

# PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCION CATODICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE PETROLEO, UTILIZANDO ANODOS DE ZINC

**LUIS ORLANDO AGUIRRE R.**

Ingeniero metalúrgico M.Sc

Profesor Titular UIS

Centro de Investigaciones en Corrosión UIS

## RESUMEN

El presente trabajo elabora un diseño de protección catódica con ánodos de sacrificio, utilizando técnicas de computación.

El programa (PROCAT) involucra los siguientes aspectos: Escoge el tipo de ánodo, calcula el peso de material anódico, calcula el número de ánodos, el tiempo de protección y el costo del diseño.

El diseño se verifica con datos de un sistema en funcionamiento instalado en el distrito de producción de Ecopetrol "El Centro", datos que fueron tomados bajo la coordinación del grupo de corrosión de ese distrito.

## ASPECTOS TEORICOS

### CARACTERISTICAS DE LOS ANODOS DE SACRIFICIO

**Composición del material.** Aunque el zinc es lo suficientemente electronegativo para actuar como ánodo de sacrificio y proteger el acero en numerosas situaciones, la composición y distribución de los elementos aleantes constituyentes son vitales en el rendimiento del ánodo (6).

**Metal primario.** En razón de reunir mejores especificaciones por ánodo, se debe usar como punto de partida para la fabricación de éstos, metal de alto grado de pureza.

Un análisis químico típico o común del metal primario usado para fabricar ánodos de sacrificio de zinc es el siguiente (6).

ELEMENTO	%
Zn	99,99
Mg	-
Al	-
Cd	0,003 máx
Cu	0,001 máx
Ie	0,002 máx
Mn	-
Ni	-
Pb	0,003 máx
Si	-
Sn	0,001 máx

Anodos de zinc. La aleación es la composición química dada por la especificación militar de los EEUU 18001-H (6)

Cu	0,005 máx
Al	0,1 - 0,5
Si	0,125 máx
Pb	0,006 máx
Cd	0,025 - 0,01
Hg	-

Zu	Remanente
Eficiencia	95%
Potencial	-1.05 v (Ag/AgCl)
Capacidad (Amp. h/Kg)	780

Método de manufactura. La mayoría de los ánodos son colados por gravedad, algunos ánodos son hechos por colada continua, semicontinua y extrusión.

Formas y dimensiones de los ánodos. La forma y dimensiones de los ánodos de sacrificio ejercen influencia importante sobre el factor de eficiencia de la protección. Mientras mayor sea el área superficial de los ánodos mayor será su salida de corriente, pero simultáneamente aumenta la velocidad de destrucción de los ánodos (5).

#### EFFECTO DE LA SOLUCIÓN DEL ELECTROLITO EN EL RENDIMIENTO DEL ANODO

Las condiciones del electrólito que influye directamente en el rendimiento del ánodo son:

Composición química del electrólito. La importancia de la composición química del electrólito radica en que ella define el tipo y la cantidad de material anódico.

Temperatura del electrólito. El rendimiento del ánodo está directamente relacionado con la temperatura del electrólito. A menor temperatura mayor es la resistencia del electrólito y la salida de corriente del ánodo disminuye.

Rata de flujo del electrólito. El rendimiento de los ánodos está directamente relacionado con la rata de flujo del electrólito, puesto que la rata de flujo afecta la rata de corrosión de la estructura. En general a mayor rata de flujo, mayor es la densidad de corriente requerida para la protección de la estructura.

Oxigenación del electrólito. También el rendimiento de los ánodos está directamente relacionado con la oxigenación del electrólito. A mayor aireación del electrólito, mayor es la disponibilidad de oxígeno en el cátodo, lo cual despolariza la estructura y aumenta entonces la densidad de corriente necesaria para la protección.

#### SALIDA DE CORRIENTE DEL ANODO

La corriente anódica es la corriente que puede emitir un ánodo a cierta diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo. La emisión de corriente está determinada por:

$$E_k - E_a = I \cdot R \quad (1)$$

Donde

- $E_k$  : Potencial catódico
- $E_a$  : Potencial anódico
- $I$  : La corriente anódica
- $R$  : Resistencia eléctrica del circuito

La resistencia se compone de los siguientes circuitos:

$$R = R_a + R_e + R_k + R_m \quad (2)$$

Donde,

- $R_a$  : Resistencia de paso ánodo/electrólito
- $R_e$  : Resistencia del electrólito
- $R_k$  : Resistencia de paso electro/cátodo
- $R_m$  : Resistencia de la parte metálica del circuito

La resistencia de paso ánodo/electrólito es la dominante y el valor Ra está determinado por la forma geométrica del ánodo y la resistencia eléctrica del electrolito (2).

NOTA: En los sucesivos la resistencia de ánodo/electrólito (Ra) se designará como resistencia (R) par efectos de cálculo, ya que las demás resistencias no influyen significativamente en el diseño de sistemas de protección catódica para estructuras que contienen o están rodeadas de agua de mar o salmuera.

Cálculo de la resistencia de los ánodos en aguas. El "Lloyds Register of Shipping", indica en su "Guidance notes on application of cathodic protection" las siguientes fórmulas para el cálculo de las resistencias de paso ánodo/agua de mar:

- Para ánodos largos (pequeño corte transversal en proporción al largo):

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln \frac{2L}{r} - 1 \right] \quad (3)$$

Donde,

- $\rho$  : Resistencia del electrolito, en ohm-cm
- L : Longitud del ánodo, cm
- r : Radio efectivo, cm
- R : Resistencia, ohm

El radio medio efectivo, r, es tomado como el radio después que el ánodo se ha consumido un 40%:

$$r = \left[ \frac{60\% \text{ del área transversal original}}{\pi} \right]^{1/2} \quad (4)$$

La ecuación (3) se aplica para calcular R cuando la relación L/r > 10.

- Para ánodos en forma de barra rectangular donde la relación L/r < 10, entonces la resistencia dada por la ecuación (3) puede ser simplificada.

$$R = \frac{1.5 \rho}{(\pi (L + 0.8B + 0.8H))}$$



Donde,

- R : Resistencia, en ohm
- B : Ancho del ánodo, en cm
- L : Longitud del ánodo, en cm
- p : Resistividad del electrolito, en ohm-cm

#### CAPACIDAD, EFICIENCIA Y CONSUMO DE LOS ANODOS

**Capacidad del ánodo.** La capacidad del ánodo es la corriente que puede ser producida por un determinado peso de material anódico, y es usualmente expresada en amperios hora por kilogramos de material del ánodo; la capacidad del ánodo en la práctica es menor normalmente que la capacidad teórica encontrada por la ley de Faraday (6).

**La eficiencia.** La eficiencia es la relación entre la capacidad que se ha medido y la capacidad teórica mayor posible, calculada según la ley de Faraday. La eficiencia se indica en un tanto por ciento (2).

**El consumo del ánodo.** El consumo del ánodo es el número de kilos que se consume para producir una corriente de 1 amperio en 1 año y se mide en kilogramos por año amperio (Kg/amp -año). como 1 año tiene 8760 horas, se encuentra que:

$$\text{consumo Kg/Amp-año} = \frac{8760 \text{ horas}}{\text{Capacidad [Amp-hora/Kg] año}} \quad (6)$$

#### VIDA MEDIA DE LOS ANODOS DE ZINC

El cálculo de la vida media de servicio de los ánodos de sacrificio, se basa en los amperios-hora/kg (teórico material anódico, en la eficiencia de corriente y en el factor de utilización de ánodo (4).

Para los ánodo de zinc se utiliza la siguiente fórmula.

$$t = (0,0424) \text{ WEU} / I \quad (7)$$

Donde,

- t : Vida media del ánodo, en años
- W : Peso del material anódico, en Kg

- E : Eficiencia de corriente, 90 -95%  
I : Corriente anódica, en amperios  
U : Factor de utilización, 85%

#### LOCALIZACION DE LOS ANODOS RESPECTO A LA ESTRUCTURA

Hay más arte que ciencia en la distribución de los ánodos de sacrificio, unos con respecto a los otros para proteger la estructura. La manera más simple, es usar una forma geométrica estándar en la estructura (6).

#### PARAMETROS DE DISEÑO Y CALCULOS DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CATODICA CON ANODOS DE SACRIFICIO (6)

Parámetros de diseño. Antes de un diseño de protección catódica de sacrificio, la siguiente información deberá estar disponible:

- Información del área de trabajo a ser protegida.
- El tipo de revestimiento, si tiene o cual será usado.
- La longitud o frecuencia de tiempo en que el área de trabajo va a estar en contacto con el electrólito.
- La densidad de corriente o cantidad total de la misma que está usada para proteger la estructura.
- La resistividad del electrólito debe ser determinada.
- La vida requerida para el sistema de protección catódica.

Cálculos. Selección del tamaño y peso de material anódico. Para esta selección se tiene la siguiente información en la Tabla 1.

TABLA 1. Información de los ánodos BERA de zinc (2)

Peso ánodo (kg)	Longitud (L) cm	Altura (H) cm	Ancho (B) cm	Radio efec (r) cm	Relación L/r
10,5	38,0	6,0	7,0	2,622	10
14,0	122,0	4,0	4,0	1,748	10
22,5	123,5	5,0	5,0	2,185	10
30,0	84,0	6,0	8,5	2,980	10
30,5	123,5	5,85	5,85	2,557	10
70,0	168,0	7,6	8,5	3,299	10
0,2	10,0	1,5	3,5	0,846	10
0,5	10,0	2,3	4,6	1,421	10
1,0	22,0	2,55	7,5	1,545	10
3,5	22,0	2,9	10,0	2,353	10
5,5	22,0	2,9	12,0	2,578	10
6,0	22,0	2,9	16,0	2,683	10
10,0	30,0	4,0	15,0	3,385	10
10,2	35,0	3,2	15,0	3,028	10
15,5	64,0	4,0	12,0	3,028	10
16,0	62,5	4,0	12,0	3,028	10
17,0	62,5	4,0	12,0	3,028	10
24,0	64,0	3,0	22,0	3,550	10
40,0	104,0	3,0	22,0	3,550	10

Cálculo de la resistencia (R) del ánodo en el electrólito. Con la información de las dimensiones del ánodo dada por la Tabla 1, se procede a determinar el radio efectivo (r) del ánodo. Este radio efectivo está dado por la ecuación (4).

Determinando el radio efectivo, se procede a establecer la relación L/r, donde (L) es la longitud del ánodo.

Si  $L/r > 10$  La resistencia, R, viene dada por la ecuación (3).

Si  $L/r < 10$  La resistencia, R, viene dada por la ecuación (5)

- Cálculo de la salida de corriente del ánodo. El cálculo de la salida de corriente viene dado por la ecuación (1).

- Cálculo del número mínimo de ánodos por tanque. El número mínimo de ánodos por tanque se estima de la siguiente forma:

$$\text{Mínimo número de ánodos} = \frac{\text{Corriente de protección (amp)}}{\text{Salida de corriente del ánodo (amp)}} \quad (8)$$

- Cálculo de la vida media de los ánodos de zinc. Para los ánodos de zinc se utiliza la ecuación (7) para hallar la vida media.

- Cálculo del peso total de material anódico. Si se desea un tiempo de protección diferente al hallado para el de vida media se precede a calcular el peso de material con la fórmula:

$$\text{Peso de material anódico} = \frac{t \cdot I}{Cr \cdot E \cdot U} \quad (9)$$

Donde,

- t : Tiempo deseado de protección, en años
- I : corriente total de protección, en Amperios
- Cr : Capacidad real 0,0088, (Amp-años)/Kg
- E : Eficiencia 95%
- U : Factor de utilización 85%

## METODOLOGIA

La investigación se llevó a cabo en las siguientes etapas:

### INVESTIGACION BIBLIOGRAFICA

Se estudiaron en esta etapa los principios generales de la protección catódica con ánodos de sacrificio; el efecto de diferentes aspectos que inciden sobre el rendimiento del ánodo y a la vez que los tópicos concernientes al diseño de sistemas de protección catódica.

### ELABORACION DEL PROGRAMA DE COMPUTADOR Y TOMA DE DATOS

Comienza esta etapas con la elaboración del algoritmo y su implementación en lenguaje BASIC.



La parte de toma de datos para la verificación del diseño es llevada a cabo en el distrito de producción de ECOPETROL "El Centro" bajo la coordinación de ese distrito.

#### ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

Los datos obtenidos en las pruebas de campo son procesados por el programa de computador, el cual presenta resultados de corriente emitida por el ánodo, diseños que cumplen los requerimientos de corriente (contiene peso, número mínimo, tiempo de vida y costo del diseño de ánodos) y diseños que cumplen los requerimientos de tiempo (contienen peso, número mínimo y costo de diseño de ánodos).

Los resultados obtenidos son verificados y ratificados por el jefe de la unidad de corrosión de ECOPETROL, "El Centro". En la época de realización del mismo.

#### PRUEBAS DE CAMPO Y RESULTADOS

##### DESCRIPCION GENERAL DE LAS EXPERIENCIAS, EQUIPOS UTILIZADOS Y MATERIALES

Medición de la resistividad del electrólito. La resistividad es una medida de la resistencia del electrólito al flujo de corriente eléctrica y se utiliza para calcular la salida de corriente del ánodo, localizar áreas sujetas a corrosión, etc. Un método utilizado para determinar la resistividad del electrólito es el de los cuatro pines o "Método Winner" presentado en 1915 por el doctor Frank Wenner al National Bureau Standard de los EEUU (1). Desde 1981 hay disponible en el mercado un nuevo equipo para medir la resistividad de los electrólitos. Aunque llamado medidor de cuatro pines, es también excelente para medir ensayos de resistividad de agua en una caja de suelo (3).

El equipo utilizado par medir la resistividad del electrólito; fué el siguiente:

- Nilsson modelo 400-4
- Caja de suelo

Medición del potencial estructura-electrólito. La medición del potencial estructura-electrólito es una medida

del potencial eléctrico (voltaje) entre la estructura y el electrolito que le rodea. Las lecturas del potencial estructura-electrolito, se realizaron utilizando el siguiente equipo:

- Un voltímetro de alta resistencia (por lo menos de 5000 ohm/v).
- Un electrodo de referencia de Ag/AgCl
- Cable conector

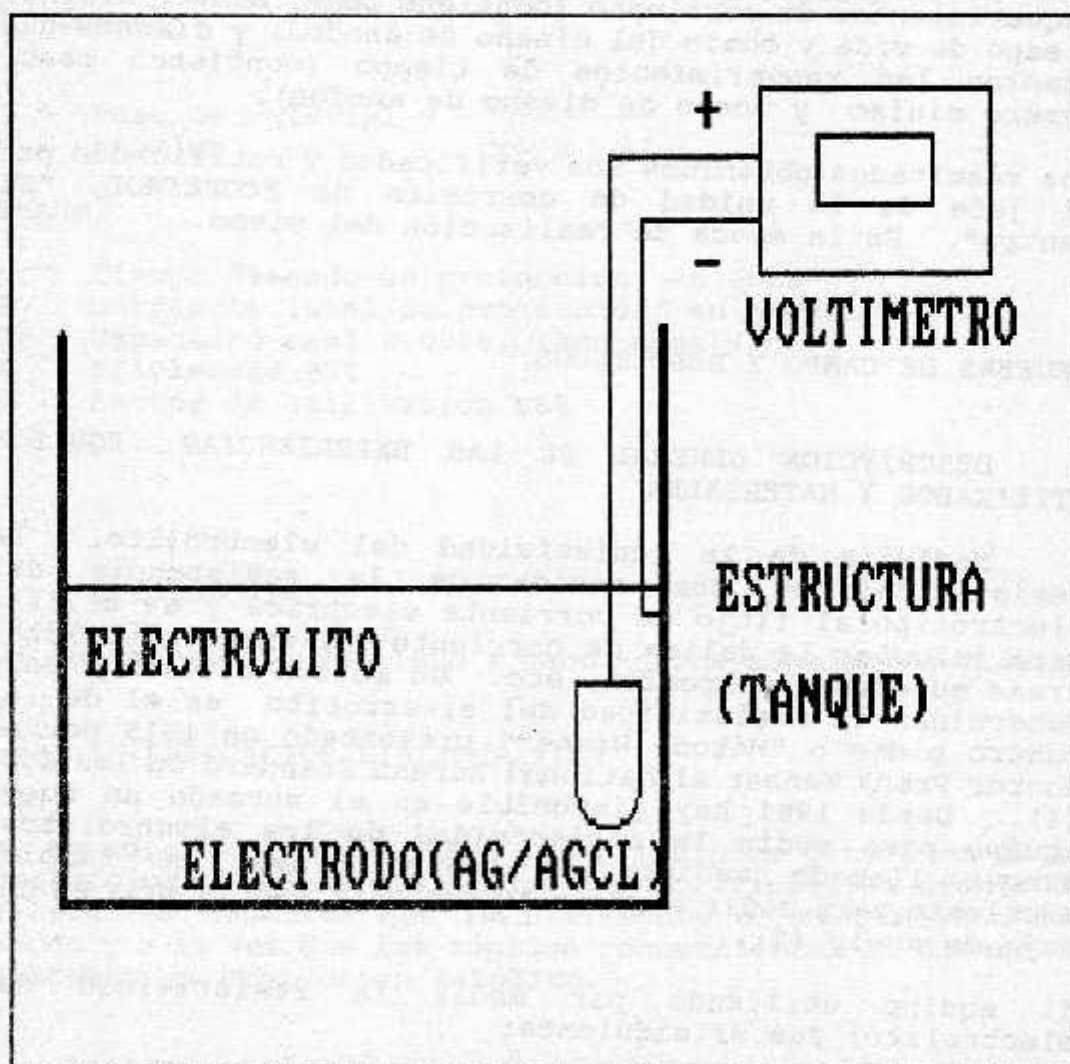


Figura 1. Medición del potencial estructura electrolito

La Figura 1 muestra la forma como se mide el potencial estructura-electrolito.

Medición de la corriente necesaria para la protección de la estructura. Esta medición permite calcular la cantidad de corriente necesaria para conectar la corrosión de un estructura y calcular el número de ánodos requeridos.

El equipo utilizado para la prueba fué el siguiente:

- Una fuente de corriente continua
- Un voltímetro de alta resistencia
- Un amperímetro
- Una caja de resistencia
- Un electrodo de referencia de Ag/AgCl
- Un ánodo inerte de granito
- Cables conectores

En la Figura 2., muestra la forma como se realiza la prueba.

Medición de la acidez del electrólito. La actividad corrosiva de un electrólito depende del tipo y número de sustancias solubles en agua, la parte de un electrólito no soluble en el agua, no influye directamente en el proceso de corrosión (5).

Para realizar las mediciones del pH o acidez de un electrólito se toman muestras y con la utilización de un pHmetro se mide el grado de acidez de la muestra.

#### APLICACIONES DE DISEÑO DE PROTECCION CATODICA A TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO EN ECOPETROL "EL CENTRO"

A continuación se presenta el diagrama de secciones del programa PROCAT, Figura 3, (protección catódica) y los resultados obtenidos al aplicarse a las estaciones de recibo de crudo en el distrito de producción de ECOPETROL "El Centro".

ESTACION 137

#### DISEÑO DE PROTECCION CATODICA PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO CON ANODOS DE ZINC

Corriente total de protección (amp) = 0,631  
Area a proteger (pies<sup>2</sup>) = 886,68  
Resistividad del electrólito (Ohm.cm) = 50,6

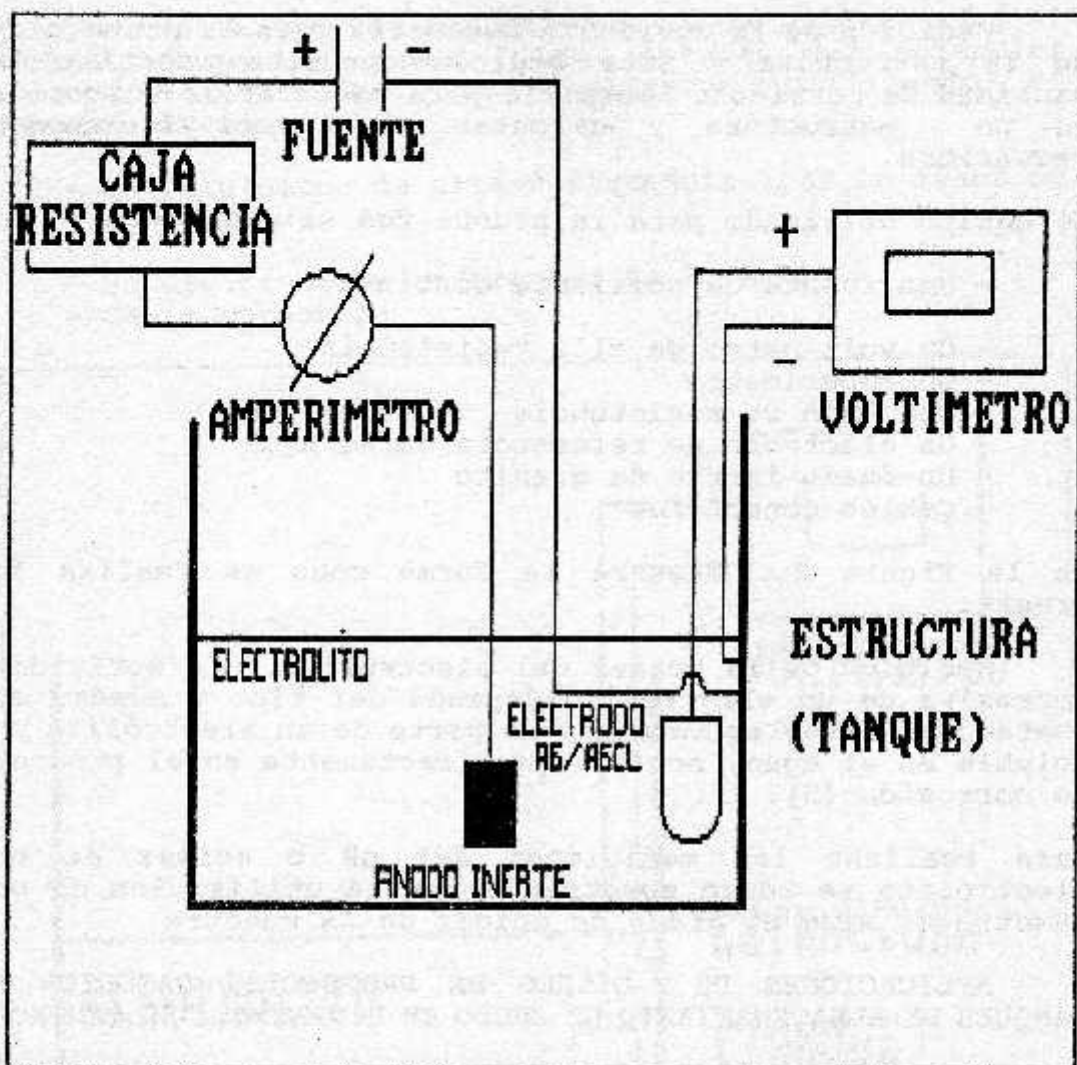


Figura 2. Medición de la corriente de protección.

OPRIMA CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR



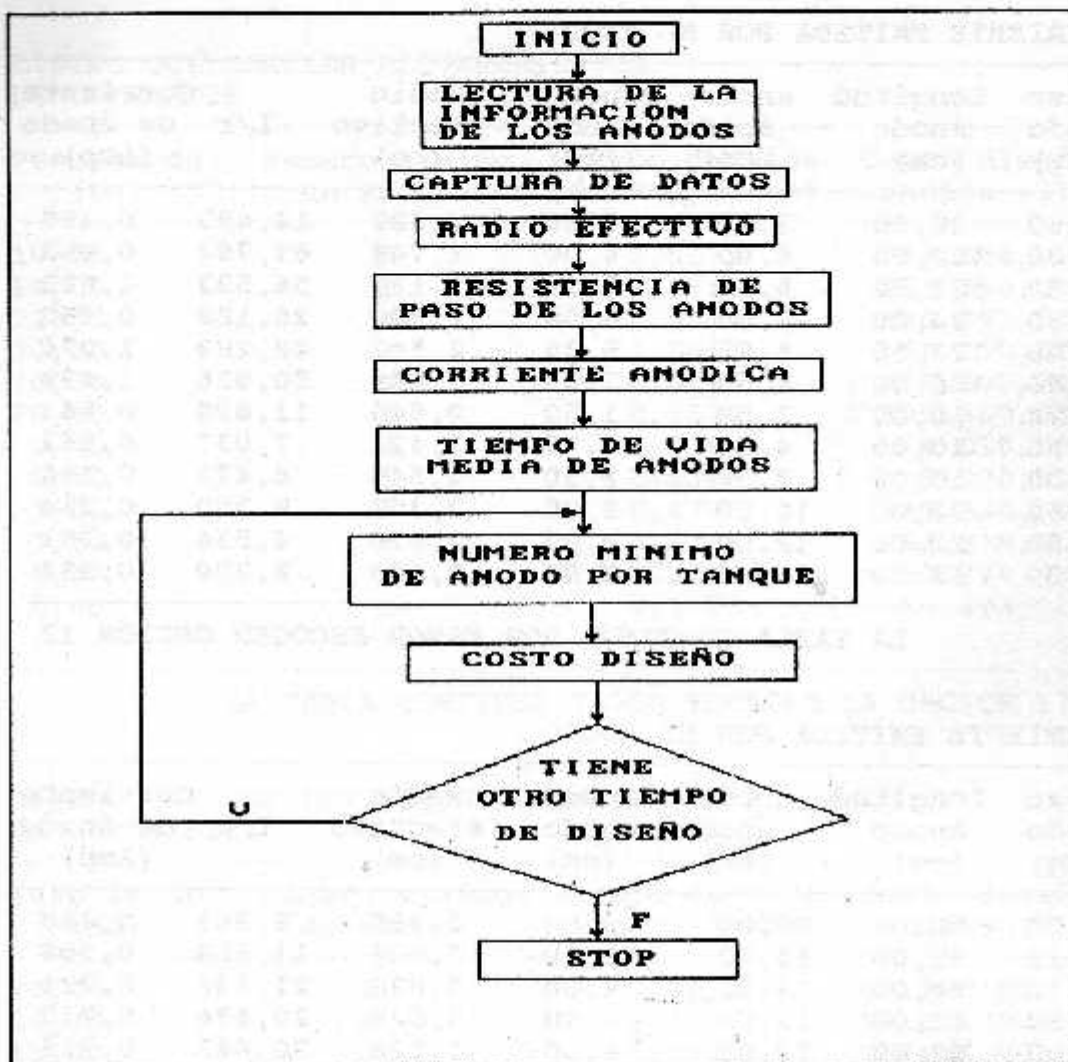


Figura 3. Diagrama de secciones de programa PROCAT.

**CORRIENTE EMITIDA POR EL ANODO**

Peso ánodo (Kg)	Longitud ánodo (cm)	ancho ánodo (cm)	Espesor ánodo (cm)	Radio efectivo (cm)	L/r	Corriente de ánodo (Amp)
10,50	38,00	7,00	6,00	2,622	14,493	0,498
14,00	122,00	4,00	4,00	1,748	69,794	0,962
22,50	123,50	5,00	5,00	2,185	56,522	1,028
30,00	84,00	8,50	6,00	2,980	28,188	0,860
30,50	123,50	5,85	5,85	2,557	48,299	1,074
70,00	168,00	8,50	7,60	3,299	50,925	1,439
0,20	10,00	3,50	1,50	0,846	11,820	0,144
0,50	10,00	4,60	2,30	1,421	7,037	0,161
1,00	10,00	7,50	2,50	1,545	6,472	0,186
3,50	22,00	10,00	2,90	2,353	9,350	0,334
5,50	22,00	12,00	2,90	2,578	8,534	0,351
6,00	22,00	16,00	2,90	2,683	8,200	0,384

LA TABLA CONTINUA POR FAVOR ESCOGER OPCION 1?

**CORRIENTE EMITIDA POR EL ANODO**

Peso ánodo (Kg)	Longitud ánodo (cm)	ancho ánodo (cm)	Espesor ánodo (cm)	Radio efectivo (cm)	L/r	Corriente de ánodo (Amp)
10,00	30,00	15,00	4,00	3,385	8,863	0,468
10,20	35,00	15,00	3,20	3,028	11,559	0,508
15,50	64,00	12,00	4,00	3,028	21,136	0,724
16,00	62,00	12,50	4,00	3,028	20,476	0,710
17,00	62,50	12,85	4,00	3,028	20,641	0,713
24,00	64,00	22,50	3,00	3,550	18,028	0,769
40,00	104,00	22,50	3,00	3,550	29,296	1,051

TABLA 1

1. CONTINUAR    2. RETROCESO    3. TERMINAR

DISEÑO QUE CUMPLEN REQUERIMIENTOS  
DE CORRIENTE

Peso Anodo (Kg)	Número mínimo de ánodos	Tiempo de vida ánodos (años)	Costo diseño ánodos (\$)
10,50	2	2,5073	392.805,00
14,00	1	1,6716	261.850,00
22,50	1	1,6716	420.852,50
30,00	1	2,6864	561.150,50
30,50	1	3,5819	570.502,50
70,00	1	8,3578	1'309.350,00
0,20	5	0,1194	4.610,00
0,50	4	0,2388	9.220,00
1,00	4	0,4776	18.440,00
3,50	2	0,8358	32.270,00
5,50	2	1,3134	50.710,00
6,00	2	1,4388	55.320,00

LA TABLA CONTINUA FAVOR TECLEAR LA OPCION 1?

DISEÑO QUE CUMPLEN REQUERIMIENTOS  
DE CORRIENTE

Peso Anodo (Kg)	Número mínimo de ánodos	Tiempo de vida ánodos (años)	Costo diseño ánodos (\$)
10,00	2	2,3879	92.200,00
10,20	2	2,4357	94.044,00
15,50	1	1,5807	71.455,00
16,00	1	1,9104	73.769,00
17,00	1	2,0298	78.370,00
24,00	1	2,8655	110.640,00
40,00	1	4,7759	184.400,00

TABLA 2

SI DESEA UN TIEMPO DE PROTECCION PARA ALGUNOS ANODOS  
ESCOGER OPCION CONTINUAR

1. CONTINUAR    2. RETROCESO    3. TERMINAR

DISEÑO QUE CUMPLE REQUERIMIENTOS  
DE TIEMPO

FAVOR TECLEE EL PESO Y EL TIEMPO DE PROTECCION DEL ANODO  
PESO (Kg) : 22.5,5.5

TIEMPO (Años) :? 5

DISEÑO QUE CUMPLEN REQUERIMIENTOS  
DE TIEMPO

Peso Anodo (Kg)	Peso total ánodos (Kg)	Número de ánodos	Costo diseño ánodos (\$)
22,50	41,75	1,86	780.973,60
5,50	41,75	7,59	192.477,30

TABLA 3

1. RETROCEDER      2. TERMINAR

ESTACION 154

DISEÑO DE PROTECCION CATODICA  
PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO  
CON ANODOS DE ZINC

Corriente total de protección (amp) = 0,73  
Area a proteger (pies<sup>2</sup>) = 886,68  
Resistividad del electrólito (Ohm.cm) = 51,6

OPRIMA CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR



CORRIENTE EMITIDA POR EL ANODO

Peso ánodo (Kg)	Longitud ánodo (cm)	ancho ánodo (cm)	Espesor ánodo (cm)	Radio efectivo (cm)	L/r	Corriente de ánodo (Amp)
10,50	38,00	7,00	6,00	2,622	14,493	0,489
14,00	122,00	4,00	4,00	1,748	69,794	0,943
22,50	123,50	5,00	5,00	2,185	56,522	1,009
30,00	84,00	8,50	6,00	2,980	28,188	0,843
30,50	123,50	5,85	5,85	2,557	48,299	1,053
70,00	168,00	8,50	7,60	3,299	50,925	1,411
0,20	10,00	3,50	1,50	0,846	11,820	0,141
0,50	10,00	4,60	2,30	1,421	7,037	0,157
1,00	10,00	7,50	2,50	1,545	6,472	0,183
3,50	22,00	10,00	2,90	2,353	9,350	0,328
5,50	22,00	12,00	2,90	2,578	8,534	0,344
6,00	22,00	16,00	2,90	2,683	8,200	0,377

LA TABLA CONTINUA POR FAVOR ESCOGER OPCION 1?

CORRIENTE EMITIDA POR EL ANODO

Peso ánodo (Kg)	Longitud ánodo (cm)	ancho ánodo (cm)	Espesor ánodo (cm)	Radio efectivo (cm)	L/r	Corriente de ánodo (Amp)
10,00	30,00	15,00	4,00	3,385	8,863	0,459
10,20	35,00	15,00	3,20	3,028	11,559	0,498
15,50	64,00	12,00	4,00	3,028	21,136	0,710
16,00	62,00	12,00	4,00	3,028	20,476	0,696
17,00	62,50	12,00	4,00	3,028	20,641	0,966
24,00	64,00	22,00	3,00	3,550	18,028	0,754
40,00	104,00	22,00	3,00	3,550	29,296	1,031

TABLA 1

1. CONTINUAR    2. RETROCESO    3. TERMINAR

**DISEÑO QUE CUMPLEN REQUERIMIENTOS DE CORRIENTE**

Peso Anodo (Kg)	Número mínimo de ánodos	Tiempo de vida ánodos (años)	Costo diseño ánodos (\$)
10,50	2	2,1673	392.805,00
14,00	1	1,4449	261.850,00
22,50	1	2,3221	420.852,50
30,00	1	3,0962	561.150,50
30,50	1	3,1478	570.502,50
70,00	1	7,2244	1'309.350,00
0,20	6	0,1238	5.532,00
0,50	5	0,2580	11.525,00
1,00	4	0,4128	18.440,00
3,50	3	1,0837	48.405,00
5,50	3	1,7029	76.065,00
6,00	2	1,2385	55.320,00

LA TABLA CONTINUA FAVOR TECLEAR LA OPCION 1?

**DISEÑO QUE CUMPLEN REQUERIMIENTOS DE CORRIENTE**

Peso Anodo (Kg)	Número mínimo de ánodos	Tiempo de vida ánodos (años)	Costo diseño ánodos (\$)
10,00	2	2,0641	92.200,00
10,20	2	2,1054	94.044,00
15,50	2	3,1994	142.910,00
16,00	2	3,3026	147.520,00
17,00	2	3,5090	156.740,00
24,00	1	2,4769	110.640,00
40,00	1	4,1282	184.400,00

TABLA 2

1. CONTINUAR    2. RETROCESO    3. TERMINAR

**DISEÑO QUE CUMPLE REQUERIMIENTOS DE TIEMPO**

FAVOR TECLEE EL PESO Y EL TIEMPO DE PROTECCION DEL ANODO

PESO (Kg) : 22.5,5.5

TIEMPO (Años) :? 5

DISEÑO QUE CUMPLEN REQUERIMIENTOS  
DE TIEMPO

Peso Anodo (Kg)	Peso total ánodos (Kg)	Número de ánodos	Costo diseño ánodos (\$)
22,50	48,30	2,15	903.503,60
5,50	48,30	8,78	222.675,90

TABLA 3

1. RETROCEDER    2. TERMINAR

ESTACION 100

DISEÑO DE PROTECCION CATODICA  
PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO  
CON ANODOS DE ZINC

Corriente total de protección (amp) = 0,22  
Area a proteger (pies<sup>2</sup>) = 298,883  
Resistividad del electrólito (Ohm.cm) = 133,4

OPRIMA CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

CORRIENTE EMITIDA POR EL ANODO

Peso ánodo (Kg)	Longitud ánodo (cm)	ancho ánodo (cm)	Espesor ánodo (cm)	Radio efectivo (cm)	L/r	Corriente de ánodo (Amp)
10,50	38,00	7,00	6,00	2,622	14,493	0,189
14,00	122,00	4,00	4,00	1,748	69,794	0,365
22,50	123,50	5,00	5,00	2,185	56,522	0,390
30,00	84,00	8,50	6,00	2,980	28,188	0,326
30,50	123,50	5,85	5,85	2,557	48,299	0,407
70,00	168,00	8,50	7,60	3,299	50,925	0,546
0,20	10,00	3,50	1,50	0,846	11,820	0,054
0,50	10,00	4,60	2,30	1,421	7,037	0,061
1,00	10,00	7,50	2,50	1,545	6,472	0,071
3,50	22,00	10,00	2,90	2,353	9,350	0,127
5,50	22,00	12,00	2,90	2,578	8,534	0,133
6,00	22,00	16,00	2,90	2,683	8,200	0,146

LA TABLA CONTINUA POR FAVOR ESCOGER OPCION 1?

CORRIENTE EMITIDA POR EL ANODO

Peso ánodo (Kg)	Longitud ánodo (cm)	ancho ánodo (cm)	Espesor ánodo (cm)	Radio efectivo (cm)	L/r	Corriente de ánodo (Amp)
10,00	30,00	15,00	4,00	3,385	8,863	0,177
10,20	35,00	15,00	3,20	3,028	11,559	0,193
15,50	64,00	12,00	4,00	3,028	21,136	0,275
16,00	62,00	12,00	4,00	3,028	20,476	0,269
17,00	62,50	12,00	4,00	3,028	20,641	0,271
24,00	64,00	22,00	3,00	3,550	18,028	0,292
40,00	104,00	22,00	3,00	3,550	29,296	0,399

TABLA 1

1. CONTINUAR    2. RETROCESO    3. TERMINAR



DISEÑO QUE CUMPLEN REQUERIMIENTOS  
DE CORRIENTE

Peso Anodo (Kg)	Número mínimo de ánodos	Tiempo de vida ánodos (años)	Costo diseño ánodos (\$)
10,50	2	7,1915	392.805,00
14,00	1	4,7943	261.850,00
22,50	1	7,7052	420.852,50
30,00	1	10,2736	561.150,50
30,50	1	10,4448	570.502,50
70,00	1	23,9717	1'309.350,00
0,20	5	0,3425	4.610,00
0,50	4	0,6849	9.220,00
1,00	4	1,3698	18.440,00
3,50	2	2,3972	32.270,00
5,50	2	3,7670	50.710,00
6,00	2	4,1094	55.320,00

LA TABLA CONTINUA FAVOR TECLEAR LA OPCION 1?

DISEÑO QUE CUMPLEN REQUERIMIENTOS  
DE CORRIENTE

Peso Anodo (Kg)	Número mínimo de ánodos	Tiempo de vida ánodos (años)	Costo diseño ánodos (\$)
10,00	2	6,8491	92.200,00
10,20	2	6,9860	94.044,00
15,50	1	5,3080	71.455,00
16,00	1	5,4793	73.760,00
17,00	1	5,8217	78.370,00
24,00	1	8,2189	110.640,00
40,00	1	13,6981	184.400,00

TABLA 2

SI DESEA UN TIEMPO DE PROTECCION PARA ALGUNOS ANODOS  
ESCOGER OPCION CONTINUAR

1. CONTINUAR    2. RETROCESO    3. TERMINAR

**DISEÑO QUE CUMPLE REQUERIMIENTOS  
DE TIEMPO**

**FAVOR TECLEE EL PESO Y EL TIEMPO DE PROTECCION DEL ANODO**

**PESO (Kg) : 22.5,5.5**

**TIEMPO (Años) :? 5**

**DISEÑO QUE CUMPLEN REQUERIMIENTOS  
DE TIEMPO**

<b>Peso Anodo (Kg)</b>	<b>Peso total ánodos (Kg)</b>	<b>Número de ánodos</b>	<b>Costo diseño ánodos (\$)</b>
22,50	14,56	0,65	272.288,80
5,50	14,56	2,65	67.107,79

**TABLA 3**

**1. RETROCEDER    2. TERMINAR**

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- La realización del diseño de sistemas de protección catódica mediante la aplicación de la informática, permite desarrollar una metodología bastante operativa y de fácil comprensión.
- Mediante el programa de computadores diseñado, se puede observar en pantalla, para todos los ánodos de zinc, el número de ánodos, el tiempo de vida y el costo involucrado en el diseño. De esta forma se permite al ingeniero de corrosión evaluar el diseño que más se ajuste a las condiciones de trabajo en forma rápida u eficaz.
- La inspección visual de la estructura, la recopilación de la mayoría de datos sobre ella, a planeación de las pruebas de campo con el uso del equipo adecuado, permite una disminución considerable del tiempo y los costos del diseño del sistema de protección catódica.

- De recomienda ampliar este estudio al diseño de sistemas de protección catódica con corriente impresa.
- SE sugiere continuar la investigación con diseño de protección catódica a estructuras tales como cascos de buques, interior de tanques o buques petroleros, estructuras offshore, puertos, estructuras enterradas, fábricas y en general, donde el presente trabajo tenga viabilidad de aplicación, teniendo en cuenta las condiciones de cada estructura.

#### BIBLIOGRAFIA

1. BARNES, H. E. Electrical survey detects underground rock. Rev Pipe line industry. april, 1959.
2. LISBERG, A. Anodos Galvanizados para protección de Buques. Lima, oct, 1967.
3. PARKER, M. E. and PEATTIE, E. G. Pipeline corrosion and cathodic protection. Gulf Publishing company, 1984
4. PEABODY, A. W. Control of pipeline corrosion. John Wiley & Sons, 1968.
5. SAFUILIN, A.; DE LA CAMPA, J. y SANCHEZ, C. C. Protección Catódica para estructuras metálicas utilizando ánodos de sacrificio. Rev. Tecnología, feb, 1984.
6. SHCEIR, L. L. Corrosión. 2 ed, vol 2 . Newnes-Butterworths, London, 1978.