variar en horas, días, o semanas.

Algunos de los factores que pueden originar cambios en las tasas de corrosión son: fuga de aire, incremento de la producción de agua incremento del contenido de gas ácido (como el H<sub>2</sub>S), actividad bacteria, operaciones de recuperación secundaria y variaciones en la presión.

La corrosión puede ocurrir en cualquier parte del sistema de producción, desde el fondo del pozo hasta en los equipos utilizados en el proceso para la venta del petróleo y gas.

## **2.1. CORROSIÓN EN FACILIDADES DE SUPERFICIE**

### **2.2. CABEZAL DE POZOS**

Los cabezales que trabajan con una alta presión en pozos de gas, pueden ser severamente corroídos y/o erosionados.

Los cabezales de pozos productores con un alto porcentaje molar de gases ácidos generalmente están sujetos al mismo ataque corrosivo experimentado por los equipos de subsuelo, bajo las mismas condiciones.

Frecuentemente este tipo de ataque puede ser disminuido con la selección de materiales apropiados y completado con diseños de programas agresivos de tratamientos.

### **2.3. LÍNEAS DE FLUJO**

Las líneas de flujo están ubicadas en un rango que van desde tuberías nuevas a tuberías desgastadas.

Están sujetas a los mismos agentes corrosivos y modos de ataque como los tubos bajo superficie esto es: acumulación de depósitos y picaduras.

Los depósitos pueden ser removidos por “chanchos” mecánicos o poliuretano.

Los diseños de las líneas de flujo con respecto al tamaño y velocidades son extremadamente importantes.

La corrosión interna puede ser controlada por recubrimiento o inhibidores. La corrosión externa por protección catódica y recubrimiento.

### **2.4. EQUIPOS DE PROCESAMIENTO DE GAS**

Estos equipos están sujetos a una corrosión que resulta de la presencia de trazos de oxígeno y otros gases ácidos en las corrientes de gas.

El ataque corrosivo puede ocurrir donde la humedad es condensada por el flujo de hidrocarburos.

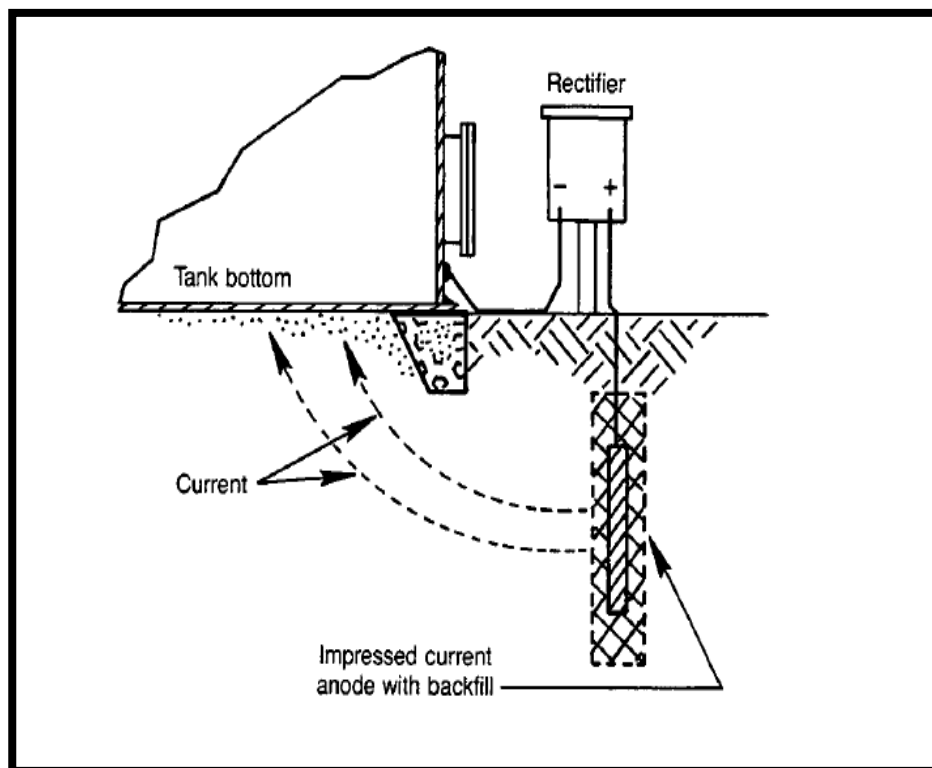
### **2.5. TRATADORES DE CALOR**

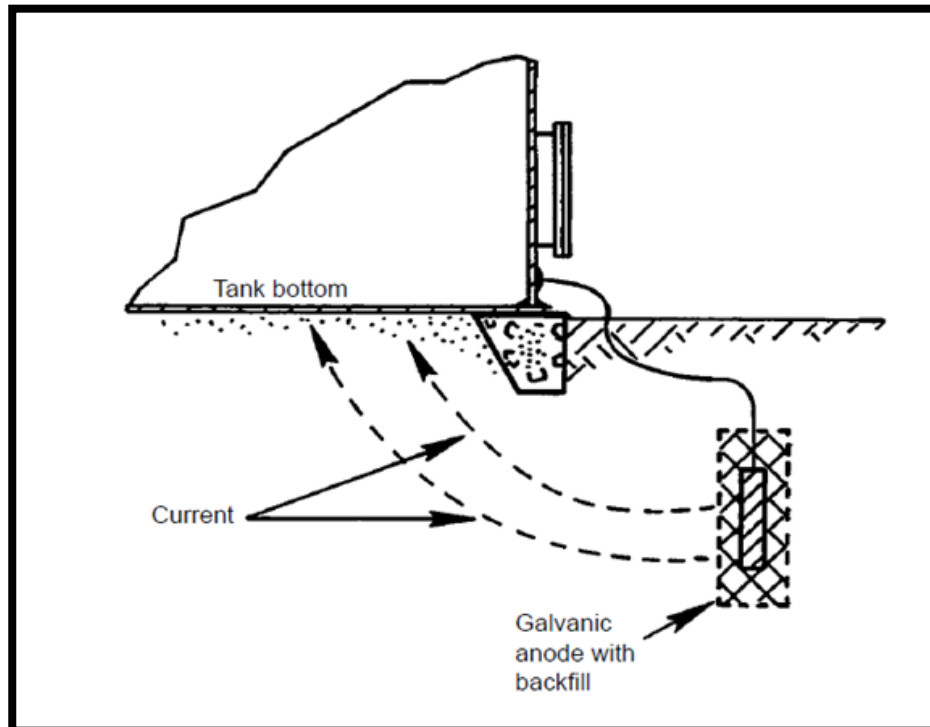
Los tratadores de calor usados para la deshidratación de crudos de aceites están sujetos a la depositación de escalas y corrosión. Las elevadas temperaturas en el tratador de calor tienden a incrementar la corrosión y la tendencia al escalamiento. La sección de agua en el tratador y recipientes similares son generalmente protegidos internamente por recubrimientos o protección catódica.

## 2.6.TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Los tanques de almacenamiento están sujetos a corrosión particularmente en el lado de abajo del techo donde las gotas de gas ácido o y/o el oxígeno están presente. Un segundo tipo de corrosión tiene lugar en el fondo del tanque de almacenamiento. La corrosión tiene lugar cuando gotas pesadas de escala golpean el lado de abajo del tanque.

Figura 12. Instalacion de proteccion catodica por corriente impresa vs. Ànodos de sacrificio





### CAPITULO III

## CORROSIÓN EN TUBERÍAS

Tanto el interior como el exterior de la tubería pueden ser atacados por la corrosión. Situación que se reconoce por la presencia de picaduras o huecos en la tubería.

### 3.1. CORROSIÓN INTERNA

### 3.2. FACTORES QUE LA ORIGINAN.-

El desgaste en el interior de la tubería generalmente es causado por la producción de fluidos corrosivos desde el pozo, pero se puede incrementar por efectos abrasivos en la tubería y en equipos de bombeos y por las altas velocidades de los fluidos.

La corrosión interna también puede ser originada por corriente eléctrica errantes (electrolisis) o por la similitud de los metales puestas en contacto (corrosión galvánica bimetalica)



**Figura. 13 Corrosión interna en tuberías**

### **3.3. FORMAS DE DETECCIÓN**

Si encontramos un porcentaje de dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  de aproximadamente 20% y tomando en cuenta la presión de operación en la cabeza del pozo por sobre 1300 lbs./pulg<sup>2</sup>.Pudiendo presumir que la presión parcial de  $\text{CO}_2$  seria suficientemente alta como para producir corrosión interna.

**Figura. 14 La técnica para detecta la corrosión es la de monitoreo**



### **3.4. PERFIL DE CALIBRACIÓN**

Las herramientas para la inspección de presencia de corrosión se han utilizado por muchos años, la reducción del diámetro interno de la tubería de revestimiento indica corrosión general o ataque por picaduras.

Probablemente el método más común de detección y monitoreo de la corrosión interna y su control ha sido la exposición a prueba de una pieza modelo de un material, colocado en el lugar de ambiente corrosivo para luego ser analizado

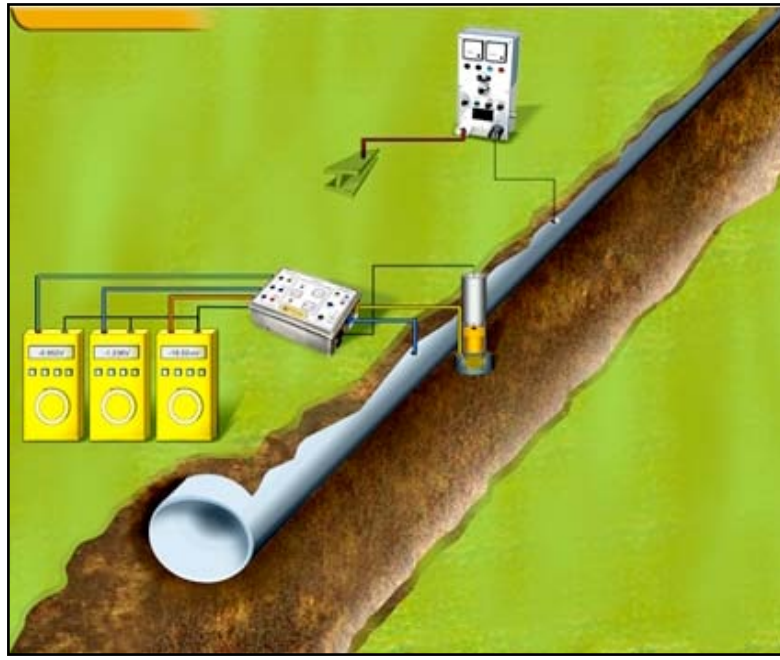
Esta tentativa incluye cupones, pruebas de boquillas bobinas y dispositivos especiales usando pruebas de corrosión.

### **3.5. CUPONES**

En producción de hidrocarburos es común instalar cupones para la evaluación de sistemas de corrosión.

Un cupón es una pieza pequeña de metal que es insertada en el sistema y que admite la corrosión.

Estos cupones son cuidadosamente limpiados y pesados, antes y después de ser expuestos a la corrosión. De la pérdida de peso del cupón se puede determinar la tasa de corrosión.



La técnica consiste en introducir un electrodo móvil en los pozos de medición, lo más cerca posible del testigo conectado a la canalización bajo una corriente de protección catódica. Se realiza una medida de potencial «ON» entre el electrodo y el testigo, además, la conexión entre el cupón y el conducto se corta varios milisegundos para realizar una medida potencial

### **3.6. LOCALIZACIÓN.-**

La localización del cupón en el sistema tiene grandes efectos en los resultados debido a que la corrosión no siempre tiene lugar uniformemente a través del sistema.

El cupón en el cabezal del pozo indica una tasa baja de corrosión sin embargo si se coloca al mismo tiempo el cupón bajo superficie nos puede presentar índices altos con serios problemas de corrosión.



### **3.7. MÉTODOS UTILIZADOS PARA CONTROLAR EL PROBLEMA**

Cuando se conoce que existe corrosión podemos utilizar las siguientes prácticas para controlar la situación.

Es preferible la dependencia de inhibidores para proteger el interior de la tubería.

#### **3.7.1. USO DE INHIBIDORES**

Los inhibidores de corrosión hacen que se formen capas protectoras en las tuberías.

Aunque estas reducen la corrosión, no pueden contrarrestarla totalmente. Por lo tanto, el éxito de cualquier inhibidor de corrosión depende de la habilidad del operador del agua en:

Aplicar el doble y el triple de la dosis de diseño del inhibidor durante las aplicaciones iniciales para construir una capa protectora que prevenga picaduras.

Mantener dosis del inhibidor continuas y suficientemente altas para prevenir la redisolución de la capa protectora; y alcanzar un flujo de agua constante sobre las superficies metálicas del sistema para permitir una aplicación continua del inhibidor.

Existen varios inhibidores de corrosión comercialmente disponibles que pueden ser aplicados con sistemas químicos de alimentación normales. Entre los más comúnmente usados por fuentes de agua potable son los fosfatos inorgánicos, los silicatos de sodio y las mezclas de fosfatos y silicatos.

## **3.8. CORROSIÓN EXTERNA**

### **3.8.1. FACTORES QUE LA ORIGINAN**

La corrosión en el exterior de la tubería de revestimiento puede ser causada. Por fluidos corrosivos de la formación en contacto con la tubería de revestimiento o por corrientes eléctricas errantes que fluyen por la tubería. Una corrosión grave también puede ser originada por la presencia de bacterias sulfato reductoras.

Una diferencia potencial (voltaje) es necesaria para el flujo de corriente en cualquier circuito.

Esta diferencia de potencial puede ser causada por una reacción electroquímica cuando la corrosión electroquímica cuando la corrosión fluye del área anódica de la estructura hacia el área catódica (corrosión).

El punto donde el flujo de la corriente regresa a la estructura es el área catódica, que se protege a expensas del área anódica.

En la perforación y completación de pozos, la tubería de revestimiento asentada, atraviesa tubería con composiciones variadas (arena, arcilla, caliza, etc.).

Los fluidos de cada una de estas zonas, especialmente el agua, tienen rangos de composición diferente: desde agua fresca hasta agua saturada de sal. La conducción

La conductividad eléctrica y el potencial estático de la zona se basan sobre estas características, razón por la que en algunos campos existen intervalos de corrosión de moderada a severa “detrás de la tubería de revestimiento”.

Estos intervalos problemáticos se pueden identificar y la severidad de la corrosión de una zona específica puede ser pronosticada.

### **3.8.2. FORMA DE DETECCIÓN**

Ninguna herramienta ha sido diseñada para la determinación la condición externa de la tubería de revestimiento de un pozo sin embargo el detectar la condición externa de la tubería de revestimiento de un pozo.

Sin embargo el detectar la disminución en la concentración de ppm  $Cl^-$  y un aumento en el porcentaje del corte de agua (BSW) son los primeros indicios para identificar una posible rotura de la tubería de revestimiento, razón por la que todos los pozos con salinidades bajo 22000 ppm Cl deben ser observados cuidadosamente y se convierten en candidatos a ser reacondicionados con el fin de realizar el chequeo del diámetro interior de la tubería.

### **3.8.3. MÉTODOS UTILIZADOS PARA CONTROLAR EL PROBLEMA**

Cuando se sabe que existe corrosión externa o se conoce que corrientes eléctricas errantes relativamente altas entran en él, pozo entonces las siguientes prácticas pueden ser empleadas.

- Aislamiento eléctrico de las líneas de flujo que van al pozo utilizando bridas de ensamblaje no conductoras para reducir o prevenir que corrientes eléctricas entren al pozo.
- El uso de lodo altamente alcalino o lodo tratado con bactericida así como los fluidos de completación, pueden ayudar a aliviar la corrosión causada por las bacterias sulfato reductoras.
- Un apropiado diseño de un sistema de protección catódica puede aliviar la corrosión externa de la tubería de revestimiento.

#### **3.8.4. Introducción a los Métodos Protectores.**

Una vez conocidos los principios involucrados en el fenómeno de Corrosión estamos en condiciones de comenzar el estudio de los métodos preventivos.

Existe una gran variedad de técnicas que nos permiten reducir los efectos perjudiciales de la corrosión sobre los materiales de uso industrial o doméstico; cada una de ellas tiene un campo de aplicación específico y es común el uso de combinaciones de las mismas.

Las dos principales formas de protección son pinturas y protección catódica.

#### **3.8.5. Pinturas y recubrimientos**

Aunque no es el tema específico de estudio de este trabajo, está íntimamente ligado a la protección catódica, por lo tanto vale la pena hacer una reseña sobre los principales conceptos de éste campo.

Desde el punto de vista de la corrosión, un recubrimiento es una barrera física que separa el metal del medio corrosivo.

Acostumbramos a ver una pintura o recubrimiento simplemente como una capa que se aplica sobre un metal pero es mucho más que eso.

|                                  |  |   |
|----------------------------------|--|---|
| <b>METAL</b>                     | <b>PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE</b>  | <b><u>MÉTODOS</u></b>   |
|                                  | <p>FUNCIONES: eliminar óxido, suciedad, grasa, aceite.<br/>           Crear una superficie rugosa que facilite la adherencia mecánica de la pintura</p>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>* ARENADO</li> <li>* GRANALLADO</li> <li>* CEPILLADO</li> <li>* DECAPADO</li> <li>* LAVADO</li> </ul>  |
| <b>FONDO, BASE O IMPRIMACIÓN</b> | <p>FUNCIONES: inhibir la corrosión, adherirse al metal.</p>  | <b><u>TIPOS</u></b>   |
|                                  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>* CROMATOS DE Zn</li> <li>* MINIO DE PLOMO.</li> <li>* RICOS EN Zn.</li> </ul>   |
| <b>ACABADO</b>                   | <p>FUNCIONES: *</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Impermeabilidad</li> <li>Adhesión química</li> <li>Resistencia a la Radiación solar.</li> </ul> | <b><u>TIPOS</u></b>   |
|                                  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>* ALQUÍDICAS.</li> <li>* FENÓLICAS.</li> <li>* EPÓXICAS.</li> <li>* POLIURETANOS.</li> <li>* CAUCHOS</li> <li>* CLORADOS</li> <li>* ASFÁLTICAS.</li> </ul> |

**Cuadro 2. Recubrimiento**

### **3.8.6. Preparación de la Superficie:**

Probablemente es aspecto más importante del sistema. Sin una buena preparación de la superficie la pintura o revestimiento no se adherirá apropiadamente, perdiendo su efecto protector.

La mayoría de fallas en pinturas se produce por deficiencias en la preparación de la superficie. Los objetivos son básicamente dos: eliminar todo aquello que puede reducir la adherencia de la pintura como óxido, grasa, aceite, polvo, sales, etc.

Y crear un patrón de anclaje o rugosidad superficial para dar adherencia mecánica al fondo o imprimación.

La mejor preparación de la superficie se logra comúnmente con chorro de arena o de abrasivos, sin embargo la arena se ha prohibido en muchos países porque produce una enfermedad pulmonar grave e irreversible conocida como silicosis.

Su uso debe restringirse a áreas abiertas lejos de toda otra actividad (talleres, oficinas, etc.) y el personal debe utilizar equipo de protección personal adecuado para esa actividad.

### **Pintura base, imprimación o fondo:**

Es la última defensa del sistema contra los agentes agresivos del medio; si alguno de estos agentes logra atravesar las capas exteriores o de acabado, al llegar al metal se encontrará con un inhibidor de corrosión que retardará el ataque.

También se emplean con gran éxito los fondos basándose en pigmentos ricos en Zinc que dejan al secarse una capa de este metal adherida al acero de la estructura. En caso de un poro o falla, el zinc formará una pila que protegerá al acero de forma similar a una protección catódica.

Los fondos no resisten la radiación solar, no son impermeables, no tienen un buen color ni brillo. En cuanto a lo que llamamos imprimación o fondo, normalmente sirven de base para la adherencia de revestimientos gruesos como el polietileno o el polipropileno; que pueden o no tener inhibidores de corrosión.

### **Capas de acabado o pintura exterior:**

En general se recomienda un mínimo de dos capas de acabado y una de fondo para un total de tres capas; la pintura exterior o de acabado debe ser resistente a la humedad, la

radiación solar, la lluvia, el viento y en general a los agentes agresivos y contaminantes del medio ambiente. También deben dar una buena apariencia en cuanto a color y brillo.

### **3.9. DISEÑO PARA EL CONTROL ANTICORROSIVO EN LAS INSTALACIONES DE SUPERFICIE**

#### **3.9.1. MÉTODO DE PROTECCIÓN CATÓDICA**

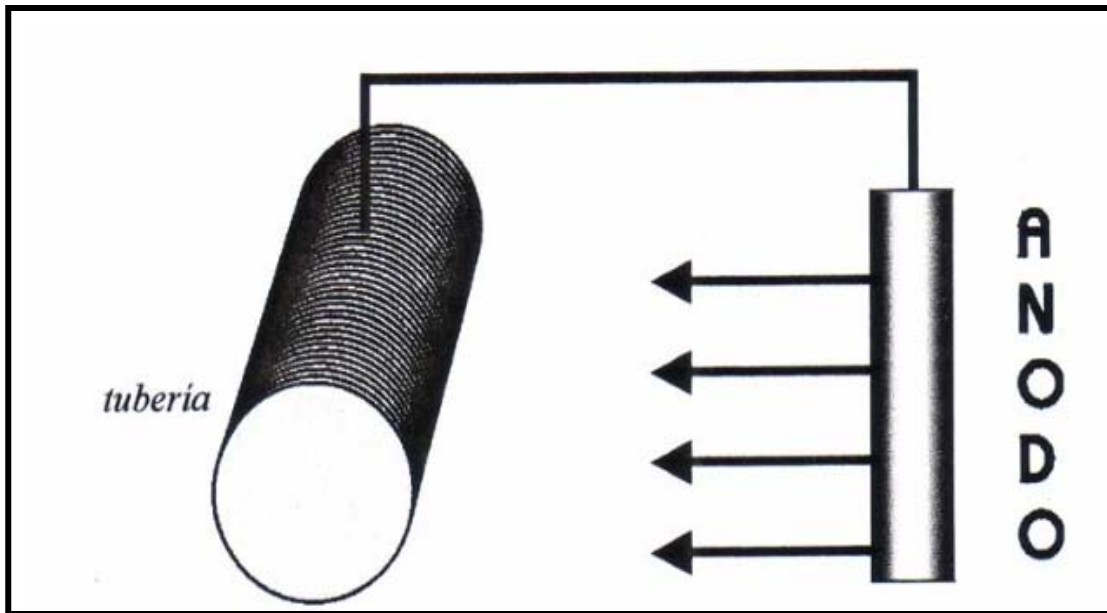
##### **Protección Catódica**

Recordando que todo fenómeno de corrosión a baja temperatura y en ambiente húmedo, puede ser interpretado como la formación de una pila donde el ánodo o zona anódica sufre la corrosión (oxidación).

Mientras el cátodo o zona catódica no es afectado en la figura 14 nos muestra un sistema de protección catódica por ánodos galvánicos o de sacrificio; se basa en la formación de una pila entre dos materiales que hace que la estructura se comporte como catódica y, en consecuencia, no sufra corrosión.

El ánodo puede ser de aleación de magnesio o zinc, si se usa en suelos, o de aleación de aluminio si el medio es agua de mar.

El ánodo se sacrifica para proteger a la estructura y se va consumiendo a lo largo de un período que se conoce como vida útil del ánodo. Este sistema se conoce como Protección catódica por ánodos galvánicos o de sacrificio.



**Figura 15**ÁNODO

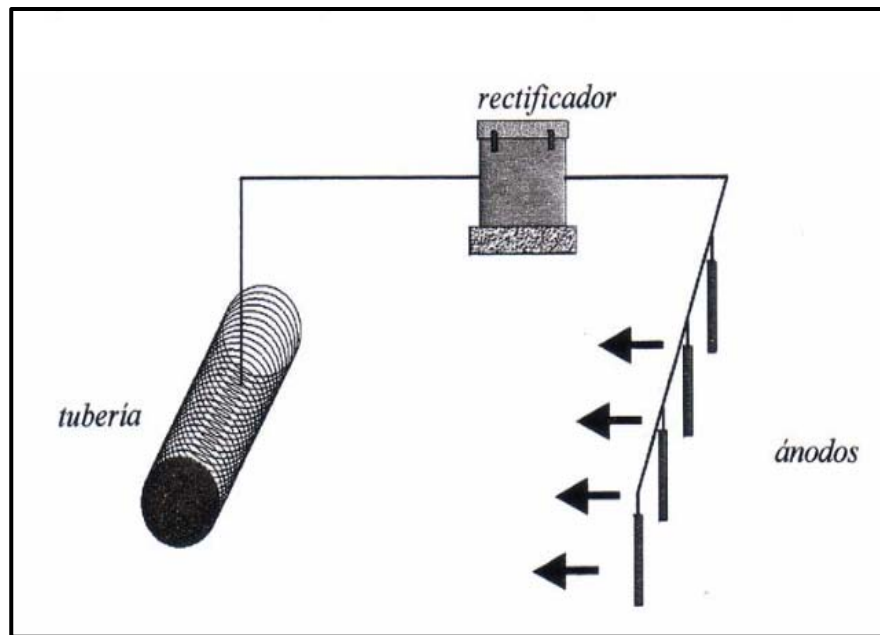
En este caso se drena corriente desde un conjunto de ánodos que pueden ser de diferentes materiales porque una fuente de energía los obliga a comportarse como ánodos frente a la estructura.

Esto es lo que se conoce como sistema de protección catódica por corriente impresa. El principio es el mismo pero la forma de aplicarlo varía.

Los ánodos galvánicos son muy simples de instalar y controlar pero sus limitaciones principales son:

- a) En medios muy secos o poco conductores la pila entre ánodo y estructura no será suficiente para drenar la corriente de protección.
- b) Estructuras grandes requerirán cantidades significativas de corriente de protección y esto requerirá tantos ánodos galvánicos que el sistema será muy costoso.





**Figura 15 Ubicaciones del rectificador**

### **3.9.2. Protección catódica por corriente impresa**

El sistema por corriente impresa puede superar estas dificultades dado que desde la fuente que se conoce como transformador-rectificador, se impone el voltaje necesario para vencer la resistencia del medio y la corriente necesaria para proteger toda la superficie expuesta, su limitación es que debe inspeccionarse periódicamente para asegurar su funcionamiento adecuado.

Según las normas API (American Petroleum Institute), Instituto Americano del Petróleo, y AGA (American Gas Association), Asociación Americana del Gas.

Todo sistema de protección catódica por corriente impresa debe inspeccionarse como mínimo una vez al mes.

En cuanto a los materiales que se utilizan, para corriente impresa los ánodos se fabrican de grafito, hierro/silicio/cromo, óxidos cerámicos plomo/plata, titanio platinado. Para ánodos galvánicos se emplean aleaciones de magnesio zinc y aluminio.

Cuando se habla de protección catódica se piensa inmediatamente en tuberías enterradas; no obstante esta técnica tiene un campo enorme de aplicaciones, entre las estructuras que pueden protegerse con ésta técnica mencionaremos las siguientes:

- Tuberías enterradas.
- Tuberías sumergidas (en el mar o en ríos)
- Fondos de tanque de almacenamiento apoyados en suelos corrosivos.
- Tanques de estaciones de servicio enterrados.
- Interior de tanques de almacenamiento de agua industrial o potable.
- Barcos.
- Pilotes Metálicos de Muelles.
- Pozos Petroleros.
- Pozos de Agua.
- Plataformas marinas o lacustres.
- Intercambiadores de calor.
- Cajas de condensadores.
- Enfriadores.
- Puentes de acero

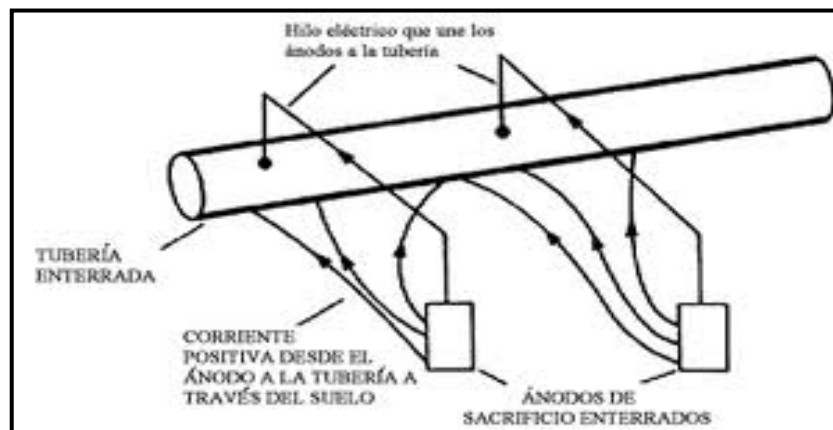
- Pilotes y puentes de concreto reforzado.

Este sistema consiste en imprimir a la estructura por proteger una corriente directa o continua proveniente de una fuente exterior para eliminar el efecto electroquímico o corrosión de dicha estructura

### 3.9.3. Protección Catódica con ánodos de sacrificio

Este método consiste en unir eléctricamente el metal a proteger a uno menos noble, es decir que este situado por encima de la serie electroquímica de los metales, el mismo que al reaccionar con el medio ambiente (por ser el más electronegativo) produce un flujo de corriente que protege la estructura.

Debido a esto el ánodo se corroe y al estructura se vuelve cátodo y se protege.



**Figura. 16 Estructura del ánodo**

La instalación del ánodo se la realiza bajo tierra y va conectando a la tubería por medio de un cable. En las instalaciones comunes la corriente suministrada por los ánodos de sacrificio es relativamente pequeña. Debido a ello se usa generalmente donde existe poca necesidad de corriente de protección y en aquellos sitios donde la resistividad del suelo es muy baja.

El uso de ánodos de sacrificio es recomendable para la protección de estructuras que tengan superficies pequeñas y en terrenos cuyas resistividades del suelo sean inferiores a los 5000 ohm-cm.

En aquellas zonas donde exista más de una estructura encerrada y donde no exista facilidades necesarias de energía eléctrica, también es aconsejable usar ánodos de sacrificio debido a que no originan problemas de interferencia con estructuras extrañas al sistema y no necesitan de energía eléctrica para su operación.

El diseño de sistemas de protección catódica por ánodos galvánicos o desacrificio, fue utilizada por Sir Humphry Davy (1778-1829), en Inglaterra en 1823, buscando proteger de la corrosión las planchas de cobre que se utilizaban en los cascos de barcos, ensaya conectarlas a elementos de hierro, de zinc y de estaño.

Los dos primeros elementos dieron buenos resultados para reducir la corrosión de las láminas de cobre. Posteriormente, cuando el cobre es reemplazado por el hierro en la fabricación de barcos, los ánodos de zinc adquieren mayor importancia, porque proveen adecuada protección a los aceros durante tiempo suficientemente prolongado.

Este sistema utiliza como fuente de corriente, la diferencia de potencial entre el material del ánodo y la estructura a proteger. En este tipo de instalación el material de los ánodos se consume dependiendo de los siguientes factores: de la demanda de corriente protección de la estructura a proteger, la resistividad del electrolito y del material usado como ánodo, durante el proceso de descarga del mismo.

En la tabla se muestra las aplicaciones específicas más utilizadas de ánodos galvánicos o de sacrificio.

| <b>MEDIO CORROSIVO</b> | <b>MATERIAL ANÓDICO</b>                      |
|------------------------|--|
| Suelos                 | Zinc-Magnesio (rango 1500-2000 $\Omega$ -cm) |
| Aguas Dulces           | Magnesio                                     |
| Agua de Mar            | Aluminio                                     |
| Fondo Marino           | Zinc-Aluminio                                |

**Cuadro 3 Ánodos Galvánicos y su Campo de aplicación**

En la tabla podemos observar que las aleaciones de zinc y de aluminio poseen una eficiencia muy elevada, la eficiencia está originada en la cantidad de material anódico que se consume por auto-corrosión del ánodo.

En cambio el magnesio tiene baja eficiencia pero presenta el más alto valor de potencial de trabajo. El aluminio no puede utilizarse en suelos porque se recubre con una capa de óxido que lo inactiva (“éste fenómeno se conoce como “pasivación”) pero en agua de mar, los cloruros rompen dicha capa y los reactiva.

En agua de mar las aleaciones de aluminio no tienen competencia; si observamos los valores indicados en la tabla posterior, vemos que el rendimiento práctico de estas aleaciones de aluminio es casi cuatro veces que las de zinc.

Esto significa que por cada kilogramo de material de aluminio obtenemos mucho más corriente por unidad de tiempo que por un kilogramo de magnesio o de zinc. También implica que para un barco, por ejemplo, se puede lograr protección con menor cantidad y peso de ánodos de aluminio que utilizaríamos magnesio o zinc.

|                                  | <b>ANODO<br/>ZINC</b>   | <b>ANODO<br/>MAGNESIO</b>                                 | <b>ANODO<br/>ALUMINIO</b> |
|----------------------------------|-------------------------|---|---------------------------|
| EFICIENCIA                       | 95%                     | 50%   | 95%                       |
| RENDIMIENTO AM-HR/KG             | 778                     | 1102  | 2817                      |
| CONTENIDO DE ENERGIA<br>AM-HR/KG | 820                     | 2204  | 2965                      |
| POTENCIAL DE<br>TRABAJO(VOLTIO)  | -1.10                   | -1.45 A -1.70   | -1.10                     |
| RELLENO                          | 50%YESO;<br>50Bentonita | 75Yeso; 20Bentonita;<br>5%SO <sub>4</sub> Na <sub>2</sub> |                           |

**Cuadro 4 características de los ánodos**

### 3.9.4. Características de un Ánodo de Galvánico o de Sacrificio

- a. Debe tener un potencial de disolución lo suficientemente negativo, para polarizar la estructura de acero (metal que normalmente se protege) a -0.8 Voltios. Sin embargo el potencial no debe de ser excesivamente negativo, ya que eso motivaría un gasto superior, con un innecesario paso de corriente. El potencial práctico de disolución puede estar comprendido entre -0.95 a -1.7 Voltios.
- b. Corriente suficientemente elevada, por unidad de peso de material consumido.
- c. Buen comportamiento de polarización anódica a través del tiempo.
- d. Bajo costo.

### 3.9.5. Tipos de Ánodos

Considerando que el flujo de corriente se origina en la diferencia de potencial existente entre el metal a proteger y el ánodo, éste último deberá ocupar una posición más elevada en la tabla de potencias (serie electroquímica o serie galvánica).

Los ánodos galvánicos que con mayor frecuencia se utilizan en la protección catódica son: Magnesio, Zinc, Aluminio.

**Magnesio:** Los ánodos de Magnesio tienen un alto potencial con respecto al hierro y están libres de pasivación. Están diseñados para obtener el máximo rendimiento posible, en su función de protección catódica.

Los ánodos de Magnesio son apropiados para oleoductos, pozos, tanques de almacenamiento de agua, incluso para cualquier estructura temporal que requiera protección catódica. Se utilizan en estructuras metálicas enterradas en suelo de baja Resistividad hasta 3000 ohm-cm.

**Zinc:** Para estructura metálica inmersas en agua de mar o en suelo con resistividad eléctrica de hasta 1000 ohm-cm.

**Aluminio:** Para estructuras inmersas en agua de mar.

### **3.9.6. Criterios de Protección**

Cuando se aplica protección catódica a una estructura, es extremadamente importante saber si esta se encontrará realmente protegida contra la corrosión en toda su plenitud.

Varios criterios pueden ser adoptados para comprobar que la estructura en mención está exenta de riesgo de corrosión, basados en unos casos en función de la densidad de corriente de protección aplicada y otros en función de los potenciales de protección obtenidos.

No obstante, el criterio más apto y universalmente aceptado es el de potencial mínimo que debe existir entre la estructura y terreno, medición que se realiza con un electrodo de referencia.

Un potencial mínimo equivalente a -850 mv con relación al electrodo de referencia cobre-sulfato de cobre, observando una zona definida por la inmunidad del acero.

Los criterios de potencial mínimo de protección que se utilizará son de -850 mV respecto al Cu/SOCu como mínimo y permitiendo recomendar asimismo, un máximo potencial de protección que pueda estar entre los 1200 mVa -1300 mV, sin permitir valores más negativos, puesto que se corre el riesgo de sobre protección, que afecta de sobre manera al recubrimiento de la pintura, ya que hay riesgos de reacción catódica de reducción de hidrógeno gaseoso que se manifiesta como un ampollamiento en la pintura.

### **3.9.7. Resistividad del Suelo**

Cuando se diseña protección catódica o simplemente cuando se estudia la influencia de la corrosión en un medio en el cual se instalará equipos o se tenderá una línea, es necesario investigar las características del medio, entre estas características, relacionada directamente con el fenómeno corrosivo se encuentra la resistividad del medio.

La resistividad es el recíproco de la conductividad o capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica. En la práctica se ejecutan medidas de resistencia de grandes masas de material y se calcula un valor promedio para el mismo.

Las áreas de menor resistividad son las que tienden a crear zonas anódicas en la estructura, pero así mismas son las zonas más aptas para instalación de las camas de ánodos.

En la práctica se realiza esta medida empleando un voltímetro y un amperímetro o bien instrumentos especiales como el Vibro-Graund, Nilsson 400, Metrawatt o el Megger complementados mediante un equipo de cuatro picas o electrodo directamente en el campo o mediante el Soil Box en laboratorio.



Cuando se ejecuta en el campo, el método consiste en introducir en el suelo 4 electrodos separados por espaciamientos iguales, los espaciamientos representan la profundidad hasta lo que se desea conocer la resistividad.

Este método regulado por ASTM (American Society for Testing and Materials), Asociación Americana Para pruebas y Materials, en la Norma G57-78 standard Method for field measurement of soil resistivity using the Wenner four electrode Method.

Método normalizado para la medición de campo de la resistividad de suelos utilizando el método de Werner de los cuatro electrodos.

Se calcula la resistividad aplicando la siguiente fórmula:

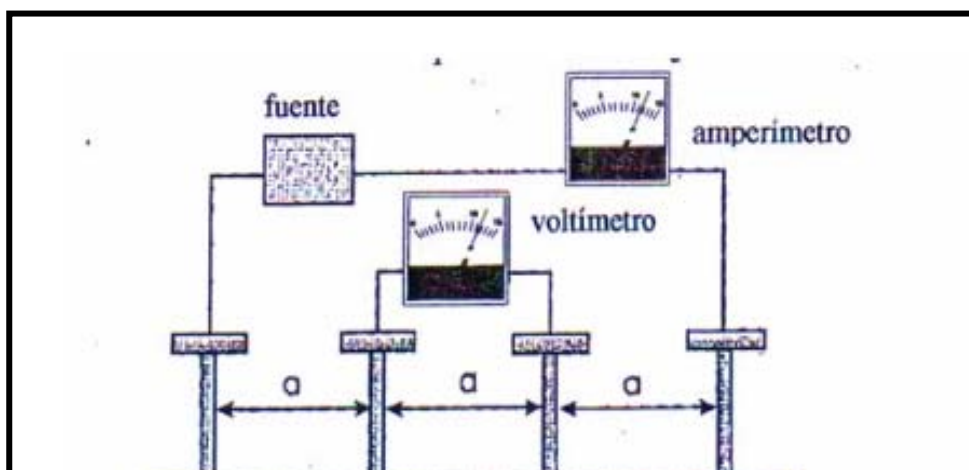
$$R_s = 2 * \rho * a * R$$

Dónde:

$R_s$  = resistencia del suelo

$a$  = espaciamiento de los electrodos en metros.

$R$  = resistencia leída en equipo en ohm ( $\Omega$ ).



### **Figura 17. Método de Wenner para medir resistividad de suelos**

Algunos aspectos importantes a tomar en cuenta en el uso de éste método son:

- Profundidad de los electrodos: no es un factor crítico, basta con clavar las barras hasta que se sostengan firmes en el terreno.
- Profundidad máxima de medición: con los instrumentos normales que se emplean en el campo de la protección catódica puede medirse hasta unos 15 metros (esto depende del instrumento utilizado).
- Valores de resistividad que se pueden medir: esto depende del instrumento utilizado. El Megger puede medir valores muy elevados por el rango de los 50,000  $\Omega$  -cm, éste valor es considerado muy poco corrosivo y no es necesario precisar el valor de la resistividad eléctrica después de este valor.

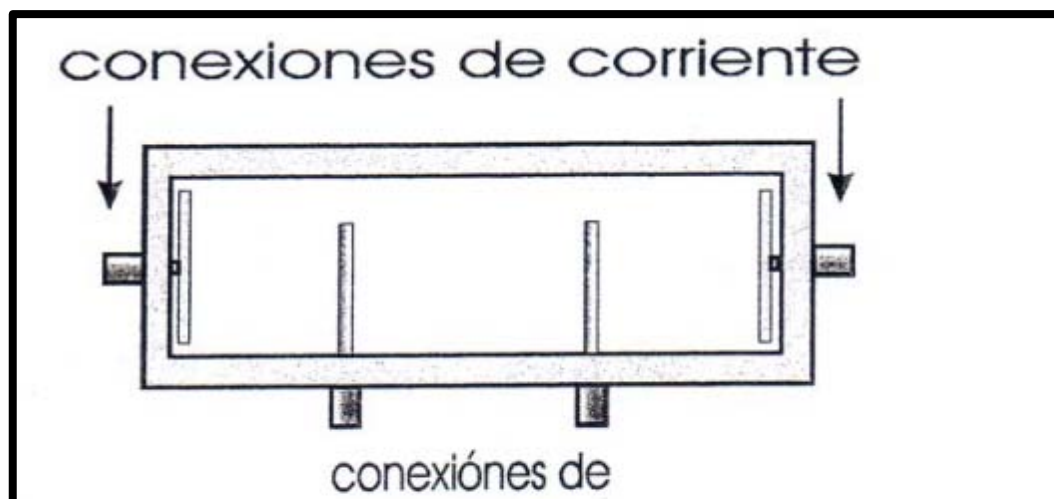
Cuando se efectúan las mediciones en tiempo seco es muy recomendable usar el método Wenner pero si se realizan en tiempo de lluvias podemos usar el Método de “Soil Box” o Caja de Suelos.

**El procedimiento es a seguir es el siguiente:**

- a) Se quita una capa del suelo de aproximadamente 30cm para eliminar la vegetación.
- b) Se tamiza la muestra para eliminar piedras, raíces, etc.
- c) Se coloca la muestra en la caja de suelos hasta llenarla completamente, se muestra la elaboración de una caja de suelos y las conexiones de potencial y corriente.
- d) Se mide, y se satura con agua destilada hasta que quede sobrellenado,
- e) Se vuelve a medir.

Este procedimiento equivale a una lluvia intensa sobre el suelo. La caja de suelos (Soil Box), también sirve para medir la resistividad del coque utilizado como relleno.

El material de las barras de la caja de suelos puede ser de acero al carbono, de acero inoxidable, o de cobre. También se puede fabricar con cuatro barras o varillas de construcción de 3/8".



**Figura 18 Caja de suelos para medición de resistividad eléctrica**

Se muestra una clasificación de medios corrosivos, según su resistividad eléctrica.

| <b>Rango de Resistencia</b> | <b>Clasificación</b> |
|-----------------------------|----------------------|
| 0 – 1000 $\Omega$ -cm       | Altamente Corrosivos |
| 1001 – 5000 $\Omega$ -cm    | Corrosivos           |
| 5001 – 10000 $\Omega$ -cm   | Poco Corrosivos      |
| > 10001 $\Omega$ -cm        | Muy poco corrosivos  |

Cuadro

5

**Clasificación de medios corrosivos según su resistividad**

**Electrodos de referencia más usados**

| <b>Electrodo de Referencia</b> | <b>Usos</b>         |
|--------------------------------|---------------------|
| Cobre/Sulfato de Cobre         | Suelos-aguas dulces |
| Plata/cloruro de Plata         | Agua de mar         |
| Molibdeno/Óxido de Molibdeno   | Acero en concreto   |

**Cuadro 6. Electrodo de referencia más usados**

### **Medición**

Para medir el potencial eléctrico de una estructura en contacto con un medio corrosivo determinado, se compara dicho valor con el potencial de un electrodo o celda de referencia en contacto con el mismo medio. Los electrodos de referencia más utilizada.

### **3.9.8. Cálculos de Diseño de un Sistema de Ánodos Galvánicos**

El diseño de un sistema con ánodos galvánicos se deben considerar los siguientes:

- Selección del material de los ánodos a utilizar, de acuerdo a la disponibilidad en el mercado.
  - Eficiencia resistividad del electrolito.
  - Costo del ánodo y vida útil deseada.
  - Selección de la configuración de los ánodos.
  - Seguridad de funcionamiento.
  - En agua de mar deben emplearse ánodos con base aluminio o zinc y sus respectivas aleaciones sin contenido de mercurio.

La vida útil del ánodo depende tanto de su material como de su peso. Los comportamientos del ánodo instalado, deben usarse para calcular el valor probable de consumo.

El tiempo de vida del ánodo galvánico, se determina con la expresión:

$$V = c * p * R * \frac{U}{I}$$

Dónde:

V = Tiempo de vida del ánodo en años

C = Capacidad de corriente en A – año/kg

P = Peso del ánodo en kilogramos

R = Rendimiento en % (tablas)

U = Factor de Utilización 0.85

I = Entrega de corriente del ánodo en amperios (A)

| Metal anódico | Capacidad corriente teórica (A-año/kg) | Rendimiento % |
|---------------|--|---------------|
| Zinc (Zn)     | 0.094                                  | 95            |
| Aluminio (Al) | 0.340                                  | 90            |
| Magnesio (Mg) | 0.251                                  | 50            |

**Cuadro 7. Cálculo de vida útil de Ánodos**

### Espaciamiento entre ánodos

$$S = \frac{L}{N}$$

Dónde:

S = Espaciamiento requerido, en m.

L = Longitud de la tubería, por proteger en m.

N = Número de ánodos requeridos.

### Separación máxima de ánodos

Tubería de 0.304m D.N.(12”) y menores: 152.4m (500 pies).

Mayores de 0.304m D.N.(12”): 304.8m (1000 pies).

### Separación entre la estructura por proteger y los ánodos

La separación de los ánodos a la estructura por proteger debe ser de al menos 4.5 metro

## CAPÍTULO IV

## ANÁLISIS DE LABORATORIO DEL CAMPO PACOA

### 4.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE LAS ESTACIONES CAMPO PACOA

| PARÁMETRO  | UNIDADES                             | VALOR       |
|--|--------------------------------------|-------------|
| SALINIDAD COMO- IÓN, CLORO, CLORUROS   | ppm Cl <sup>-</sup>                  | 28200       |
| ALCALINIDAD TOTAL COMO CARBONATOS  | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>  | 200         |
| ALCALINIDAD COMO BICARBONATOS  | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>  | 244         |
| DUREZA TOTAL COMO CARBONATO DE CALCIO  | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>  | 5200        |
| DUREZA CÁLCICA COMO CARBONATO DE CALCIO  | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>  | 3300        |
| DUREZA MAGNÉSICA   | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>  | 1900        |
| CALCIO   | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>  | 1320        |
| MAGNESIO   | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>  | 456         |
| SULFATO  | ppm (SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> | 80          |
| HIERRO   | ppm Fe <sup>2+</sup>                 | 18          |
| TEMPERATURA DE CABEZA DE POZO  | °C                                   | 28          |
| CO2 EN CABEZA DE POZO  | % CO <sub>2</sub>                    |             |
| PH DEL AGUA DE FORMACIÓN   | pH                                   | 7,5         |
| TENDENCIA DEL AGUA DE FORMACIÓN  | STIFF DAVIS                          | INCRUSTANTE |
| BACTERIAS SULFATO REDUCTORAS   | col/ml                               | 10000       |
| OBSERVACIÓN: El agua tiene tendencia incrustante y se encuentra con un alto contenido de bacterias sulfato reductoras. |                                      |             |

### 4.2. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE LAS ESTACIONES CAMPO PACOA ESTACIÓN PACOA NORTE



| PARÁMETRO   | UNIDADES                             | VALOR       |
|---|--------------------------------------|-------------|
| SALINIDAD COMO- IÓN, CLORO, CLORUROS  | ppm Cl <sup>-</sup>                  | 22450       |
| ALCALINIDAD TOTAL COMO CARBONATOS   | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>  | 200         |
| ALCALINIDAD COMO BICARBONATOS   | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>  | 244         |
| DUREZA TOTAL COMO CARBONATO DE CALCIO   | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>  | 4500        |
| DUREZA CÁLCICA COMO CARBONATO DE CALCIO   | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>  | 3500        |
| DUREZA MAGNÉSICA  | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>  | 1000        |
| CALCIO  | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>  | 1400        |
| MAGNESIO  | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>  | 240         |
| SULFATO   | ppm (SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> | 90          |
| HIERRO  | ppm Fe <sup>2+</sup>                 | 1,9         |
| TEMPERATURA DE CABEZA DE POZO   | °C                                   | 28          |
| CO2 EN CABEZA DE POZO   | % CO <sub>2</sub>                    |             |
| PH DEL AGUA DE FORMACIÓN  | pH                                   | 7,4         |
| TENDENCIA DEL AGUA DE FORMACIÓN   | STIFF DAVIS                          | INCRUSTANTE |
| BACTERIAS SULFATO REDUCTORAS  | col/ml                               | 100000      |
| OBSERVACIÓN: El agua tiene tendencia incrustante y se encuentra con un alto contenido de bacterias sulfato reductoras lo que origina un problema serio de corrosión en el tanque de lavado. |                                      |             |

## CARACTERIZACIÓN DEL CRUDO

| DATOS DE LA MUESTRA DE CRUDO |  |                   |                   |
|------------------------------|--|-------------------|-------------------|
| <b>NOMBRE:</b>               | CRISTAL 02, ARENA HI, CLORUROS=1250ppm |                   |                   |
| <b>PARÁMETROS</b>            | <b>UNIDADES</b>                        | <b>NORMA ASTM</b> | <b>CRISTAL 02</b> |

|                                       |                       |                  |              |
|---------------------------------------|-----------------------|------------------|--------------|
| <b>API OBSERVADO /TEMPERATURA ° F</b> | <b>°API/°F</b>        | <b>D 1298-85</b> | 31,8 / 78°F  |
| <b>API 60 °F</b>                      | <b>° API</b>          |                  | 30,6         |
| <b>API SECO</b>                       | <b>° API</b>          |                  | 30,6         |
| <b>GRAVEDAD ESPECIFICA</b>            |                       |                  | 0,8729       |
| <b>AGUA LIBRE</b>                     | <b>%</b>              | <b>D 96-88</b>   | 0            |
| <b>EMULSIÓN</b>                       | <b>%</b>              |                  | 0            |
| <b>SEDIMENTOS</b>                     | <b>%</b>              |                  | 0            |
| <b>PARAFINA</b>                       | <b>%</b>              |                  | 0,2          |
| <b>BSW</b>                            | <b>%</b>              |                  | 0,1          |
| <b>BSW POR DESTILACIÓN</b>            | <b>%</b>              | <b>D 4006-81</b> | 0,100        |
| <b>SÓLIDOS POR EXTRACCIÓN</b>         | <b>%</b>              | <b>D 473-81</b>  | 0,007        |
| <b>BSW TOTAL</b>                      | <b>%</b>              |                  | 0,107        |
| <b>AZUFRE</b>                         | <b>% peso</b>         | <b>D 4294-90</b> | 0,665        |
| <b>SAL EN CRUDO</b>                   | <b>lbNaCl/1000bls</b> | <b>D 3230-89</b> | 0,72         |
| <b>PODER CALORÍFICO</b>               | <b>BTU/ lb</b>        | <b>D 240-92</b>  | 19100        |
| <b>PODER CALORÍFICO</b>               | <b>KJ / Kg</b>        |                  | 44369        |
| <b>PODER CALORÍFICO</b>               | <b>Kcal/Kg</b>        |                  | 10590        |
| <b>VISCOSIDAD cSt 80 ° F</b>          | <b>cSt</b>            | <b>D 445-88</b>  | 80,11        |
| <b>VISCOSIDAD cSt 104 ° F</b>         | <b>cSt</b>            |                  | 6,3          |
| <b>VISCOSIDAD cSt 120 ° F</b>         | <b>cSt</b>            |                  | 5,4          |
| <b>DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA (FK)</b>    | <b>-</b>              |                  | 585          |
| <b>TEMPERATURA MEDIA VOLUMÉTRICA</b>  | <b>° F</b>            |                  | 448          |
| <b>RELACIÓN CARBÓN HIDROGENO</b>      | <b>C/H</b>            |                  | 175          |
| <b>FACTOR DE CARACTERIZACIÓN</b>      | <b>Koup</b>           |                  | 11,01        |
| <b>CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN</b>  | <b>BTU/lb</b>         |                  | 7,5          |
| <b>PESO MOLECULAR</b>                 | <b>g/mol</b>          |                  | 111          |
| <b>DESTILACIÓN</b>                    | <b>° F</b>            | <b>D 86-90</b>   | PIE = 125 °F |
| <b>DESTILACIÓN</b>                    | <b>° F</b>            | <b>D 86-90</b>   | 5 % - 200°F  |
| <b>DESTILACIÓN</b>                    | <b>° F</b>            | <b>D 86-90</b>   | 10 % - 255°F |
| <b>DESTILACIÓN</b>                    | <b>° F</b>            | <b>D 86-90</b>   | 20 % - 365°F |
| <b>DESTILACIÓN</b>                    | <b>° F</b>            | <b>D 86-90</b>   | 30 % - 475°F |
| <b>DESTILACIÓN</b>                    | <b>° F</b>            | <b>D 86-90</b>   | 40 % - 560°F |
| <b>DESTILACIÓN</b>                    | <b>° F</b>            | <b>D 86-90</b>   | 44 % - 585°F |

#### CARACTERIZACIÓN DEL CRUDO DE LAS ESTACIONES CAMPO PACOA

| PARÁMETROS | UNIDADES | NORMA ASTM | ESTACIÓN |
|------------|----------|------------|----------|
|            |          |            | NORTE    |



|                                |                |           |            |
|--------------------------------|----------------|-----------|------------|
| API OBSERVADO /TEMPERATURA ° F | °API/°F        |           | 25,4 / 80  |
| API 60 °F                      | ° API          | D 1298-85 | 24,6       |
| API SECO                       | ° API          |           | 24,68      |
| GRAVEDAD ESPECIFICA            |                |           | 0,906      |
| AGUA LIBRE                     | %              |           | 0,2        |
| EMULSIÓN                       | %              |           | 0          |
| SEDIMENTOS                     | %              | D 96-88   | 0,1        |
| PARAFINA                       | %              |           | 0          |
| BSW                            | %              |           | 0,2        |
| BSW POR DESTILACIÓN            | %              | D 4006-81 | 0,500      |
| SÓLIDOS POR EXTRACCIÓN         | %              | D 473-81  | 0,015      |
| BSW TOTAL                      | %              |           | 0,515      |
| AZUFRE                         | % peso         | D 4294-90 | 0,0891     |
| SAL EN CRUDO                   | lbNaCl/1000bls | D 3230-89 | 63,0       |
| PODER CALORÍFICO               | BTU/ lb        | D 240-92  | 18775      |
| PODER CALORÍFICO               | KJ / Kg        |           | 43614      |
| PODER CALORÍFICO               | Kcal/Kg        |           | 10410,7    |
| VISCOSIDAD cSt 80 ° F          | cSt            |           | 40,93      |
| VISCOSIDAD cSt 104 ° F         | cSt            | D 445-88  | 30,98      |
| VISCOSIDAD cSt 120 ° F         | cSt            |           | 20,87      |
| CENIZAS                        | % peso         | D 482-91  | ---        |
| CARBÓN CONRADSON               | % peso         | D 189-88  | ---        |
| DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA (FK)    | -              |           | 560        |
| TEMPERATURA MEDIA VOLUMÉTRICA  | ° F            |           | 474        |
| RELACIÓN CARBÓN HIDROGENO      | C/H            |           | 7,8        |
| FACTOR DE CARACTERIZACIÓN      | Koup           |           | 10,80      |
| CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN  | BTU/lb         |           | 112        |
| PESO MOLECULAR                 | g/mol          |           | 180        |
| DESTILACIÓN                    | ° F            | D 86-90   | PE = 325°F |
| DESTILACIÓN                    | ° F            | D 86-90   | 5 % - 410  |
| DESTILACIÓN                    | ° F            | D 86-90   | 10 % - 445 |
| DESTILACIÓN                    | ° F            | D 86-90   | 20 % - 495 |
| DESTILACIÓN                    | ° F            | D 86-90   | 30 % - 445 |
| DESTILACIÓN                    | ° F            | D 86-90   | 35 % - 560 |

**CARACTERIZACIÓN DEL CRUDO DE LAS ESTACIONES CAMPO PACOA  
ESTACIÓN PACOA SUR**

| PARÁMETROS                     | UNIDADES       | NORMA ASTM | ESTACIÓN   |
|--------------------------------|----------------|------------|------------|
|                                |                |            | SUR        |
| API OBSERVADO /TEMPERATURA ° F | °API/°F        | D 1298-85  | 35 / 80    |
| API 60 °F                      | ° API          |            | 33,6       |
| API SECO                       | ° API          |            | 33,65      |
| GRAVEDAD ESPECIFICA            |                |            | 0,8567     |
| AGUA LIBRE                     | %              | D 96-88    | 0,1        |
| EMULSIÓN                       | %              |            | 0          |
| SEDIMENTOS                     | %              |            | 0          |
| PARAFINA                       | %              |            | 0,1        |
| BSW                            | %              |            | 0,3        |
| BSW POR DESTILACIÓN            | %              | D 4006-81  | 0,400      |
| SÓLIDOS POR EXTRACCIÓN         | %              | D 473-81   | 0,032      |
| BSW TOTAL                      | %              |            | 0,432      |
| AZUFRE                         | % peso         | D 4294-90  | 1,9857     |
| SAL EN CRUDO                   | lbNaCl/1000bls | D 3230-89  | 3,7        |
| PODER CALORÍFICO               | BTU/ lb        | D 240-92   | 18500      |
| PODER CALORÍFICO               | KJ / Kg        |            | #¡REF!     |
| PODER CALORÍFICO               | Kcal/Kg        |            | #¡REF!     |
| VISCOSIDAD cSt 80 ° F          | cSt            | D 445-88   | 215,04     |
| VISCOSIDAD cSt 104 ° F         | cSt            |            | 139,08     |
| VISCOSIDAD cSt 120 ° F         | cSt            |            | 94,73      |
| CENIZAS                        | % peso         | D 482-91   | 0,100      |
| CARBÓN CONRADSON               | % peso         | D 189-88   | 0,29       |
| DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA (FK)    | -              |            | 550        |
| TEMPERATURA MEDIA VOLUMÉTRICA  | ° F            |            | 462        |
| RELACIÓN CARBÓN HIDROGENO      | C/H            |            | 8,3        |
| FACTOR DE CARACTERIZACIÓN      | Koup           |            | 10,40      |
| CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN  | BTU/lb         |            | 118        |
| PESO MOLECULAR                 | g/mol          |            | 160        |
| DESTILACIÓN                    | ° F            | D 86-90    | PE = 160°F |
| DESTILACIÓN                    | ° F            | D 86-90    | 5 % - 230  |
| DESTILACIÓN                    | ° F            | D 86-90    | 10 % - 300 |

**CARACTERIZACIÓN DEL CRUDO PRODUCIDO EN EL CAMPO PACOA**  
**NOMBRE: MATACHIVATO YACIMIENTO SOCORROARENA: D**

| PARÁMETRO | UNIDADES | VALOR |
|-----------|----------|-------|
|-----------|----------|-------|

|   |   |           |
|---|---|-----------|
| API/OBSERVADO / TEMPERATURA                         | °API / °F   | 18,1 / 74 |
| API/60 F  | °API  | 17,3      |
| API/SECO  | °API  | 17,4      |
| GRAVEDAD ESPECIFICA                                 | GE  | 0,9509    |
| AGUA LIBRE  | %   | 0,1       |
| EMULSIÓN  | %   | 0,2       |
| PARAFINA  | %   | 0         |
| SEDIMENTO BÁSICO                                    | %   | 0,2       |
| CONTENIDO DE AGUA                                   | %   | 0,2       |
| BSW TOTAL   | %   | 0,2       |
| SALINIDAD (CLORUROS PRESENTES)                      | ppm Cl <sup>-</sup>   | bajo BSW  |
| ALCALINIDAD TOTAL                                   | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>   | bajo BSW  |
| ALCALINIDAD COMO BICARBONATOS                       | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>   | bajo BSW  |
| DUREZA TOTAL  | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>   | bajo BSW  |
| DUREZA CÁLCICA                                      | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>   | bajo BSW  |
| DUREZA MAGNÉSICA                                    | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>   | bajo BSW  |
| CALCIO  | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>   | bajo BSW  |
| MAGNESIO  | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>   | bajo BSW  |
| SULFATO   | ppm (SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup>  | bajo BSW  |
| HIERRO  | ppm Fe <sup>2+</sup>  | bajo BSW  |
| TEMPERATURA DE CABEZA DE POZO                       | °C  | 32        |
| CO2 EN CABEZA DE POZO                               | % CO <sub>2</sub>   | 0,2       |
| PH DEL AGUA DE FORMACIÓN                            | pH  | bajo BSW  |
| PRESIÓN EN CABEZA DE POZO                           | PSI   | 950       |
| PRESIÓN DE FONDO FLUYENTE PWF                       | PSI- PWF  | 11        |
| DIÁMETRO DEL CASTING                                |     | 5,5       |
| DIÁMETRO DEL TUBING                                 |   | 2,785     |
| VOLUMEN DE AGUA PRODUCIDA POR DÍA                   | BLS A/D   | 0,2       |
| CANTIDAD DE CARBONATOS ESTIMADA A PRECIPITAR        | LBS/PTB   | bajo BSW  |
| CANTIDAD DE CARBONATO QUE PODRIA PRECIPITAR POR DÍA | LBS/DAY   | bajo BSW  |
| PERDIDA DE HIERRO POR AÑO                           | MPY   | bajo BSW  |
| VELOCIDAD DE CORROSIÓN                              |   | bajo BSW  |
| TENDENCIA DEL AGUA DE FORMACIÓN                     | STIFF DAVIS   | bajo BSW  |



**CARACTERIZACIÓN DEL CRUDO PRODUCIDO EN EL CAMPO PACOA**  
**NOMBRE:PACOA – 01YACIMIENTO PRODUCTOR:SOCORROARENA C / D**

| PARÁMETRO | UNIDADES | VALOR |
|-----------|----------|-------|
|-----------|----------|-------|

|   |                                      |           |
|---|--------------------------------------|-----------|
| API/OBSERVADO / TEMPERATURA                         | °API / °F                            | 30,2 / 76 |
| API/60 F  | °API                                 | 29,1      |
| API/SECO  | °API                                 | 29,14     |
| GRAVEDAD ESPECIFICA                                 | GE                                   | 0,881     |
| AGUA LIBRE  | %                                    | 80        |
| EMULSIÓN  | %                                    | 2         |
| PARAFINA  | %                                    | 0         |
| SEDIMENTO BÁSICO                                    | %                                    | 0,15      |
| CONTENIDO DE AGUA                                   | %                                    | 81        |
| BSW TOTAL   | %                                    | 81,15     |
| SALINIDAD (CLORUROS PRESENTES)                      | ppm Cl <sup>-</sup>                  | 26150     |
| ALCALINIDAD TOTAL                                   | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>  | 3900      |
| ALCALINIDAD COMO BICARBONATOS                       | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>  | 4758      |
| DUREZA TOTAL  | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>  | 9600      |
| DUREZA CÁLCICA                                      | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>  | 6700      |
| DUREZA MAGNÉSICA                                    | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>  | 2900      |
| CALCIO  | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>  | 2680      |
| MAGNESIO  | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>  | 696       |
| SULFATO   | ppm (SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> | 20        |
| HIERRO  | ppm Fe <sup>2+</sup>                 | 1,8       |
| TEMPERATURA DE CABEZA DE POZO                       | °C                                   | 28        |
| CO2 EN CABEZA DE POZO                               | % CO <sub>2</sub>                    | 2         |
| PH DEL AGUA DE FORMACIÓN                            | pH                                   | 7,32      |
| PRESIÓN EN CABEZA DE POZO                           | PSI                                  | 5         |
| PRESIÓN DE FONDO FLUYENTE PWF                       | PSI- PWF                             | 85        |
| DIÁMETRO DEL CASTING                                | Ø                                    | 7         |
| DIÁMETRO DEL TUBING                                 | Ø                                    | 2,785     |
| VOLUMEN DE AGUA PRODUCIDA POR DÍA                   | BLS A/D                              | 15,5      |
| CANTIDAD DE CARBONATOS ESTIMADA A PRECIPITAR        | LBS/PTB                              | 144       |
| CANTIDAD DE CARBONATO QUE PODRÍA PRECIPITAR POR DÍA | LBS/DAY                              | 10,86     |
| PERDIDA DE HIERRO POR AÑO                           | MPY                                  | 0,062     |
| VELOCIDAD DE CORROSIÓN                              |                                      | BAJA      |
| TENDENCIA DEL AGUA DE FORMACIÓN                     | STIFF DAVIS                          | (+) 2,64  |



**CARACTERIZACIÓN DEL CRUDO PRODUCIDO EN EL CAMPO PACOA**  
**NOMBRE: PACOA – 02YACIMIENTO SOCORROARENA B**

| PARÁMETRO                   | UNIDADES  | VALOR     |
|-----------------------------|-----------|-----------|
| API/OBSERVADO / TEMPERATURA | °API / °F | 27,0 / 76 |

|   |   |             |
|---|---|-------------|
| API/60 F  | °API  | 26          |
| API/SECO  | °API  | 26,18       |
| GRAVEDAD ESPECIFICA                                 | GE  | 0,8984      |
| AGUA LIBRE  | %   | 84          |
| EMULSIÓN  | %   | 1           |
| PARAFINA  | %   | 0           |
| SEDIMENTO BÁSICO                                    | %   | 0,1         |
| CONTENIDO DE AGUA                                   | %   | 0,85        |
| BSW TOTAL   | %   | 85,1        |
| SALINIDAD (CLORUROS PRESENTES)                      | ppm Cl <sup>-</sup>   | 22750       |
| ALCALINIDAD TOTAL                                   | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>   | 3000        |
| ALCALINIDAD COMO BICARBONATOS                       | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>   | 3660        |
| DUREZA TOTAL  | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>   | 7800        |
| DUREZA CÁLCICA                                      | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>   | 6400        |
| DUREZA MAGNÉSICA                                    | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>   | 1400        |
| CALCIO  | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>   | 2560        |
| MAGNESIO  | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>   | 336         |
| SULFATO   | ppm (SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup>  | 10          |
| HIERRO  | ppm Fe <sup>2+</sup>  | 7,1         |
| TEMPERATURA DE CABEZA DE POZO                       | °C  | 26,6        |
| CO2 EN CABEZA DE POZO                               | % CO <sub>2</sub>   | 2           |
| PH DEL AGUA DE FORMACIÓN                            | pH  | 7,01        |
| PRESIÓN EN CABEZA DE POZO                           | PSI   | 5           |
| PRESIÓN DE FONDO FLUYENTE PWF                       | PSI- PWF  | 88          |
| DIÁMETRO DEL CASTING                                |  | 7           |
| DIÁMETRO DEL TUBING                                 |  | 3,5         |
| VOLUMEN DE AGUA PRODUCIDA POR DÍA                   | BLS A/D   | 7,2         |
| CANTIDAD DE CARBONATOS ESTIMADA A PRECIPITAR        | LBS/PTB   | 64          |
| CANTIDAD DE CARBONATO QUE PODRIA PRECIPITAR POR DÍA | LBS/DAY   | 4           |
| PERDIDA DE HIERRO POR AÑO                           | MPY   | 0,0077      |
| VELOCIDAD DE CORROSIÓN                              |   | BAJA        |
| TENDENCIA DEL AGUA DE FORMACIÓN                     | STIFF DAVIS   | (+) 1,36    |
| INCRUSTANTE / CORROSIVO                             |   | INCRUSTANTE |

**CARACTERIZACIÓN DEL CRUDO PRODUCIDO EN EL CAMPO PACOA**  
NOMBRE: PACOA – 03YACIMIENTO PRODUCTOR:SOCORRO ARENA C

| PARÁMETRO                   | UNIDADES  | VALOR   |
|-----------------------------|-----------|---------|
| API/OBSERVADO / TEMPERATURA | °API / °F | 31 / 78 |

|   |   |             |
|---|---|-------------|
| API/60 F  | °API  | 29,8        |
| API/SECO  | °API  | 29,82       |
| GRAVEDAD ESPECIFICA   | GE  | 0,877       |
| AGUA LIBRE  | %   | 0,2         |
| EMULSIÓN  | %   | 0,6         |
| PARAFINA  | %   | 0           |
| SEDIMENTO BÁSICO  | %   | 0,01        |
| CONTENIDO DE AGUA   | %   | 0,8         |
| BSW TOTAL   | %   | 0,81        |
| SALINIDAD (CLORUROS PRESENTES)  | ppm Cl <sup>-</sup>   | 18100       |
| ALCALINIDAD TOTAL   | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>   | 1500        |
| ALCALINIDAD COMO BICARBONATOS   | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>   | 1830        |
| DUREZA TOTAL  | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>   | 7300        |
| DUREZA CÁLCICA  | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>   | 6300        |
| DUREZA MAGNÉSICA  | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>   | 1000        |
| CALCIO  | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>   | 2520        |
| MAGNESIO  | ppm Ca <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>   | 240         |
| SULFATO   | ppm (SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup>  | 20          |
| HIERRO  | ppm Fe <sup>2+</sup>  | 10,5        |
| TEMPERATURA DE CABEZA DE POZO   | °C  | 27,7        |
| CO2 EN CABEZA DE POZO   | % CO <sub>2</sub>   | 2           |
| PH DEL AGUA DE FORMACIÓN  | pH  | 6,83        |
| PRESIÓN EN CABEZA DE POZO   | PSI   | 5           |
| PRESIÓN DE FONDO FLUYENTE PWF   | PSI- PWF  | 25          |
| DIÁMETRO DEL CASTING  |  | 5,5         |
| DIÁMETRO DEL TUBING   |  | 2,385       |
| VOLUMEN DE AGUA PRODUCIDA POR DÍA   | BLS A/D   | 0,5         |
| CANTIDAD DE CARBONATOS ESTIMADA A PRECIPITAR  | LBS/PTB   | 19,5        |
| CANTIDAD DE CARBONATO QUE PODRIA PRECIPITAR POR DÍA                                   | LBS/DAY   | 0,038       |
| PERDIDA DE HIERRO POR AÑO   | MPY   | 0,017       |
| VELOCIDAD DE CORROSIÓN  |   | Baja        |
| TENDENCIA DEL AGUA DE FORMACIÓN   | STIFF DAVIS   | (+) 0,66    |
| INCRUSTANTE / CORROSIVO   |   | INCRUSTANTE |
| OBSERVACIÓN: El pozo fluye a un tanque recolector sin techo, produce con equipo swab. |   |             |

## CAPÍTULO V



## **ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y CONSTRUCTIVAS PARA PROTECCIÓN CATÓDICA**

Las siguientes constituyen las especificaciones generales para los materiales más importantes que se usarán en el sistema de protección catódica para tuberías enterradas.

### **5.1. UNIDADES TRANSFORECTIFICADORAS**

La unidad de transforectificación cumplirá con las siguientes especificaciones generales, las mismas que se reflejan en las memorias de cálculo, hojas técnicas de material y en el listado de material y equipo:

- La unidad deberá ser del tipo ESTÁNDAR ENFRIADA POR AIRE, El gabinete contenedor deberá cumplir con lo especificado para uso a la intemperie.
- La carcasa de la unidad deberá ser de construcción soldada, en plancha de galga 11 como mínimo, reforzada en donde sea necesario, y de suficiente tamaño para dar una adecuada disipación de calor bajo condiciones normales de operación. Deberá ser galvanizada por inmersión en caliente (ASTM 123). Esta unidad también deberá ser adecuada para operar continuamente en medios de alta humedad.
- Las puertas deberán abrir frontal y lateralmente.
- La carcasa deberá estar provista de adecuaciones tales que permitan su instalación (mediante empernado) sobre una pequeña y firme estructura de hormigón.
- El transformador principal deberá ser para trabajo fuerte con bobinas de primario y secundario separadas. El control de salida debe ser de al menos 15 pasos para selección mediante TAPS en el transformador principal.

- Los elementos de rectificación consistirán de celdas de Selenio de alta densidad de corriente.
- Los aparatos de medida y control, serán accesibles desde el exterior y enchapados en un tablero panel de baquelita. Debe considerar al menos Voltímetro y Amperímetro. El rectificador dispondrá incorporado de un bróker tipo Magnético.
- Los terminales de salida, instalados en el panel aislante, con marcas bien definidas de positivo y negativo. El tamaño de los conectores y entrada de los cables serán adecuados a las dimensiones especificadas según los diseños.
- La acometida eléctrica para la unidad transforectificadora será de 120/240 VAC. Corriente monofásica, de 60 Hz. La alimentación de corriente será diseñada considerando un interruptor de circuito (circuito bróker) mecánico o en combinación con un fusible. Cualquiera sea el método seleccionado, se debe garantizar un completo aislamiento de la fuente de corriente alterna cuando la unidad se encuentre en la posición off.

**La unidad debe disponer de placas de identificación que señalen:**

- Fabricante
- Voltaje de entrada AC V
- Amperios de entrada AC A
- Frecuencia de alimentación
- Voltaje de salida DC V
- Amperios de salida DC A
- Temperatura ambiental de operación

### **5.3.ÁNODOSTITANIO MIX (TIPO VARILLA SÓLIDA)**

Los ánodos para Protección Catódica mediante corriente impresa serán dispersores decorriente constituidos por un sustrato de Titanio, recubierto por una mezcla de Óxidos metálicos como Rutenio, Iridio y otros.

La varilla de Titanio se mantiene inherentemente estable y la transferencia de la corriente eléctrica directa se realiza a través de los recubrimientos de mezcla de Óxidos dando como resultado muy larga vida útil.

Cada unidad tendrá una longitud de 4 ft (1220 mm) de longitud y 0,25 in (6,35 mm) de diámetro. La velocidad de consumo será menor a 1 mg/Amp. Año

Cada ánodo ha de disponer de un cable unido a un extremo del ánodo, ajustado hidráulicamente a alta presión y con una protección posterior de resinas resistentes a la humedad y finalmente una capsula resistente al calor. La unión presentará una resistencia inferior a 0,004 Ohm.

La varilla de Titanio soporte es del tipo grado 1, de acuerdo a la especificación ASTM B348. Estos ánodos serán instalados en lechos regulares con relleno de Carbón metalúrgico de petróleo alrededor del ánodo, la máxima densidad de corriente anódica recomendada para una duración superior a 20 años, es de 100 Amp/ m<sup>2</sup> en medios debaja resistividad.El peso unitario de los ánodos es de 1,25 oz. Por pie de ánodo.El uso

de ánodos de Titanio con MMO, sustituye a los ánodos de material Grafito o Hierro de alto Silicio por que mejora completamente la ductilidad y fragilidad, así mismo se multiplica la vida útil y las condiciones de consumo.

### **5.3. RELLENO DE COQUE METALÚRGICO**

El relleno recomendado para mejorar el rendimiento de la cama anódica abatiendo la resistencia de contacto entre los ánodos y la tierra será de Carbón tipo metalúrgico con tamaño de partícula máximo de 25 mm y no más de 10% de polvo.

El alto contenido de Carbón permite una excelente conductividad y bajo desgaste, en otras palabras extiende el tamaño del ánodo. Se presentará en fundas de 100 o 50 libras cada una. La resistividad del relleno no debe superar los 50 Ohm-cm. y su densidad compactado será 45 Lbs./ ft<sup>3</sup> aproximadamente.

| <b>COMPOSICIÓN QUÍMICA</b> |          |
|----------------------------|----------|
| Carbón                     | 85,89%   |
| Ceniza                     | 8 – 10 % |
| Humedad                    | 6 – 9%   |
| Azufre                     | 0,8%     |
| Material Volátil           | 0,5%     |

### **5.4. UNIONES CABLE**

#### **CABLE ENTERRADOS**

Todas las uniones de cable a ser enterradas deben ser protegidas con protecciones empalme rellenas de resina epoxica tipo “Y” diseñados para uso expuesto a humedad o en localizaciones de enterrado directo.

Las conexiones entre cables de cobre deben ajustarse mecánicamente mediante perno partido o mediante unión tipo C para ajuste a presión en tamaño adecuado al diámetro del cable, estarán compuestos de Cobre de alta pureza y proveer conductividad superior.

Las conexiones no estarán completas hasta que estén selladas contra la humedad y los agentes químicos corrosivos. Los Splicing Kits, deben mantenerse empacados con todos los materiales necesarios para encapsular las conexiones entre cables y proveer total aislamiento eléctrico.

El principal componente del KIT es la resina de 2 componentes que estará empacada en contenedor especial para facilitar la mezcla, también dispondrá de moldes de plástico y cintas sellantes aislantes. Este empaado asegura una adecuada relación de mezcla. El tamaño del kit estará definido en los detalles de los planos y será acorde a la unión que protege.

## **PERNOS HENDIDOS Y UNIONES TIPO C**

Conectores mecánicos tipo compresión tales como perno hendido o uniones tipo CYC26C2 BURNDY o similar, se usarán para asegurar las uniones cable – cable, los mismos que estarán compuestos de cobre de alta pureza y proveer una conductividad superior con los cables de los ánodos, retornos negativos si fuera necesario.

Las uniones tipo C se ajustarán a presión usando herramientas adecuadas para cada dimensión. De esta forma se mantendrá una unión firme y permanente que será protegida posteriormente con SPLICING KIT o uniones protectoras tipo plástico rellenas con mezclas epóxicas o geles conductores.

Los pernos hendidos y uniones tipo C deben ser manufacturados bajo estrictos controles de calidad y reunir los requerimientos establecidos por Underwriters Laboratories y la Asociación de Estándares de Canadá.

#### **5.4.1. UNIONES ESTRUCTURA - CABLE**

La unión entre la estructura metálica se puede realizar mediante soldadura Aluminotermia tipo CADWELD o similar.

Las uniones aluminotermias aprovechan la temperatura de reacción entre polvos de Oxido de Cobre y Oxido de Aluminio. La reacción toma lugar en un molde semipermanente de grafito.

Los materiales para la soldadura deben permanecer empacados en cartuchos a prueba de humedad. Los cartuchos deben contener también los discos de acero para contenerlos polvos de reacción en el molde.

Incluido en cada cartucho debe mantenerse el polvo de ignición. Los moldes a usar deben ser los adecuados a la posición horizontal de la soldadura y al diámetro del cable a instalar.

Toda soldadura aluminotermia debe ser posteriormente limpiada y protegida mediante recubrimientos bitumásticos tipo THERMITE TAPE COAT / ROYSTON HANDY CAP IP de 4 in<sup>2</sup> constituida por un compuesto elastomérico contenido en un pequeño domo de plástico. También se puede usar cintas protectoras o la pintura propia de la tubería.

#### **5.4.2. JUNTAS AISLANTES**

Los KITS de juntas aislantes tienen por objeto limitar el ámbito de la corriente alimentada la estructura evitando fugas de la misma. Ellas incrementan la efectividad de la Protección Catódica eliminando los riesgos de corrosión electrolítica.

Los empaques aislantes están disponibles en todos los tamaños, rangos de presión y materiales adecuados al producto que constituye el flujo.

Mantienen el mismo diámetro externo de las bridas cuando se especifican en tipo E, coinciden en los huecos para los pernos, ajustan en los anillos de empaque de las juntas tipo anillo, presentan valores dieléctricos altos, bajo coeficiente de absorción de agua, estabilidad química y alta resistencia a la compresión.

Los empaques tipo D son especificados para uniones tipo anillo diseñadas para bridas RTJ y proveen un sello de alta presión. Existen también las Juntas tipo Line backer que se adaptan a cualquier tipo de brida.

Cuando se instalen juntas aislantes, se tomará en cuenta la colocación de mangas protectoras en cada perno así como la colocación de arandelas aislantes, que deben estar incluidas en el KIT de aislamiento.

Los kits contienen empaques, arandelas y mangas protectoras de perno. deben cumplir con los requerimientos de especificación de las bridas en las que serán instalados:

- Diámetro Nominal de la brida (Nominal 6")
- Clase ANSI de la brida (900 #)
- Tipo de Empaque (E = Cara completa con huecos)
- Estilo de Empaque (Line Backer)
- Material del retenedor (G10)
- Material del sello (VITON)

- Arandelas (doble)
- Material de las arandelas (G10)
- Material de mangas de pernos (MYLAR)
- Tipo de brida (Welding neck,).

### **5.5.PROTECTOR DE JUNTAS AISLANTES (PARARRAYOS).**

De uso común en sistemas de distribución de gas, en sitios donde se instalan juntasaislantes debido a que altos voltajes pueden producir destrucción de los materiales de la junta aislante. Para evitar dicha destrucción, se instalan diodos siameses enterradosrequiriendo alto costo y difícil trabajo.

### **5.6.INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA**

La instalación de todo el sistema de Protección Catódica preferentemente debe serrealizada por personal experimentado en el área o al menos personal con conocimiento de instalaciones eléctricas bajo la supervisión de un Ingeniero de Corrosión.

Es probable que en algún sitio preestablecido a causa de las condiciones particulares del terreno o del área, se requieran variaciones a las especificaciones o dibujos, en cuyo caso, las decisiones relacionadas con alteraciones deberían ser tomadas por profesionales experimentados en corrosión u otros profesionales experimentados autorizados por el cliente.

Todo sistema de Protección Catódica contiene básicamente los mismos componentes:

Una unidad transforectificadora que provee una salida de corriente directa, que alimentay energiza los ánodos dispersores de Mixed Metal Oxide (MMA) inmersos en el relleno deCarbón Metalúrgico.



La corriente directa dispersa al medio por la cama anódica, es atraída por las tuberías como mejor conductor en el sitio, distribuida a lo largo de las tuberías que limita en los extremos con Juntas aislantes y que retorna hasta el punto de drenaje donde cierra el circuito por el cable de unión estructura – rectificador.

El funcionamiento del sistema y su efectividad es controlado con el auxilio de las estaciones de prueba instaladas a lo largo del tendido de la línea. Los detalles de construcción de la cama anódica serán encontrados en los planos y diagramas.

Cada cama anódica, consiste de un número calculado de ánodos de Titanio con Mixed Metal Oxide, centralmente colocados en la cama de relleno y conectados a la polaridad positiva de la fuente de alimentación de corriente rectificada. Los cables positivo o negativo pueden ser enterrados en zanjas a no menos de 60 cm de profundidad protegidos en el tramo enterrado por manguera flexible.

## **5.7. INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR**

De acuerdo con los requerimientos del rectificador en la posición definida, La conexión del servicio de corriente alterna será extendida desde la fuente más cercana de distribución señalada en el diseño, la misma que debe disponer de las protecciones apropiadas y en diámetro de cable acorde a las características de la fuente y materiales de uso común.

Es importante puntualizar que las conexiones de salida del rectificador deberán cumplirse estrictamente, con los requerimientos:

|   |
|---|
| <b>POLO POSITIVO: CABLE QUE UNE CON LA CAMA ANÓDICA</b> |
|---|

## **POLO NEGATIVO: CABLE QUE UNE CON EL LOMO DE LAS**

### **5.8.TUBERÍAS**

Todo alambrado debe cumplir con las normas NEC (Nacional Electric Code) y/o normas locales relacionadas y la corriente alterna de alimentación debe ser provista de un disyuntor en la caseta del rectificador.

El gabinete del rectificador debe estar conectado a un terminal de puesta a tierra tipo varilla acorde con su tamaño.

El rectificador debe estar montado en una estructura firme permanente y segura que soporte su peso, se fijará a la misma con tornillos de al menos 5/16" de diámetro.

A fin de proteger esta instalación contra accidentes no provocados o contra vandalismo, se recomienda sean colocados en una caseta de consistencia firme con facilidades de iluminación y un punto de toma corriente adicional de 110 V

### **5.9.INSTALACIÓN DE LAS CAMAS ANÓDICAS**

En cualquier etapa de manejo de los ánodos, deberá tomarse especial cuidado a causa de que se trata de materiales de uso delicado y que cualquier defecto en la unión con el cable o en el cable puede causar la inutilización del ánodo. Igualmente el cuerpo de los ánodos debe tener cuidados mínimos ya que el recubrimiento del ánodo de titanio es un elemento importante en la conducción de corriente, se debe evitar rozamiento excesivo durante su manipuleo y transporte.

### **5.9.1. AMARRE DE ÁNODOS Y UNIONES CABLE - CABLE**

Es recomendable que la ejecución de esta actividad sea realizada en el filo de la zanja eliminando cualquier posibilidad de contaminación de los cables. Se realizarán las marcas de los sitios del cable de cabeza y extremo del cable propio de cada ánodo y se procederá al corte de los aislamientos.

Solo se requiere un corte de 50 ms. Las uniones requerirán primeramente el amarre mecánico mediante perno hendido o unión tipo C ajustada hidráulicamente entre los tramos de cables desnudos a unir, luego de ajustadas, se protegerán los extremos de los cortes desnudos remanentes con cinta aislante auto fundente y luego con vinílica, finalmente se procederá a encapsular la unión en el Kit plástico y rellenarlos con resina epóxicas de dos componentes lo que garantizará una unión a prueba de humedad.

Se recomienda usar tramos completos de cable entre objetivos como rectificadores – cama anódica o rectificadora - estructura a fin de evitar uniones intermedias que incrementan resistencias.

### **5.9.2. COLOCACIÓN DE LOS ÁNODOS**

Preparar primeramente la zanja hasta la profundidad señalada en los planos y diagramas (1,6m) comprobando la horizontalidad y linealidad. Por la condición inestable del terreno en el área, conviene hacer una zanja de profundidad de acuerdo al diseño y planos. El armado de la cama se realizará mediante conformación de encofrados en Madera triplex, respetando exactamente las dimensiones planteadas para la cama.

Se procederá a rellenar el encofrado hasta el 50% de su altura con el CARBÓN METALÚRGICO, evitando desperdicio y dando una adecuada compactación sin usar máquina, se colocarán los ánodos manteniendo la separación establecida entre sí

y amarrados al cable de cabezaque conectada con el rectificador para completar el relleno con Carbón y lacuidadosa compactación.

Inmediatamente, se realizará el relleno con arena o tierra del sitio evitando lapresencia de piedras, chatarra u otros materiales que podrían alterar laconducción de corriente hacia tierra, destruir los cables o deformar la camaanódica instalada.

Finalmente se completará el relleno con terreno natural hasta el nivel original, sepermitirá humidificación y se realizarán las conexiones finales.

### **5.9.3. TENDIDO DE LOS CABLES PARA CORRIENTE DIRECTA**

De acuerdo con los dibujos, todos los cables que no correspondan al tramo de amarre de los ánodos, se realizará el tendido de los mismos en forma directa o en mangueraflexible de  $\frac{3}{4}$  de pulgada a no menos de 60 cm. de profundidad y en el cruce de la vía a 1 metro.

En los puntos de afloramiento de los cables hacia el exterior se protegerán mediante codo y tubo conductor rígido.

### **5.9.4. INSTALACIÓN DEL PROTECTOR DE JUNTAS AISLANTES**

Se instala a través de la junta aislante, conectado a la tubería en ambos lados.

Bajo condiciones normales el protector es completamente no conductivo y mantiene el aislamiento en la brida. Al incrementar el voltaje bajo la influencia de condiciones atmosféricas adversas la resistencia del protector disminuye automáticamente permitiendo la equalización de los potenciales a través de la brida la

conducción a través del protector inicia sobre 100 V. El aparato puede soportar un exceso de 10000descargas.

#### **5.9.5. CONDICIONES DE SUELO**

Las resistividades de suelo y los análisis químicos desarrollados como parte de los estudios previos sobre las áreas de derecho de vía para la instalación, demuestran latendencia corrosiva de los suelos. Aunque los niveles de pH manifiestan neutralidad, es conveniente considerar los niveles de Cloruros y Sulfatos en los Kilómetros iniciales.

Desde el Km 3 hasta el Km 20 se incrementa fuertemente la resistividad igualmente desde el Km 100 a 116. Toda la franja intermedia es más bien de resistividad muy baja y de tendencia fuertemente corrosiva. El tamaño de la instalación, el requerimiento de corriente y la resistividad de terreno, no permiten pensar en la alternativa de usar el sistema por ánodos de sacrificio. Para la definición del punto de drenaje de corriente e instalación del rectificador, se han considerado los criterios fundamentales de selección, esto es: Resistividad de suelo,

Humedad del suelo, Interferencia con otras estructuras, Disponibilidad de corriente eléctrica, Accesibilidad, Riesgos de vandalismo u otros daños, Disponibilidad de derecho de vía, Afectación a terceros.

## **CAPITULO VI**

### **ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO**

#### **6.1. ANÁLISIS TÉCNICO**

En el campo Pacoa han sido evaluadas las facilidades de superficie tanto en la estación Norte, Central, Sur, observando que existe corrosión externa en las líneas debió al ambiente salino a las que se encuentran expuestas también por el contacto de las líneas con el suelo las mismas que no poseen el marco respectivo como base de asentamiento.

## **6.2.ANÁLISISECONÓMICO**

El objetivo el análisis económico es determinar la factibilidad el proyecto propuesto mediante indicadores económicos que toman en cuenta la variación el valor del dinero en el tiempo, basándose principalmente en criterios de evaluación para estipular si la inversión del capital generará ganancias y si estas serán a corto, mediano o largo plazo.

## **6.3.CRITERIOS DE EVALUACIÓN**

### **6.2.1. INGRESOS**

Representan la recuperación de la inversión o ganancias que se integran al presupuesto, en términos generales, son los elementos monetarios como no monetarios que se acumulan y se generan como consecuencia un círculo de consumo y ganancia.

### **6.2.2. EGRESOS**

Corresponde a la inversión total requerida para la puesta en marcha del proyecto.

## **6.3.INDICADORES ECONÓMICOS**

Este valor es importante porque proporciona una medida directa del beneficio en dólares (sobre la base del valor presente).

Matemáticamente el valor actual neto se representa como:

$$VAN = \sum_{n=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} \dots$$

Dónde:

**FNC:** Flujo de caja

**i:** Tasa de actualización o descuento

**n:** periodos de análisis

#### **6.4.TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)**

Es la tasa de rentabilidad que iguala a cero el valor actual neto de flujo de caja, también considerada como la tasa máxima a la que se puede remunerar el capital del proyecto, Sin ganancia ni perdida.

#### **6.5.RELACIÓN BENEFICIO/COSTO**

Es un indicador que mide el grado de rentabilidad que un proyecto puede generar, donde los ingresos y los egresos deben ser calculados de manera que no genere pérdidas para la empresa sino ganancias.

La ecuación viene dada por:

$$VAN = \sum_{n=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} \dots$$

$\sum VP (+) = \text{Beneficio}$

$\sum VP (-) = \text{Costo}$

La conclusión de un proyecto es económicamente rentable cuando:

- El valor neto (VAN) es mayor a cero
- La tasa interna de retorno (TIR) es mayor que la tasa de actualización.
- La relación B/C > 1 porque genera ganancias.



## **PROPUESTA**

De acuerdo a la inspección técnica y resultados de laboratorios obtenidos se evaluará económicamente la propuesta que consiste en:

- Aplicación de protección catódica en líneas de superficie
- Análisis del tendido de mallados en las líneas
- Determinación de cantidades de ánodos a instalar

La propuesta del proyecto está basado en inspección, análisis evaluación, diseño e instalación actividades que implican gastos y para la empresa, se ha clasificado las diferentes estaciones de Pacoa, tanto Norte, Central, y sur, para calcular los materiales a utilizar y las cantidades de ánodos a instalar dependiendo de la longitud

Que posee cada estación, la magnitud de daño, y características de las líneas.

Las siguientes tablas representan los costos de instalación por estación y número de ánodos a implementar en el sistema de protección La propuesta del proyecto está basado en inspección, análisis evaluación, diseño e instalación actividades que implican gastos y para la empresa, se ha clasificado las diferentes estaciones de Pacoa, tanto Norte, Central, y sur, para calcular los materiales a utilizar y las cantidades de ánodos a instalar dependiendo de la longitud.

## **PROPUESTA**

De acuerdo a la inspección técnica visual in situ, y a los datos obtenidos se evaluara económicamente la propuesta económica que consiste en:

- **Sondeo con equipos especializados para detectar los diferentes grados de corrosión presentados en cuerpos metálicos.**

- Cálculos que detallen la cantidad de protección requerida dependiendo del tipo de corrosión que presenten.
- Instalación de ánodos de sacrificio en las áreas estudiadas.

Para esto se ha considerado el uso del ánodo de Aluminio.

**Material requerido:**

- Ánodos de Aluminio
- Cables
- Soldadura
- Equipo especializado

**Detalle de Costos**

| DESCRIPCION       | APROXIMADOS POR CAMPO |                 |                 | COSTOS ESTIMADO  |
|-------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|------------------|
|                   | NORTE                 | SUR             | CENTRAL         |                  |
| <b>LINEAS</b>     | 62390,00              | 40342,00        | 20812,00        | <b>123544,00</b> |
| <b>SOLDADURA</b>  | 1523,00               | 921,00          | 956,00          | <b>3400,00</b>   |
| <b>TRANSPORTE</b> | 2320,00               | 1371,00         | 1594,00         | <b>5285,00</b>   |
| <b>CONTRAPISO</b> | 6972,00               | 4830,00         | 548,00          | <b>12350,00</b>  |
| <b>MARCOS H</b>   | 21348,00              | 10348,00        | 7063,00         | <b>38759,00</b>  |
| <b>TOTAL</b>      | <b>94553,00</b>       | <b>57812,00</b> | <b>30973,00</b> | <b>183338,00</b> |
|                   |                       |                 |                 |                  |
|                   |                       |                 |                 |                  |
|                   |                       |                 |                 |                  |
|                   |                       |                 |                 |                  |
|                   |                       |                 |                 |                  |

Según los resultados de los indicadores económicos se determina la viabilidad del proyecto el cual cumple a cabalidad el proceso al implementar ánodos de Aluminio.

## **CÁLCULOS EN BASE A LOS RESULTADOS PARA EL CONTROL ANTICORROSIVO EN LAS INSTALACIONES DE SUPERFICIE**

Para obtener una correcta protección en las facilidades de superficie debeos tener en cuenta los siguientes parámetros:

1. Longitud de la tubería a proteger (L);
2. Diámetro externo de la tubería (De);
3. Resistividad del terreno (Rs);
4. Resistividad del terreno (Rs);
5. Diámetro interno de la tubería (De);
6. Eficiencia del ánodo (E);
7. Vida del ánodo (V);
8. Capacidad de corriente (C) Am \* Hr / Kg
9. peso del ánodo (m) Kg;

En el proyecto de protección catódica, se procede a calcular la masa anódica requerida, para los tanques se han seleccionado ánodos de 42.2 lb de aleación de aluminio y el consumo de este tipo de ánodo esta alrededor de 910 Amp-hr/lb, valor con el cual se determinará la masa total anódica requerida, para ser instalada al interior del tanque, y que cumpla con los requisitos de protección catódica y una vida estimada de 10 años; la siguiente expresión muestra el cálculo de la masa anódica:

Por consiguiente, la cantidad de ánodos de sacrificio a emplear dentro del tanque de almacenamiento es de 12.

$$\frac{8760xVxI}{0.85x C}n= \frac{M}{m}$$

$$\frac{8760x10x4,29}{0.85x910}n= \frac{485,84}{42,2}$$

= 485,84 Lb.

n= 11,51 ≈ 12 Ánodos

| Tipo de recubrimiento         | Vida de diseño en años |       |       |
|-------------------------------|------------------------|-------|-------|
|                               | 10                     | 20    | 30    |
| Epóxico adherido por fusión   | 0,01                   | 0,04  | 0,09  |
| Epóxico liquido               | 0,03                   | 0,1   | 0,3   |
| Tricapa Epoxico-Polietileno   | 0,001                  | 0,004 | 0,009 |
| Tricapa Epoxico-Polipropileno | 0,001                  | 0,004 | 0,009 |
| Otros                         | 0,03                   | 0,1   | 0,3   |

Cuadro 9. Tipos de recubrimiento

**6.7. CÁLCULOS DE PARÁMETROS PARA PROTECCIÓN CON LOS DATOS OBTENIDOS**

**6.8. CRITERIOS DE DISEÑO**

1. Los cálculos para el diseño del sistema de protección catódica son obtenidos según la DNV-RP-B401 y NACE Standard RPO575-95.

2. Resistividad ~ 100 ohm – cm (NACE Standard RPO575-95)

3. Densidad de Corriente para diseño  $\sim 100 \text{ mAmp/m}_2$ (NACE StandardRPO575-95)
4. Temperatura de diseño =  $50^\circ\text{C}$
5. La corriente requerida para proteger las tuberías internas es despreciada.
6. Se asume factor de utilización 0,85
7. Vida útil del sistema de protección catódica: 10 años.

## **1. CÁLCULO DE ÁREAS**

CARA INTERNA DEL PISO

**Área: 402,12 m<sup>2</sup>**

PLATOS INTERNOS (ANVERSO + REVERSO)

**Área: 615,76 m<sup>2</sup>**

CARA INTERNA DE LA PARED (H= 5,28 m)

**Área: 265,40 m<sup>2</sup>**

## **DEMANDA DE CORRIENTE**

Asumiendo un daño en el revestimiento inicial de 0.5 % y 1% por año, consideramos un daño total en el revestimiento de 10,5% para 10 años.

$$I = A(\text{área}) * \% Dr (\text{Daño en revestimiento}) * Lc$$

#### **CARA INTERNA DEL PISO**

$$I = 402,12 \text{ m}^2 * 0,105 * 0,10 \text{ Amp} = 4,22 \frac{\text{Amp}}{\text{m}}$$

#### **PLATOS INTERNOS (ANVERSO + REVERSO)**

$$I = A(\text{área}) * \% Dr (\text{Daño en revestimiento}) * Lc$$

$$I = 615,76 \text{ m}^2 * 0,105 * \frac{0,10 \text{ Amp}}{\text{m}} = 6,47 \text{ Amp}$$

#### **CARA INTERNA DE LA PARED (H= 5,28 m)**

$$I = A(\text{área}) * \% Dr(\text{Daño en revestimiento}) * Lc$$

$$I = 265,40m^2 * 0,105 * 0,10 \frac{Amp}{m^2} = 6,47 Amp$$

### MASA DE ÁNODOS (N)

Asumiendo una capacidad teórica de la aleación del ánodo de 1600 amp - hr / kg. 50°C (galvalum iii. Proves to be versatile for cathodic protection in saline area – y un factor de utilización de 85%, tenemos:

Cara interna del piso:

$$N = \frac{Ic * 8760 *}{*}$$

Dónde:

Ic = Demanda de corriente (Amp)

□ d= Vida útil del diseño (Años)

£ = Eficiencia Electroquímica de la Aleación Al-Zn-In (Amp \* hr / Kg.)

F= Factor de utilización (%)

$$N = \frac{Ic*8760*}{*}$$

$$N = \frac{4,22 \text{ Amp} * 8760 * 10,0 \text{ años}}{1600 \text{ Amp} * \frac{hr}{kg} * 0,85}$$

Asumiendo un ánodo Modelo Diprocave A - 4" x 4" x 60" long. con las siguientes características:

Material: Al-Zn-In

Aleación: Procal III

Modelo: Trapezoidal

Peso Neto = 40,200 Kg.

$$\text{Ánodos} = \frac{271,82 \text{ kg.}}{40,200 \text{ kg.}} = 6,76 \approx 7 \text{ Ánodos}$$

PLATOS INTERNOS (ANVERSO)

$$N = \frac{3,24 \text{ Amp} * 8760 * 10.0 \text{ años}}{1600 \text{ Amp} * \frac{hr}{kg} * 0,85} = 208,69 \text{ kg.}$$

Asumiendo un ánodo Modelo Diprocave A - 4" x 4" x 60" Long. con las siguientes Características:

- Material: Al-Zn-In
- Aleación: Procal III
- Modelo: Trapezoidal
- Peso Neto = 40,200 Kg.



$$\# \text{Ánodos} = \frac{208,69 \text{ kg.}}{40,200 \text{ kg.}} = 5,19 \approx 7 \text{ Ánodos por cara}$$

**ANVERSO + REVERSO = 12 ánodos**

CARA INTERNA DE LA PARED (H= 5,28 m)

$$N = \frac{2,79 \text{ Amp} * 8760 * 10,0 \text{ años}}{1600 \text{ Amp} * \frac{\text{hr}}{\text{kg}} * 0,85} = 179,70 \text{ kg.}$$

Asumiendo un ánodo Modelo Diprocave A - 4" x 4" x 60" long. con las siguientes características:

- Material: Al-Zn-In
- Aleación: Procal III
- Modelo: Trapezoidal
- Peso Neto = 40,200 Kg.

$$\# \text{Ánodos} = \frac{179,70 \text{ kg.}}{40,200 \text{ kg}} = 4,47 \approx 5 \text{ Ánodos}$$

### **RESISTENCIA DEL ÁNODO (Ra)**

Tomando en cuenta que todas las caras del ánodo poseen las mismas dimensiones, calculamos la superficie del ánodo en contacto con el electrolito.

$$S = n * h * b$$

Dónde:

**n = # caras del ánodo expuestas al electrolito**

**h = altura del ánodo**

**b = base del ánodo**

$$S = 4 * 10cm. = 6000 cm^2$$

Para el cálculo de la resistencia del ánodo se utilizó la Ecuación de Mc Coy

**SALIDA INDIVIDUAL ( $I_a$ )**

$$I_a = \frac{\langle E_p - E_a \rangle}{R_a}$$

Dónde:

$E_p$  = Potencial de protección

$E_a$  = Potencial del ánodo

$I_a$  = salida individual

$$R_a = \frac{\text{Resistividad} * 0,315}{(\text{Área del ánodo expuesta})^{1/2}}$$

$$R_a = \frac{0,315 \text{ Ohm} - \text{cm}}{\{6000 \text{ cm}^2\}^{1/2}}$$

### SALIDA INDIVIDUAL ( $I_a$ )

$$I_a = \frac{(\epsilon_p - \epsilon_a)}{R_a}$$

Dónde:

$\epsilon_p$  = Potencial de protección

$\epsilon_a$  = Potencial del ánodo

$R_a$  = Resistencia del ánodo

$$I_a = \frac{(-0,85 \text{ V} - (-1,10 \text{ V}))}{0,41} = 0,61 \text{ Amp}$$

### CAPACIDAD DEL ÁNODO ( $C_a$ )

$$C_a = \text{Masa del ánodo} * \epsilon \in \text{Al} \rightarrow \text{Zn} - \text{In} * Fu$$

$$C_a = 40,200 \text{ kg} * 1600 \text{ Amp} * \frac{\text{Hr}}{\text{kg}} * 0,85 = 54672 \text{ Amp} - \text{Hr}$$

**CAPACIDAD DE CORRIENTE REAL (CR)**

CARA INTERNA DEL PISO

$$Cr = Ca * \# \text{ \u00c1nodos}$$

$$Cr = 54672 \text{ Amp} * Hr * 7 \text{ \u00c1nodos} = 382704 \text{ Amp} - Hr$$

**PLATOS INTERNOS (ANVERSO)**

$$Cr = Ca * \# \text{ \u00c1nodos}$$

$$Cr = 54672 \text{ Amp} * Hr * 6 \text{ \u00c1nodos} = 328032 \text{ Amp} - Hr$$

**CARA INTERNA DE LA PARED (H= 5,28 m)**

$$Cr = Ca * \# \text{ \u00c1nodos}$$

$$Cr = 54672 \text{ Amp} * Hr * 5 \text{ \u00c1nodos} = 273360 \text{ Amp} - Hr$$

**CAPACIDAD DE CORRIENTE TE\u00d3RICA (CT)**

CARA INTERNA DEL PISO

$$Ct = I * t * 8760$$

$$Ct = 4,22 * 10 \text{ años} * 8760 \frac{Hr}{\text{años}} = 369672 \text{ Amp} - Hr$$

$$Ct = I * t * 8760$$

$$Ct = 4,22 * 10 \text{ años} * 8760 \frac{Hr}{\text{años}} = 369672 \text{ Amp} - Hr$$

#### PLATOS INTERNOS (ANVERSO)

$$Ct = I * t * 8760$$

$$Ct = 3,24 * 10 \text{ años} * 8760 \frac{Hr}{\text{años}} = 283824 \text{ Amp} - Hr$$

#### CARA INTERNA DE LA PARED (H= 5,28 m)

$$Ct = I * t * 8760$$

$$Ct = 2,79 * 10 \text{ años } 8760 \frac{Hr}{\text{años}} = 24404Amp - Hr$$

## CAPÍTULO VII

### PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO

#### 7.1. Normas

Antes de conocer especificaciones sobre ésta aplicación sé, introducirá al lector sobre las normas internacionalmente aceptadas en la industria petrolera para protección contra la corrosión en tanques de almacenamiento de hidrocarburos.

#### 7.2. Criterios para sistemas de protección Catódica

##### Introducción

En esta sección se da una lista de los criterios para protección catódica que, cumplan conjuntamente o por separado con otros, para la protección de fondos de tanques de

almacenamiento. El objetivo de usar protección catódica es el control de la corrosión del fondo de un tanque de almacenamiento en contacto con un electrolito.

La selección de un particular criterio para el objetivo general planteado en el anterior párrafo, depende primeramente de la experiencia en tanques similares y ambientes similares donde el criterio ha sido usado exitosamente. Esto no quiere decir que las personas dedicadas al control de la corrosión se deban limitar únicamente a este criterio. Y pueden demostrar por otros medios que la corrosión ha sido controlada.

### **7.3. Mediciones de Potencial**

Las mediciones de potencial en tanques de almacenamiento podrán ser hechas con electrodos de referencia localizados lo más cerca posible del fondo del tanque.

En tanques generalmente, las mediciones deberían ser tomadas en el perímetro, cerca del centro del fondo del tanque, o en varios puntos entre el centro y el perímetro. Estas consideraciones deben ser hechas para las caídas de voltaje de éstas y otras estructuras a través del límite del electrolito, para la presencia de metales no similares y la influencia de otras estructuras.

### **7.4. Criterios para la prevención de la corrosión en Tanques de Almacenamiento**

El control de la corrosión puede ser clasificado en varios niveles de polarización catódica, éste depende de las condiciones del medio ambiente. De cualquier manera en ausencia de datos específicos que demuestren que la protección catódica adecuada ha sido clasificada. Uno o más de los siguientes criterios se pueden aplicar.

**El primer criterio:** debemos tener un potencial negativo catódico mínimo de 850 mV C.D, con corriente catódica de protección aplicada. Éste potencial deberá ser medido con respecto a un electrodo de referencia cobre/ sulfato de cobre saturado,

(Cu / CuSO) en contacto con el electrolito. Otras caídas de Voltaje, a través del fondo del tanque y el límite del electrolito serán consideradas para una interpretación válida de ésta medición de potencial.

Éstas caídas deben ser calculadas y/o estimadas por los siguientes métodos:

- Medición o cálculo de las caídas de voltaje.
- Revisión histórica del desempeño del sistema de protección catódica (medición de potenciales de intervalo corto.
- Evaluar las características físicas y eléctricas del fondo del tanque y el medio donde se encuentra.

**El segundo criterio:** un voltaje mínimo de -100 mV D.C. de polarización entre el fondo metálico del tanque y el electrodo fijo de referencia en contacto con el electrolito.

La formación o decaimiento de polarización puede ser medido para satisfacer éste criterio.

### **Electrodos de referencia alternativos al de Cobre /Sulfato de Cobre Saturado**

**( Cu / CuSO ).**

Otros electrodos estándar puede sustituir a los de cobre / sulfato de cobre saturado. Dos electrodos de referencia son descritos en el siguiente párrafo.

Los voltajes son los equivalentes a (25°C, 77°F) a 850 mV negativos de corriente directa referidos al electrodo cobre / sulfato de cobre saturado Cu /CuSO.

Electrodo de Plata / Cloruro de Plata a un potencial negativo de 780mV de corriente directa.



Electrodo de zinc de alta pureza (99.99%) un potencial positivo de 250mV de corriente directa.

Cuando se emplean ánodos de zinc de alta pureza se debe estar seguro que estos ánodos están de acuerdo a los requerimientos de la norma ASTM B418 Standard especificación for cast and wrought galvanic zinc anodes) Norma de especificación para ánodos de galvánicos de zinc.

Los electrodos permanentes deberán ser encapsulados en un Backfill (material de relleno) apropiado, en condiciones donde la protección es inefectiva parcialmente efectiva, entre las que tenemos: Elevadas temperaturas, juntas aislantes deterioradas, blindajes dañados, ataques bacterianos y contaminantes inusuales en el electrolito.

Rocas, dispositivos de arcilla o vegetación bajo el fondo metálico del tanque, pueden promover la formación de corrosión localizada o actividad corrosiva, que es difícil de monitorear y evaluar.

Esta información traducida de la norma NACE Standard Recommended Practice , standard RP 019-93 “External Cathodic Protection of On-Grade Metallic Storage Tank Bottoms”

Protección Catódica externa para fondos de tanques de almacenamiento práctica recomendada RP 019-93.

Son los criterios internacionales recomendados para esta protección.

## **Sistemas de Protección Catódica para tanques de almacenamiento**

### **Descripción**

Los sistemas de protección catódica se diseñan e instalan para prevenir la corrosión del fondo de un tanque, cumpliendo los requerimientos de algunos de los criterios listados en el apartado “Criterios para sistemas de protección catódica”.

Para obtener los resultados esperados, el sistema de protección catódica debe diseñarse adecuadamente, después de estudiar los siguientes aspectos:

- a) Diseño, especificaciones y prácticas de ingeniería.
- b) Procedimientos de operación.
- c) Requerimientos de seguridad, ambientales y de áreas peligrosas.
- d) Pruebas de campo.

En general, el diseño deberá permitir una protección adecuada contra la corrosión, minimizando los costos de operación, mantenimiento e instalación.

Los principales objetivos del diseño de sistemas de protección catódica para fondo de tanques son:

1. Entregar y distribuir suficiente corriente al fondo del tanque, para asegurar que se cumplan los criterios de protección.
2. Proveer una vida de diseño al sistema de ánodos y otros equipos, de acuerdo a la vida de diseño del tanque, o proveer el reemplazo periódico de los ánodos y el mantenimiento del equipo.
3. Proveer márgenes adecuados para los cambios previsibles por aumento en los requerimientos de corriente con el tiempo.

4. Colocar los ánodos, cables, rectificadores y estaciones de prueba en lugares donde sea mínima la posibilidad de que sufran daños físicos.
5. Minimizar las corrientes de interferencia con las estructuras.
6. Proveer suficientes puntos de monitoreo, con el fin de que se puedan tomar mediciones para determinar el cumplimiento del criterio de protección sobre toda la superficie del fondo del tanque.

Existen muchos factores a considerar en el diseño de ambos sistemas, interior y exterior, de protección catódica. Los sistemas de protección catódica sólo deben ser diseñados por personas con experiencia comprobada en esta práctica.

En lo posible, el diseño deberá basarse en componentes estandarizados, suministrados por proveedores especializados en la producción de elementos para sistemas de protección catódica.

#### **7.5. Especificaciones para tanques de almacenamiento.**

#### **7.6. Ánodos de sacrificio**

Los sistemas de ánodos de sacrificio, utilizan ánodos galvánicos, los cuales están hechos de magnesio o zinc en forma de barras, se instalan los ánodos enterrados directamente en el suelo rodeados de una mezcla química y empacada en sacos especiales.

Los ánodos pueden estar conectados al sistema de forma individual o en grupos. Los ánodos galvánicos están limitados en su corriente de salida por el voltaje del sistema y la resistencia del circuito. Se deben emplear sistemas del tipo de corriente impresa para la

protección catódica de estructuras de gran tamaño, descubiertas o con recubrimiento deteriorado.

Los sistemas de ánodos de sacrificio de protección catódica, se deben aplicar en tanques de pequeño diámetro. Ya que la corriente de protección es limitada.

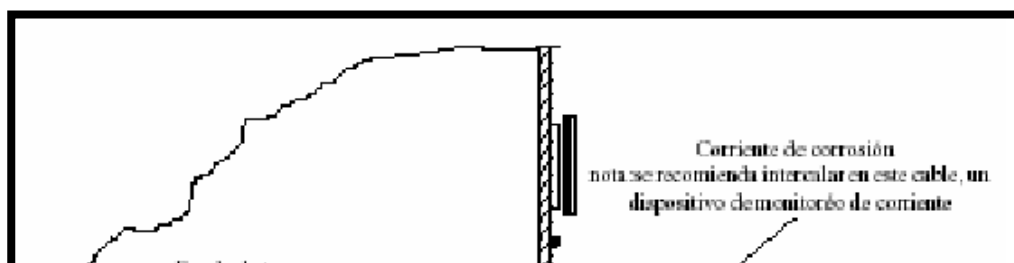
Para los ánodos galvánicos en instalaciones sobre el suelo, se deben utilizar tres materiales:

- a) Aleaciones de magnesio con alto potencial.
- b) Aleaciones de magnesio estándar (certificación H-1).
- c) Zinc.

Se hallan disponibles en el mercado diferentes pesos, tamaños y configuraciones de ánodos de magnesio y zinc, los cuales pueden venir desnudos o empacados con material de relleno especial. La variedad en pesos, se utiliza para cubrir los distintos requerimientos del diseño, de acuerdo a la corriente de salida y la vida útil del ánodo.

Es necesario considerar material de relleno especial, cuando se instalan ánodos en suelos de alta resistividad. El material de relleno consiste en una mezcla de yeso, bentonita y sulfato de sodio, que reduce la resistencia e incrementa el área de contacto del ánodo con el suelo. El número de ánodos que se requieren para la protección catódica de tanques de almacenamiento sobre el suelo, depende del requerimiento total de corriente y de la corriente de descarga promedio individual de los ánodos en el suelo. Al calcular la colocación de los ánodos, también deben considerarse los factores que influyen en la distribución de la corriente sobre la geometría de la estructura.

Generalmente se obtiene mejor distribución de la corriente y unapolarización más uniforme, distribuyendo ánodos uniformemente alrededor del tanque o bajo los tanques de nueva construcción como lo muestra la figura.



### **fig. 19. Protección de tanque con ánodos de sacrificio**

#### **7.6.1. Ánodos galvánicos (de sacrificio)**

Este tipo de ánodos sirven esencialmente como fuente de energía, donde no es posible obtener energía eléctrica con facilidad o en las que no es conveniente o económico instalar líneas de energía para este propósito, los materiales que más se utilizan como ánodos galvánicos son el magnesio, el aluminio y el zinc.

- **Ánodo de magnesio**

Se fabrican en diversos pesos y medidas incluyendo cintas y barras, considerando el criterio del diseñador. El magnesio es el material más utilizado como ánodo galvánico.

Estos ánodos deben de cumplir con el procedimiento ASTM G97 o equivalente.

Uso: principalmente para proteger estructuras enterradas, tanques condensadores, ductos, entre otros.

- **Ánodo de aluminio.** Fabrican en diversos pesos y medidas.

**Uso:** para proteger estructuras sumergidas que operan con altas temperaturas en plataformas marinas.

- **Ánodo de zinc.** Este tipo de ánodos se fabrican con zinc de alta pureza (99.99%) en diversos pesos y medidas con alma de tubo, varilla o patín de solera galvanizada para su instalación.

**Usos:** en forma de brazaletes para proteger estructuras sumergidas, tuberías de acero desnudas en suelos de baja resistividad.

## **7.7. FACTORES QUE AFECTA LA PROTECCIÓN CATÓDICA**

El contenido de un tanque de almacenamiento puede influir en la corrosión del fondo del tanque. La corrosión puede acelerarse sobre la superficie externa del fondo de un tanque calentado a temperaturas elevadas, si el área de contacto es húmeda, los tanques de almacenamiento que contienen productos calientes pueden requerir un incremento en la densidad de corriente; para lograr una protección adecuada sobre la superficie externa del fondo.

Sin embargo, los operarios de los tanques deberán estar conscientes que si penetra agua en el aislamiento de un tanque, la resistividad del aislamiento puede disminuir, desarrollando una condición más corrosiva. Para esta situación, la instalación de sistemas de protección catódica deberá ser considerada.

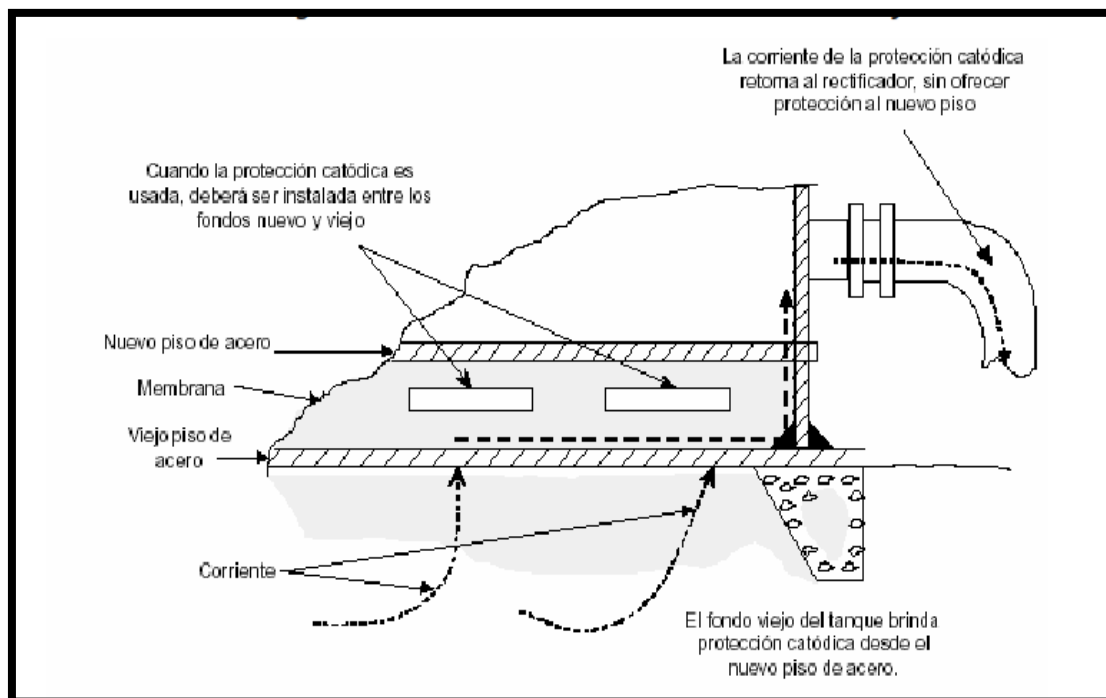
## **7.8. Reemplazo de fondos de tanques**

El reemplazo o reparación de fondos de tanques de acero es una práctica común, ya que las paredes de los tanques generalmente duran más que el fondo. Los recubrimientos se aplican frecuentemente en tanques para protección de la corrosión interior y exterior. Si un fondo de tanque se protege con protección catódica o si se planea protección catódica para el nuevo fondo, el fondo viejo deberá ser retirado totalmente. Si este no se retira, el fondo viejo formará un escudo que recolectará la corriente catódica a través del suelo y bloqueará la protección del fondo nuevo.

A menos que la protección catódica sea instalada entre los dos fondos de acero o el fondo viejo sea retirado, aislado eléctricamente o cubierto con un material no conductor, una celda galvánica puede resultar entre el nuevo y viejo fondo.

La experiencia en la industria nos muestra, que si el electrolito conductor existente entre ambos fondos, el flujo de corriente y la pérdida del metal será desde el nuevo fondo, resultando fallas prematuras en éste.

### NUEVO FONDO DE ACERO SOBRE FONDO VIEJO



## **Figura 20. Cambio de fondo en tanque viejo**

### **7.8.1. Mantenimiento**

#### **Operación y Mantenimiento de Sistemas de Protección Catódica**

Los ánodos de corriente impresa deben inspeccionarse para evitar defectos, verificar la conformidad con las especificaciones de material, tamaño y longitud de los cables y que si se utiliza un contenedor para el ánodo, éste sea seguro.

Se debe tener cuidado para evitar grietas o daños a los ánodos durante su manejo e instalación. Los ánodos fracturados no deben emplearse. Los cables deben inspeccionarse cuidadosamente para evitar cualquier defecto de aislamiento. Debe tomarse todas las precauciones para evitar daños de aislamiento en los cables.

Las mediciones eléctricas y las inspecciones son necesarias para determinar que la protección se ha establecido de acuerdo al criterio aplicable y que cada parte del sistema de protección catódica está operando adecuadamente.

Las condiciones que afectan la protección están sujetas a cambio con el tiempo. Pueden requerirse cambios en el sistema de protección catódica para mantener la protección. Son necesarias mediciones periódicas e inspección para detectar cambios en la operación del sistema de protección catódica.

Debe tenerse cuidado al seleccionar la localización, número y tipo de medición de corriente usada para determinar la adecuada protección catódica.

Si los tanques están vacíos, hay posibilidad que grandes áreas del fondo no estén en contacto con el subsuelo. Las medidas del potencial en este caso pueden ser poco confiables.



## Seguridad

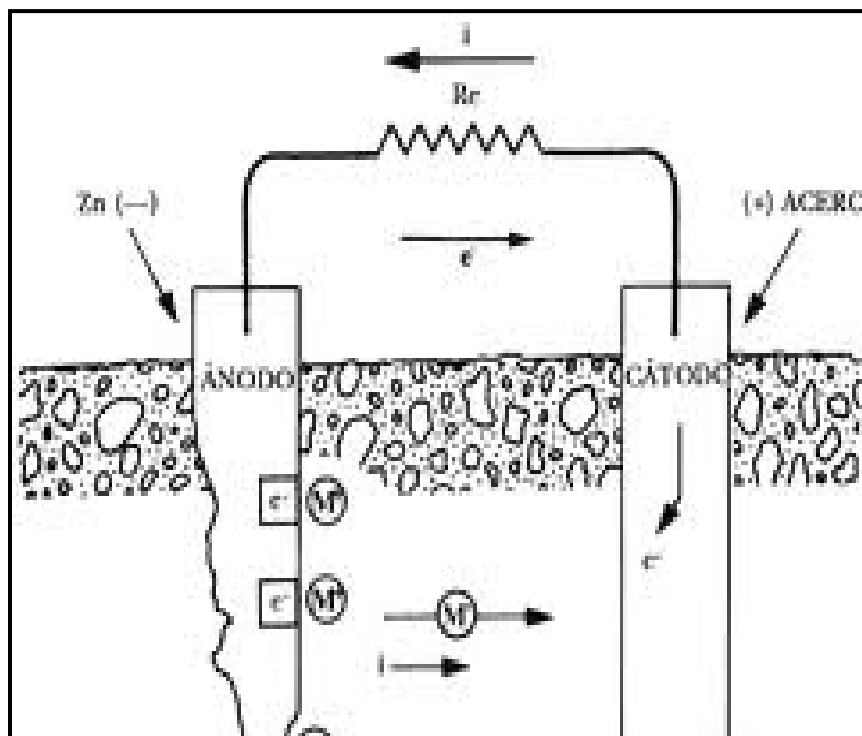
Todo el sistema de corriente impresa debe ser diseñado pensando en la seguridad. Se debe tener cuidado de asegurar que todos los cables estén protegidos para evitar daños y la posibilidad de un arco eléctrico.

Los rectificadores y cajas de conexiones, deben cumplir convenientemente los requerimientos para el lugar específico y ambiente en donde estén instalados. El tanque debe estar perfectamente aterrizado.

Una guía adicional que regula arcos debidos a electricidad estática, presencia de corriente o alumbrado se puede obtener en API RP Z003, "Protección contra fuentes de ignición que provienen de estática, alumbrado y presencia de corriente" o su equivalente.

### ¿Cómo sabemos que tenemos suficiente protección catódica?

Sabemos que tenemos o no suficiente corriente si comparamos el potencial del acero con el de un electrodo de referencia estándar, generalmente de plata/cloruro de plata (Ag/Gal agua marina), pero algunas veces de zinc (Zn agua marina). El flujo de corriente en cualquier metal cambia su potencial normal en la dirección negativa. La experiencia ha demostrado que si el acero recibe suficiente corriente para cambiar el potencial a (-) 0.800 V vs. plata/cloruro de plata, la corrosión esencialmente se detiene.



### **Figura 21 cambio de potencial con flujo de corriente**

#### **SELECCIÓN DEL ÀNODO DE SACRIFÌCIO**

En este caso se realiza la proteccion catodica se realiza en varios intervalos en las tuberias de las instalaciones de superficie, tanto a tanues, equipos y anillos de sosten de las tanques.

#### **CARACTERÌSTICAS DE UN ÀNODO DE SACRIFÌCIO**

##### **Características de un Ànodo de Galvánico o de Sacrificio**

- a. Debe tener un potencial de disolución lo suficientemente negativo, para polarizar la estructura de acero (metal que normalmente se protege) a -0.8 Voltios. Sin embargo el potencial no debe de ser excesivamente negativo, ya que eso motivaría un gasto superior, con un innecesario paso de corriente. El potencial práctico de disolución puede estar comprendido entre -0.95 a -1.7 Voltios.
- b. Corriente suficientemente elevada, por unidad de peso de material consumido.

- c. Buen comportamiento de polarización anódica a través del tiempo.
- d. .Bajo costo.

### **Tipos de Ánodos**

Considerando que el flujo de corriente se origina en la diferencia de potencial existente entre el metal a proteger y el ánodo, éste último deberá ocupar una posición más elevada en la tabla de potencias (serie electroquímica o serie galvánica). Se debe controlar cuidadosamente los medios mecánicos de inserción del tubo, para evitar daños en el fondo del tanque. Es común poner en contacto el tanque con un cuchillo o piqueta, al tomar las medidas del potencial entre el tanque y el suelo.

Esta acción repetida, puede causar fallas tempranas en la pintura del tanque. Esto se puede evitar instalando testigos permanentes de prueba, terminales a tierra, o piezas cortas de cable o tubo, que también permiten identificar rápidamente los lugares normales de monitoreo.

Si se requieren dispositivos de aislamiento, se debe realizar una inspección y efectuar mediciones eléctricas para asegurar que el aislamiento eléctrico es efectivo y cubre los requerimientos de protección catódica. Los dispositivos eléctricos aislados del sistema de

almacenamiento de líquidos, para los fines de la protección catódica, deben contar con tierra segura, de acuerdo con los códigos eléctricos aplicables.

## CAPÍTULO VIII

### **8.1. Consideraciones y suposiciones**

#### **Operación y Mantenimiento de Sistemas de Protección Catódica**

Los ánodos de corriente impresa deben inspeccionarse para evitar defectos, verificar la conformidad con las especificaciones de material, tamaño y longitud de los cables y que si se utiliza un contenedor para el ánodo, éste se asegure. Se debe tener cuidado para evitar grietas o daños a los ánodos durante su manejo e instalación. Los ánodos fracturados no deben emplearse.

Los cables deben inspeccionarse cuidadosamente para evitar cualquier defecto de aislamiento. Debe tomarse todas las precauciones para evitar daños de aislamiento en los cables.

Las mediciones eléctricas y las inspecciones son necesarias para determinar que la protección se ha establecido de acuerdo al criterio aplicable y que cada parte del sistema de protección catódica está operando adecuadamente.

Las condiciones que afectan la protección están sujetas a cambio con el tiempo. Pueden requerirse cambios en el sistema de protección catódica para mantener la protección. Son necesarias mediciones periódicas e inspección para detectar cambios en la operación del sistema de protección catódica.

Debe tenerse cuidado al seleccionar la localización, número y tipo de medición de corriente usada para determinar la adecuada protección catódica. Si los tanques están vacíos, hay posibilidad que grandes áreas del fondo no estén en contacto con el subsuelo. Las medidas del potencial en este caso pueden ser poco confiables.

## **Seguridad**

Todo el sistema de corriente impresa debe ser diseñado pensando en la seguridad. Se debe tener cuidado de asegurar que todos los cables estén protegidos para evitar daños y la posibilidad de un arco eléctrico.

Los rectificadores y cajas de conexiones, deben cumplir convenientemente los requerimientos para el lugar específico y ambiente endonde estén instalados.

El tanque debe estar perfectamente aterrizado. Una guía adicional que regula arcos debidos a electricidad estática, presencia de corriente o alumbrado se puede obtener en API RP Z003, "Protección contra fuentes de ignición que provienen de estática, alumbrado y presencia de corriente" o su equivalente.

## **8.2. CONCLUSIONES.**

1. La corrosión es un flujo eléctrico masivo generado por las diferencias químicas entre las piezas implicadas. La corrosión es un fenómeno electroquímico. Una corriente de electrones se establece cuando existe una diferencia de potenciales entre un punto y otro.
2. La implementación de los ánodos es un sistema donde se protegerá la estructura sacrificando otra (los ánodos), creando una pila de corrosión donde el cátodo será la estructura protegida y el ánodo un electrodo especial enterrado a cierta distancia de la estructura en contacto con el medio corrosivo.
3. 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
4. Algunos de los factores que pueden originar cambios en las tasas de corrosión son: fuga de aire, incremento de la producción de agua, incremento del contenido de gas ácido (como el H<sub>2</sub>S), actividad bacteria, operaciones de recuperación secundaria y variaciones en la presión.
5. De acuerdo a la evaluación económica la propuesta de implementación de ánodos de sacrificio de aluminio cumplirá a cabalidad los procesos en las tres estaciones del campo, deteniendo así la tendencia corrosiva en dichas instalaciones de superficie, por lo tanto su ejecución es recomendada.

## **8.3. RECOMENDACIONES**

1. En el campo Pacoa existe un proceso de corrosión por reacción anódica como resultado del metal oxidado más los electrones libres, por lo tanto se recomienda una protección catódica que permita alargar la vida útil de las facilidades de superficie del campo.

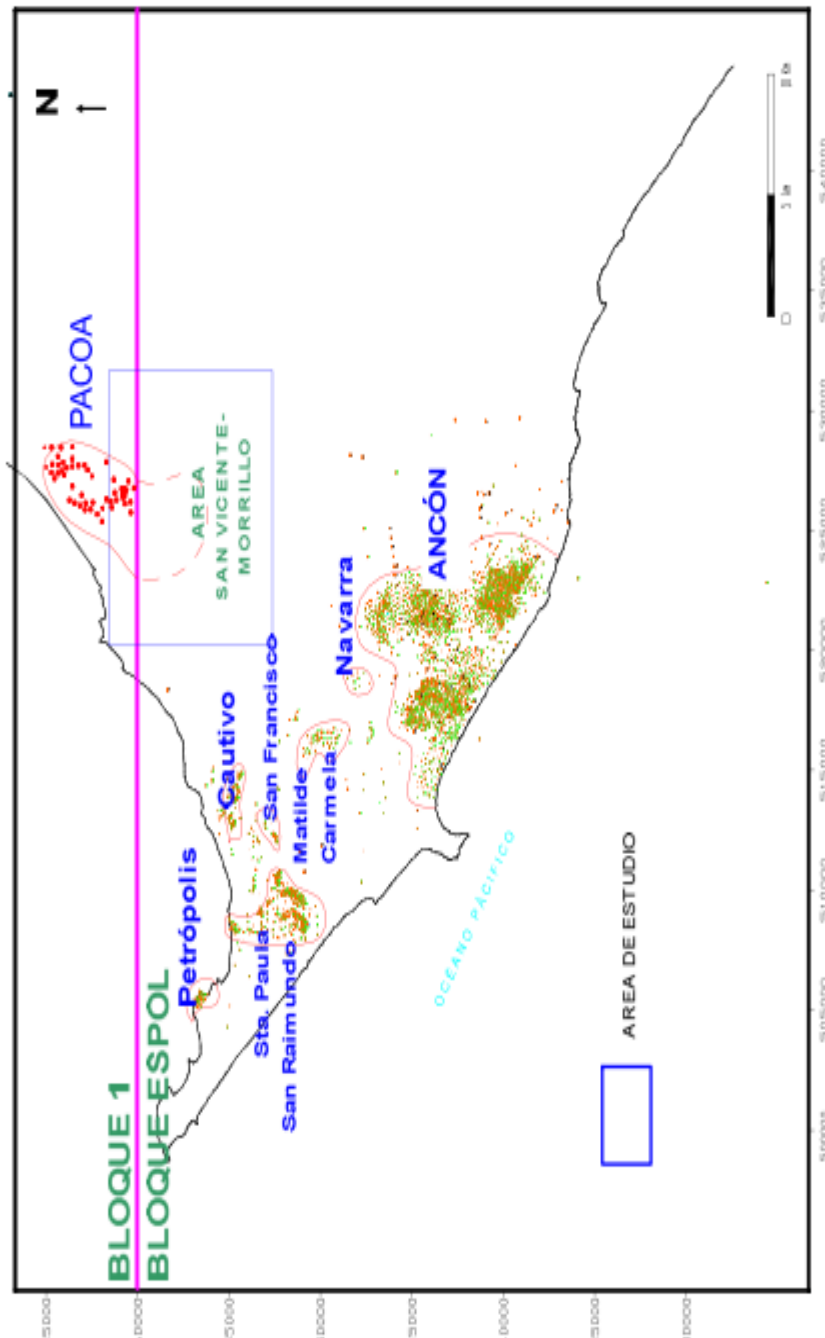
2. Junto a la instalación de los ánodos de sacrificio se sugiere un sistema de recubrimiento que complementa la protección para los cuerpos metálicos.
3. Es aconsejable la utilización de ánodos de aluminio en virtud de la gran capacidad entre la clasificación de los ánodos utilizados para lograr el objetivo de los sistemas de protección catódica ya que este tipo de material cuenta con los parámetros necesarios fijados dentro de la normativa para evaluar calidad, manejo y control de los mismos.
4. No es apropiado sobreproteger catódicamente, ya que acelera el desgaste del ánodo (innecesariamente) y el deterioro del revestimiento de la estructura (emite mayores volúmenes hidrógeno) Efectuar inspecciones visuales del sistema mensualmente.

#### **8.4. BIBLIOGRAFÍA**

1. Manual de corrosión y protección catódica consorcio CEPE pp. 2, 33 – 39
2. NACE Engineers corrosion control in petroleum production.
3. I.A.P. Recommended practice for care and use of case and tubing
4. Fontana M, Greene corrosion Engineers, M.C. Graw H
5. Cathodic protection On storage tanks bottoms norma 019-93, protección catódica externa catódica consorcio fondos de tanques de almacenamiento práctica recomendada.
6. Nace standard recommended practice, standard rp 019-93 “external cathodic protection of on-grade metallic storage tank bottoms” 651 práctica

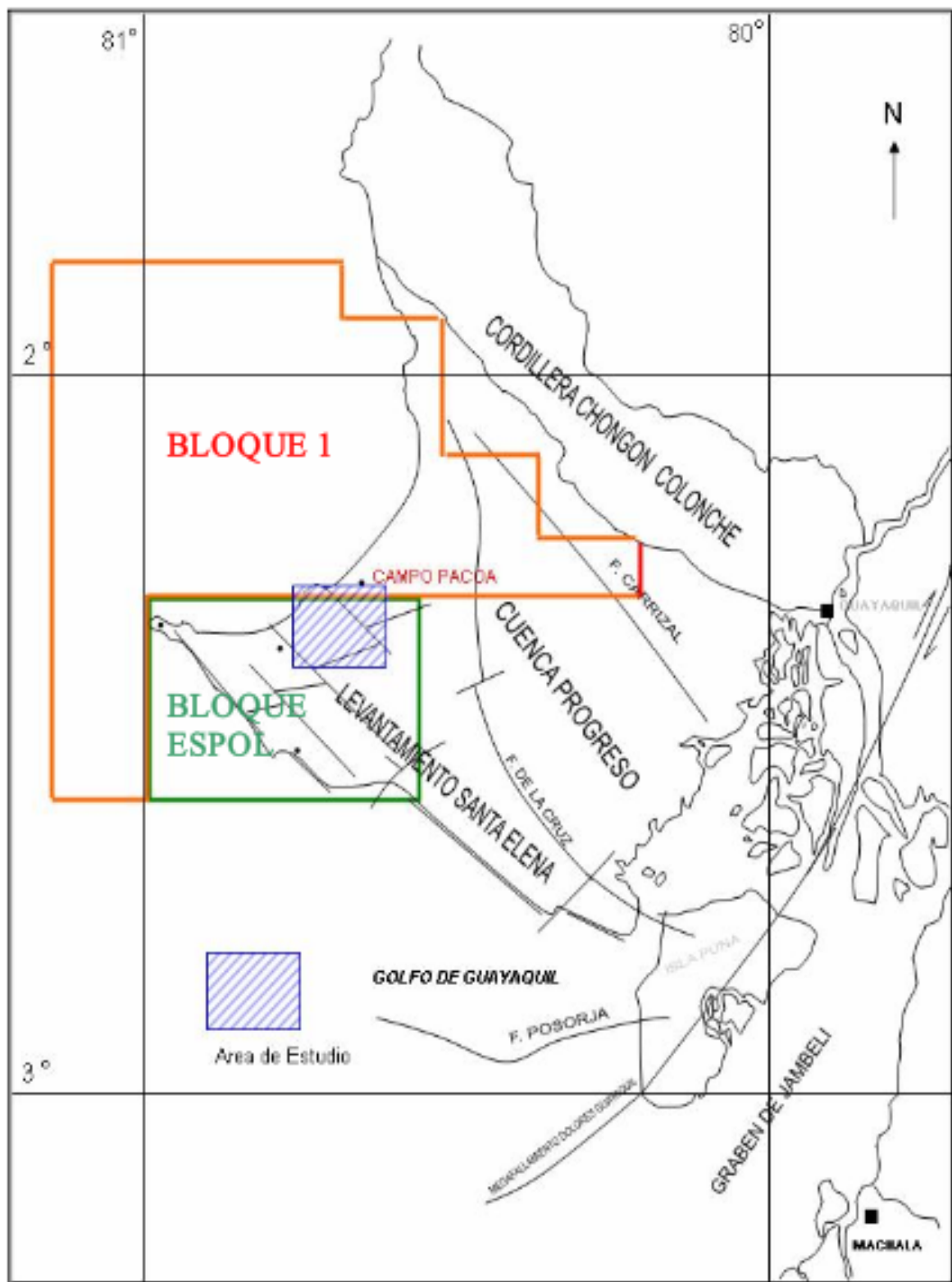
recomendada protección catódica para tanques de almacenamiento instalados sobre el terreno.

## ANEXOS





## **Anexo 1. Mapa de ubicación de campo**



anexo 2. Mapa de ubicación del Bloque 1

### anexo 3. TABLA COMPARATIVA DE ÁNODOS DE SACRIFICIO

|   | Ánodo de zinc     | Ánodo de          | Ánodo de Aluminio |                  |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Propiedad   | MIL-A 18001-H     | MIL-A 24412-A     | Tipo A            | Tipo B           |
| Composicion %                                     | Cd = 0,025 - 0,15 | Cu = 0,1 máx      | Si = 0,11 - 0,21  | Si = 0,10 máx.   |
|   | Al = 0,10 - 0,50  | Al = 5 - 7        | Fe = 0,10 máx.    | Fe = 0,13 máx.   |
|   | Fe = 0,005 máx    | Si = 0,3 máx.     | Zn = 0,3 - 0,5    | Zn = 3,5 - 5,0   |
|   | Pb = 0,006 máx    | Fe = 0,003 máx.   | Sn = ---          | Sn = ---         |
|   | Cu = 0,005 máx    | Mn = 0,15 mín.    | Mg = ---          | Mg = 0,3 - 0,8   |
|   | Si = 0,125 máx    | Ni = 0,003 máx    | Hg = 0,02 - 0,05  | Hg = ---         |
|   |                   | Zn = 2 - 4        | In = ---          | In = 0,02 - 0,05 |
|   |                   | Otros = 0,3 máx.  | Cu = 0,006 máx.   | Cu = 0,006 máx.  |
|   |                   | Otros = 0,02 máx. | Otros = 0,02 máx. |                  |
| Rendimiento                                       | 0.95              | 0.5               | 0.95              | 0.9              |
| Potencial de trabajo mV vs Ag / AgCl              | -1050             | -1550             | -1050             | -1100            |
| Potencial vs acero protegido                      | -250              | -700              | -250              | -350             |
| Capacidad eléctrica teórica A-h / kg ( A-h / lb ) | 820 (368)         | 2210 (1100)       | 2830 (1290)       | 2700 (1231)      |
| Capacidad eléctrica real A-h / kg ( A-h / lb )    | 780 (356)         | 1100 (503)        | 2689 (1226)       | 2430 (1110)      |
| Consumo ánodo kg / A-año                          | 11.00             | 8.00              | 3.00              | 10.00            |
| lb / A-año  | 23.8              | 17.5              | 6.8               | 21.9             |
| Densidad kg / dm <sup>3</sup>                     | 7.3               | 1.77              | 2.75              | 2.81             |
| lb / pulg. <sup>3</sup>                           | 0.258             | 0.063             | 0.098             | 0.10             |

**Anexo: fotografías corrosión en líneas y tanques**











## LISTA DE SÍMBOLOS

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>A</b>         | Amperios  |
| <b>AGA</b>       | Asociación Americana del Gas (American Gas Association)                                       |
| <b>Al</b>        | Aluminio  |
| <b>API</b>       | Instituto Americano del Petróleo (American Petroleum Institute).                              |
| <b>ASTM</b>      | Sociedad Americana para pruebas y Materiales (American Society<br>For testing and materials). |
| <b>AWG</b>       | Medida americana de conductores (American wire gauge)   |
| <b>°C</b>        | Grados Centígrados  |
| <b>C.A.</b>      | Corriente Alterna   |
| <b>Cadweld ®</b> | Marca registrada de soldadura por aluminio -termia  |
| <b>cm</b>        | Centímetros   |
| <b>Cu/CuSO</b>   | Cobre/Sulfato de Cobre Saturado   |
| <b>°F</b>        | Grados Fahrenheit   |
| <b>Fe</b>        | Hierro  |
| <b>H</b>         | Hidrógeno   |
| <b>H2</b>        | Gas hidrógeno   |
| <b>H2O</b>       | Molécula de Agua  |



|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>HMWPE</b>            | Polietileno de Alto peso molecular (High Molecular Weight Polyethylene) |
| <b>kg</b>               | Kilogramos  |
| <b>km</b>               | Kilómetros  |
| <b>kVA</b>              | Kilo Volta-amperios   |
| <b>lb</b>               | Libras  |
| <b>MΩ</b>               | Mega ohm  |
| <b>m</b>                | Metros  |
| <b>mV</b>               | Milivoltios   |
| <b>NACE</b>             | Asociación Americana de Ingenieros en Corrosión                         |
| <b>O<sub>2</sub></b>    | Dos átomos de oxígeno   |
| <b>‘</b>                | Pies  |
| <b>"</b>                | Pulgadas  |
| <b>SO<sub>4</sub>Na</b> | Sulfato de Sodio  |
| <b>SRB</b>              | Bacterias Desulfuro – Desulfuricans                                     |
| <b>UCP</b>              | Unidad de Control de Potencia   |
| <b>V</b>                | Voltios   |
| <b>Zn</b>               | Zinc  |

**Ω** Ohm medida de Resistencia eléctrica

**Ω-cm** Ohm-centímetro medida de resistividad del suelo

## **1. RESISTIVIDAD DE SUELOS, MÉTODO WENNER 4 BARRAS.**

Equipos: Megger Nilsson, Metrawatt

Accesorios: 4 barras, 4 cables, 1 martillo o masa, 1 cinta métrica.

1. Se revisa el terreno seleccionado. No debe haber tuberías, cables ni estructuras cercanas. No debe haber torres de alta tensión en un radio de 200 metros.
2. Se instalan las barras en una línea recta, con una separación entrecada dos barras consecutivas de 1 metro. Las barras se clavan hasta que queden firmes en el terreno.
3. Se conectan los cables, en un extremo de la barra y el otro al instrumento. Cuidado con los bornes de conexión: hay uno específico para cada barra. Siempre que sea posible utilice cables de diferentes colores para evitar errores de conexión.
4. Se efectúa la medición siguiendo el procedimiento indicado en el manual respectivo.
5. Se repite el procedimiento separando las barras dos metros entre sí.
6. Se repite el procedimiento separando las barras tres metros entre sí.
7. Se repite el procedimiento separando las barras cuatro metros entre sí.
8. Se toma nota de los valores de resistencia indicados por el instrumento.
9. Se calcula la resistividad utilizando la fórmula siguiente:

$$R = 2 * R_o * p * L$$

Dónde:

R= resistividad en ohms-cm

R<sub>o</sub>= Resistencia en ohms

ρ= constante

L = distancia entre barras en cm.

| <b>Rango de Resistencia</b> | <b>Clasificación</b> |
|-----------------------------|----------------------|
| 0 – 1000 Ω-cm               | Altamente Corrosivos |
| 1001 – 5000 Ω-cm            | Corrosivos           |
| 5001 – 10000 Ω-cm           | Poco Corrosivos      |
| > 10001 Ω-cm                | Muy poco corrosivos  |

## 2. MEDICIÓN DE POTENCIAL

**Equipos** Tester o Multímetro, resistencia mínima de 10 Mega $\Omega$  usado en la escala de Milivoltios.

**Accesorios.** Electrodo de referencia, cable rojo, cable negro, cepillo de alambre, lima, navaja.

### **Procedimiento:**

1. Se llena el electrodo de referencia con cristales azules de sulfato de cobre hasta una altura aproximada de 1/3 del total. Se completa con agua, sin llenar totalmente y se agita.
2. Se ubica el punto donde se apoyará el electrodo de referencia y el borne negativo con el cable negro a la estructura. Asegúrese de limpiar bien la superficie metálica para hacer buen contacto; para ello quite la pintura y cepille bien el metal hasta que brille.
3. Se enciende el tester o multímetro y se coloca en la escala de milivoltios. (mV).
4. Se anota el valor indicado.
5. Al terminar su sesión de mediciones vacíe la solución de sulfato de cobre del electrodo y sumerja la punta cerámica en agua. Déjela sumergida hasta su siguiente sesión de mediciones.

### **Interpretación de Resultados**

| <b>POTENCIAL</b>        | <b>ESTRUCTURA</b> |
|-------------------------|-------------------|
| Mayor o igual a -850 mV | Protegida         |
| Menor que -850 mV       | No protegida      |

### SERIE DE POTENCIALES NORMALES Ó ESTÁNDAR

| <b>ELEMENTO QUÍMICO</b> | <b>SÍMBOLO</b> | <b>POTENCIAL VOLTS</b> |
|-------------------------|----------------|------------------------|
| <b>POTASIO</b>          | <b>K</b>       | <b>-2,922</b>          |
| <b>CALCIO</b>           | <b>Ca</b>      | <b>-2,870</b>          |
| <b>SODIO</b>            | <b>Na</b>      | <b>-2,712</b>          |
| <b>MAGNESIO</b>         | <b>Mg</b>      | <b>-2,340</b>          |
| <b>BERILIO</b>          | <b>Be</b>      | <b>-1,700</b>          |
| <b>ALUMINIO</b>         | <b>Al</b>      | <b>-1,670</b>          |
| <b>MANGANESO</b>        | <b>Mn</b>      | <b>-1,050</b>          |
| <b>CINC</b>             | <b>Zn</b>      | <b>-0,762</b>          |
| <b>CROMO</b>            | <b>Cr</b>      | <b>-0,710</b>          |
| <b>GALIO</b>            | <b>Ga</b>      | <b>-0,520</b>          |
| <b>HIERRO</b>           | <b>Fe</b>      | <b>-0,440</b>          |
| <b>CADMIO</b>           | <b>Cd</b>      | <b>-0,402</b>          |

| <b>ELEMENTO QUÍMICO</b> | <b>SÍMBOLO</b> | <b>POTENCIAL VOLTS</b> |
|-------------------------|----------------|------------------------|
| <b>POTASIO</b>          | <b>K</b>       | <b>-2,922</b>          |
| <b>CALCIO</b>           | <b>Ca</b>      | <b>-2,870</b>          |
| <b>SODIO</b>            | <b>Na</b>      | <b>-2,712</b>          |
| <b>MAGNESIO</b>         | <b>Mg</b>      | <b>-2,340</b>          |
| <b>BERILIO</b>          | <b>Be</b>      | <b>-1,700</b>          |
| <b>ALUMINIO</b>         | <b>Al</b>      | <b>-1,670</b>          |
| <b>MANGANESO</b>        | <b>Mn</b>      | <b>-1,050</b>          |
| <b>CINC</b>             | <b>Zn</b>      | <b>-0,762</b>          |
| <b>CROMO</b>            | <b>Cr</b>      | <b>-0,710</b>          |
| <b>GALIO</b>            | <b>Ga</b>      | <b>-0,520</b>          |
| <b>HIERRO</b>           | <b>Fe</b>      | <b>-0,440</b>          |
| <b>CADMIO</b>           | <b>Cd</b>      | <b>-0,402</b>          |

Anexo IX. Elementos químicos, símbolos y potenciales

## GLOSARIO

**ACABADO.** Apariencia que presenta una película seca. También se llama acabado a la capa final de un sistema de pintura.

**ACERO ESTABILIZADO.** Nombre, con que se conoce a los aceros inoxidable que contienen un elemento aislante (como Titanio o Tántalo) que le confiere la propiedad de resistir la precipitación de carburos, fenómeno conocido como sensibilización.

**ACRÍLICA.** Resina polimerizada que se forma con el ácido acrílico, el ácido meta-acrílico, ester de estos ácidos o acrilonitrilo. Base de pinturas.

**ACTIVADOR.** Sustancia química que activa como catalizador, produciendo la polimerización de una resina. Todas las pinturas de doble envase, incluyen en uno de ellos el monómero o materia prima base de los polímeros y en otro, el activador o catalizador.

**ACTIVO.** (o metal activo); Es el metal que tiene tendencia a oxidarse (corroerse) en los medios habituales. Opuesto a pasivo.

**ADHERENCIA.** Propiedad de una pintura que le permite permanecer pegada a una superficie.

**AGRIETAMIENTO POR CORROSIÓN BAJO TENSIÓN.** En inglés Stress corrosion cacking (SCC). Tipo de falla que se produce en aleaciones metálicas sometidas simultáneamente a esfuerzos mecánicos y corrosión.

**ALQUÍLICA.** Resina polimerizada empleada como base para pinturas. Es el producto de reacción de poli-alcoholes y ácidos poli-básicos.

**ALTO ESPESOR.** En inglés high build, recubrimientos que producen películas gruesas. No confundir con altos sólidos.

**AMPERE.** Unidad de medida de corriente eléctrica. Puede ser CD (corriente directa) o CA (corriente alterna).

**ANIÓN.** Ión cargado negativamente.

**ANÓDICA. (PROTECCIÓN)** Técnica de prevención de la corrosión, que se basa en provocar oxidación superficial del metal a proteger, mediante la aplicación de una corriente eléctrica directa; la capa de óxido formada protege al metal de ulteriores ataques.

**ANÓDICO, INHIBIDOR** Sustancia química o mezcla de sustancias que frena la velocidad de la reacción de corrosión u oxidación (reacción anódica).

**ANODIZADO** Capa de óxido protectora que se forma sobre la superficie de un metal o aleación. Se emplea principalmente para aleaciones de aluminio y de titanio. Ver pasividad.

**ÁNODO.** Electrodo o parte del metal de una estructura en la cual se produce la reacción de oxidación o corrosión. Opuesto a cátodo.

**ÁNODO GALVÁNICO** Ánodo de sacrificio de un sistema de protección catódica que no emplea fuentes de energía externas. En suelos los más comunes son aleaciones de zinc o de magnesio y en agua de mar aleaciones de aluminio. Estas aleaciones forman una pila con los aceros que permite cambiar el potencial de los mismos y protegerlos de la corrosión. Ver también protección Catódica.

**ÁNODO DE CORRIENTE IMPRESA.** Ánodo de sacrificio de un sistema de protección catódica que emplea fuentes de energía externas. Se emplean aleaciones de hierro / silicio / cromo, grafito, óxidos inertes. Plomo / plata, titanio / platino entre, otras. Cualquier metal conductor puede servir como ánodo de corriente impresa. Ver también protección catódica.



**ASTM** (American Society for Testing and Materials) Sociedad Americana para pruebas y materiales.

**ATAQUE LOCALIZADO.** Corrosión que se concentra en zonas pequeñas; hay dos tipos picadura pitting y en grietas.

**ATAQUE POR CHOQUE.** En inglés (impingement attack); fenómeno combinado de corrosión y erosión, generalmente originado por la turbulencia de un líquido que arrastra partículas sólidas, por ejemplo crudo con arena.

**"CADWELD®, thermOweld".** Marcas registradas de sistemas de soldadura aluminotermia muy usada en sistemas de protección catódica. También conocidas como "soldadura auto fundente".

**CAÍDA I\*R.** Error de medición ocasionado por la caída de voltaje que produce la circulación de la corriente a través del medio. Es de particular importancia en suelos de alta resistividad. Ver potencial a circuito abierto.

**CAMA DE ÁNODOS** Grupo o conjunto de ánodos de un sistema de protección catódica. También llamado lecho de ánodos. En inglés groundbed.

**CAMA PROFUNDA.** En inglés Deep groundbed. Forma de instalar un conjunto de ánodos de corriente impresa que se caracteriza porque los ánodos se colocan en una columna vertical de coque a una profundidad de 15 metros (50 pies) o mayor.

**CATÓDICA, CORROSIÓN.** Se presenta particularmente en metales del tipo anfótero, esto es que son capaces de formar sales actuando como álcalis o como ácidos. Por ejemplo: aluminio y plomo. En los aceros sólo se presenta corrosión u oxidación en las zonas anódicas.

**CATÓDICA, PROTECCIÓN.** Técnica de prevención de la corrosión que se basa en conectar al metal o aleación a proteger otro metal más activo que se oxidará,

manteniendo al primero como cátodo y en consecuencia, protegido de la corrosión. Puede efectuarse de dos maneras: mediante aleaciones de sacrificio basadas en aluminio (Al), magnesio (Mg) o zinc (Zn), o bien conectando los ánodos de cualquier

Metal conductor a una fuente de corriente continua que los obliga a comportarse anódicamente. El primer sistema se conoce como por ánodos galvánicos o de sacrificio y el segundo por corriente impresa.

**CATÓDICO, DESPRENDIMIENTO.** Proceso de desprendimiento de una película de recubrimiento ocasionado por la aplicación de una corriente excesiva de protección catódica, que aumenta el potencial de la estructura por encima del límite que dicho recubrimiento es capaz de soportar. Ver protección catódica.

**CATÓDICO, INHIBIDOR.** Sustancia química o mezcla de sustancias que frena la velocidad de la reacción catódica o de reducción.

**CÁTODO.** Electrodo o parte de la estructura en que se produce la reacción catódica o de reducción. Opuesto al ánodo.

**CELDA DE AIREACIÓN DIFERENCIAL.** Pila que se forma por la existencia de dos sectores con diferente concentración de aire o de oxígeno. También llamada celda de concentración de oxígeno.

**COQUE.** Relleno de ánodos para sistemas de protección catódica. Se elabora con coque de carbón molido y/o pulverizado o con coque de petróleo calcinado y molido. Aumenta la vida útil de los ánodos y mejora la salida de corriente.

**CORRIENTE DE FUGA.** Corriente parásita que vaga por el suelo y puede llegar a causar daños por interferencia en una estructura. En inglés stray current.

**CORROSIÓN.** Pérdida de propiedades de un material por acción del medio ambiente. No necesariamente implica la aparición de un producto de corrosión visible sobre la

superficie, puede manifestarse como una reducción de resistencia mecánica, por ejemplo.

**CORROSIÓN-FATIGA.** Agrietamiento de un material producido por esfuerzos repetitivos aplicados sobre el mismo, en un ambiente corrosivo.

**CORROSIÓN, VELOCIDAD DE.** Destrucción o pérdida de propiedades de un material por acción del medio, en función del tiempo. Habitualmente se expresa en alguna de las siguientes unidades:

- MDD = miligramos por decímetro cuadrado por día.
- MPY = milésimas de pulgada por año.

**CREVICE .** Palabra inglesa que designa una forma de ataque corrosivo localizado, que se produce en espacios confinados o grietas y se debe a la formación de celdas de concentración de oxígeno.

**ELECTROLITO.** Medio conductor de la corriente como un suelo húmedo, agua, industrial, potable o de mar.

**ELECTRODO DE REFERENCIA.** Dispositivo de medición de potenciales. En suelos se utilizan los electrodos de referencia de cobre / sulfato y en agua de mar se prefieren los de plata / cloruro de plata. También llamado celda de referencia o media celda.

**EMPACADURA AISLANTE.** Dispositivo de aislamiento entre dos sectores de tubería que se instala en una brida (Flange). Consta de una empacadura o anillo central, arandelas y manguitos que aíslan los tornillos. Hay diferentes modelos según la aplicación.

**EPÓXICAS.** Resinas de dos componentes que producen una película dura y flexible, de gran resistencia química y amplio campo de aplicación en diversos usos industriales. Se producen por reacción entre bisfenol y epiclorhidrina.

**EROSIÓN.** Destrucción de un material por la acción abrasiva de un fluido en movimiento, usualmente acelerada por la presencia de partículas sólidas.

**ESMALTE.** Pintura que se caracteriza por formar películas muy lisas, de excelente acabado superficial.

**ESTACIÓN DE PRUEBA.** En inglés test station. Punto de conexión de cables que se emplea para mediciones. Ver protección catódica.

**FATIGA.** Efecto de esfuerzos cíclicos sobre un material que puede llevar a la rotura del mismo.

**FATIGA, LÍMITE DE.** Nivel máximo de tensiones cíclicas que puede soportar una película o un metal sin sufrir rotura.

**FONDO.** Primera mano o capa de un sistema de pintura, que se aplica directamente sobre la superficie a recubrir. También llamado imprimación. En inglés primer.

**FONDO ANTICORROSIVO.** Primera mano o capa de un sistema de pintura que posee propiedades inhibidoras de la corrosión debido al agregado de pigmentos especiales como el minio (óxido de plomo).

**GALVANIZADO.** Revestimiento metálico a base de una delgada capa de cinc que se aplica sobre los aceros al carbono. Puede ser galvanizado normal o por inmersión en caliente según el procedimiento de aplicación.

**GRANALLADO.** Grit blasting en inglés, método de preparación de superficies metálicas; se realiza mediante un chorro de granalla (generalmente de acero), que choca

con la superficie limpiándola de suciedad y óxido, creando una rugosidad que facilita el agarre del fondo.

**IMPRIMACIÓN.** También se llama imprimación al producto líquido que se aplica sobre una superficie metálica para permitir la adhesión de una película, ya sea de polietileno, polipropileno o caucho. Se emplea tanto para revestimientos en forma de película continua como para cintas.

**INTERFERENCIA.** Efecto indeseable por el cual una corriente parásita que vaga por el medio (suelo o agua) penetra en una estructura y en el punto de salida, ocasionando daños localizados por electrólisis. Las fuentes más comunes de este tipo de problemas son los sistemas de protección catódica cercanos, aterramientos de subestaciones y corrientes inducidas por líneas de alta tensión cercanas. Ver corriente de fuga.

**JUNTA AISLADORA MONOLÍTICA.** Dispositivo que permite aislar eléctricamente dos tramos de tubería. A diferencia de las empacaduras aislantes viene ensamblada de fábrica y se instala soldándola como un tramo adicional de tubería.

**NACE.** National Association of Corrosion Engineers. Asociación nacional de ingenieros en corrosión. Organismo norteamericano vinculado a la corrosión y su prevención.

**NTD** (Non Destructive Testing) . Conjunto de técnicas utilizadas para inspeccionar equipos y materiales, entre las cuales se incluyen las tintas penetrantes, las partículas magnéticas, el ultrasonido, las corrientes de Eddy, la radiografía, la gamma grafía y la termografía.

**OHM.** Unidad de medida de resistencia eléctrica.

**PASIVIDAD.** Formación de una capa de óxido sobre la superficie de un metal o aleación que la protege de un ataque posterior. Ejemplos: el aluminio se pasiva por formación de una capa de trióxido de aluminio, los aceros inoxidable por una capa de óxido de cromo.

**PASIVO.** Metal que se ha cubierto de una capa de óxido protectora que evita los ataques posteriores. Opuesto a activo. Ver pasividad.

**PERFIL DE ANCLAJE.** Nivel de rugosidad que queda en una superficie metálica como consecuencia de su preparación con chorro de abrasivos o por tratamiento químico.

**pH. (potencial hidrógeno).** Es una medida del nivel de acidez o alcalinidad de un medio. Se expresa en una escala de 0 a 14 siendo de 0 a 7 el rango ácido y de 8 a 14 el rango alcalino. Se define como el potencial negativo de la concentración de iones hidrógeno.

**PICADURA.** En inglés pitting, corrosión localizada en forma de ataques profundos que abarcan áreas pequeñas.

**PILA GALVÁNICA.** Diferencia de voltaje producido por el contacto entre dos metales o aleaciones diferentes.

**PINTURA.** Producto líquido compuesto por un vehículo que es capaz de formar una película, un solvente apropiado para dicho vehículo que se emplea para facilitar la aplicación y pigmentos que le dan color y algunas propiedades específicas.

**POLARIZACIÓN.** Cambio de voltaje de una estructura desde el potencial natural hasta el potencial de protección. Ver protección catódica.

**POLÍMERO.** Sustancia orgánica compleja constituida por unidades funcionales denominadas monómeras, combinadas entre sí. La unión de los monómeros se acelera mediante un catalizador o activador. Ejemplo: epóxicas.

**POLIURETANOS.** Pinturas de dos componentes utilizadas para la protección de estructuras expuestas a la atmósfera. Se caracterizan por mantener un alto brillo y color. Son de alto costo.

**POTENCIAL.** Medición del voltaje de una estructura con respecto a un electrodo de referencia. También se mide el potencial de los ánodos de sacrificio como control de calidad. Ver protección catódica.

**POTENCIAL A CIRCUITO ABIERTO.** Voltaje medido con los rectificadores apagados. Este es el verdadero valor de potencial de una estructura porque no incluye el error por caída IR y por ello es el que debe utilizarse para determinar si está o no protegida. En inglés OFF potencial.

**POTENCIAL NATURAL.** Voltaje de una estructura enterrada o sumergida sin protección catódica.

**RELLENO.** (En inglés backfill). Material que se coloca alrededor de un ánodo para aumentar la vida útil del mismo y mejorar el drenaje de corriente.

**RESISTIVIDAD.** (resistencia eléctrica específica.) Es la resistencia eléctrica de un volumen determinado de electrolito, sea suelo, agua o medio químico. Se emplea para determinar el nivel de corrosividad del medio. En suelos se mide generalmente con el Método de Werner o de las cuatro varillas.

**SANDBLASTING.** (Chorro de arena). Palabra inglesa que designa un método de preparación de superficies para ser pintadas. Se basa en producir un impacto de partículas de arena sobre la superficie, que elimina la suciedad y el óxido y crean una rugosidad o patrón de anclaje que permite la adherencia mecánica del fondo. La arena a utilizar debe tener características especiales en cuanto a tamaño, composición, dureza, uniformidad, etc. No debe contener cloruros ni sulfatos.

**SERIE DE POTENCIALES NORMALES.** También conocida como Serie de Potenciales de Oxidación. Clasificación de los metales según su potencial de electrodo normal (solución 1N de sus iones a 25 °C y presión atmosférica).

**SERIE DE POTENCIALES GALVÁNICOS.** Clasificación de metales y aleaciones según su potencial en agua de mar.

**VOLTIO.** Unidad de medida de voltaje eléctrico o diferencia de potencial. Puede ser CD corriente directa o CA corriente alterna.