

# **MEMORIA DE CÁLCULO DE PROTECCIÓN CATÓDICA**

**TK` s 02 Y 08**

## ÍNDICE

1.	OBJETIVO	3
2.	ALCANCE	3
3.	NORMAS DE REFERENCIA	3
3.1.	NORMAS PDVSA	3
3.2.	NORMAS NACIONALES	3
3.3.	NORMAS INTERNACIONALES	3
4.	CONDICIONES GENERALES DE DISEÑO	4
4.1.	ASPECTOS GENERALES	4
4.2.	CONDICIONES GENERALES DEL TERRENO	4
4.3.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE EQUIPOS Y/O MATERIALES	5
4.4.	PUESTA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	8
4.5.	MEMORIAS DE CÁLCULO	8
4.6.	LOCALIZACIÓN DE LA CAMA ANÓDICA Y RECTIFICADOR	16
5.	PUESTA EN OPERACIÓN DEL SISTEMA	16
6.	ANEXOS	16

## **1. OBJETIVO**

Basado en las características del terreno, diámetro, y altura de los tanques y posible estado del revestimiento en el fondo de los tanques, diseñar un sistema de protección catódica para el tanque No. 2 destinado al almacenamiento de agua y el tanque No. 8 destinado a almacenar productos recuperados y cuyas dimensiones respectivamente son 22.40m Ø por 11.7m de altura y 10,65m Ø por 9,70m de altura; ubicados en el área industrial de la planta de distribución de XXXX en Venezuela.

## **2. ALCANCE**

Esta especificación establece los requerimientos técnicos de diseño, una estimación económica aproximada en dólares de materiales y cantidades de obra sin tener en cuenta el recurso humano necesario para la construcción de un sistema de protección catódica por Corriente impresa para los tanques previstos en el objeto del presente documento.

## **3. NORMAS DE REFERENCIA**

### **3.1. NORMAS PDVSA**

#### Manual de Ingeniería de Diseño:

N-201 – Obras Eléctricas

N-242 – Instalaciones Eléctricas y Ensayos

HA-201 – Protección Catódica

Guía de Diseño 90618.1.072 - "Protección Catódica"

#### Manual de Especificaciones Técnicas de Materiales

PDVSA EM-28-07/04: Ánodos de Hierro-Silicio y Hierro-Silicio-Cromo para Protección Catódica por Corriente Impresa.

### **3.2. NORMAS NACIONALES**

Fondonorma 200, 2004: Código Eléctrico Nacional

### **3.3. NORMAS INTERNACIONALES**

- NACE RP – 0169-93: Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic piping Systems.
- NACE RP-02-86: The electrical Isolation of Cathodically Protected Structures".
- NACE RP – 0177.90: Mitigation of Alternating and Lighting effects on Metallic Structures and Corrosion Control Systems.
- NEMA-MR-20: Rectifiers Units for Cathodic Protection"

- ASME B31.8 – 89: Corrosion Control – Criteria for cathodic Protection.
- NEMA – MR 20: Rectifier Units for Cathodic Protection
- API 651: “Cathodic Protection of Aboveground Petroleum Storage Tanks
- NACE RP0193-93: Item No 21061E. “Protección catódica externa de fondos de tanques metálicos de almacenamiento superficiales”.

## 4. CONDICIONES GENERALES DE DISEÑO

### 4.1. ASPECTOS GENERALES

Aquí se indican los requerimientos generales para la instalación de los equipos y accesorios constitutivos del sistema de protección catódica por Corriente Impresa para el Tanque No. 2 destinado al almacenamiento de agua y para el Tanque No. 8 destinado a almacenar productos recuperados de la Planta xxxxxx .

Antes de iniciar cualquier trabajo de perforación, excavación, o de instalación de equipos y materiales, se deberán localizar todos los ductos y servicios existentes con el objeto de reubicarlos o adaptar los parámetros de diseño y construcción a los detalles de planta.

Debido a la ubicación física de los tanques en la planta (separación aproximada de 400 m), así como a las dificultades constructivas para implementar los sistemas de canalizaciones entre tanques, se aplicó el criterio de diseño de considerar sistema dedicado de un rectificador y grupo de ánodos para cada tanque.

### 4.2. CONDICIONES GENERALES DEL TERRENO

#### 4.2.1. Resistividad del Terreno.

En suelos como el de la Planta de XXXXX normalmente el perfil de resistividades es menor de 1000  $\Omega$ -cm. Esta consideración se hace apoyado por los altos valores freáticos que se aprecian en la planta en distintas épocas del año y la cercanía a la costa marina, lo cual de manera permanente determina medios conductivos, así como la presencia de salitre en el suelo y en las instalaciones. El valor de resistividad de 1000  $\Omega$ -cm define el suelo de la planta como de tipo corrosivo, (Ver Tabla 1 abajo - Referencia: NACE Corrosion Basics). En apreciación de los tanques existentes en la planta, se observa que existe defina protección catódica para esos reservorios.

Debido a las características del suelo, para la implantación de la protección catódica se debe tener en cuenta que el relleno utilizado debe cumplir con ciertas condiciones específicas, tales como arena limpia y con humedad 0%, contenido de cloruros menor de 100 ppm y un contenido de sulfatos por debajo de 200 ppm, además de garantizar que el PH sea > 6.5.

Para los efectos de este diseño se ha asumido una resistividad promedio de 1000  $\Omega$ -cm. a 1.5 mts de profundidad.

Resistividad del suelo (Ohm-cm)	Grado de Corrosividad
0 – 500	Muy Corrosivo
500 – 1.000	Corrosivo
1.000 – 2.000	Moderadamente Corrosivo
2.000 – 10.000	Medianamente Corrosivo
$\rho > 10.000$	Despreciable

*Referente: NACE Corrosion Basics<sup>1</sup>*

#### 4.2.2. Criterio de Protección

Se considerara que los tanques estarán protegidos catódicamente cuando:

- El valor de Potencial final  $E_f$  (circuito cerrado) es igual o mas electronegativo que - 850 mV medidos con referencia al electrodo de Cu-CuSO<sub>4</sub>.
- Exista una diferencia de potencial entre el valor natural del acero  $E_0$  (a circuito abierto) y el valor de potencial final  $E_f$  igual o superior a 300 mV, medidos con referencia al electrodo de Cu-CuSO<sub>4</sub>.

### 4.3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE EQUIPOS Y/O MATERIALES

#### 4.3.1. Rectificador a ser utilizado

Considerando el valor de la resistividad promedio supuesta y teniendo en cuenta que la protección catódica a suministrar será para dos tanques es predecible que la demanda de corriente sea alta; por lo tanto este diseño establece que el Sistema de Protección Catódica aplicable será del tipo de corriente impresa con ánodos de Hierro-Silicio, similares a DIPROCAVE, cuyas características de voltaje y corriente se encuentran en las memorias de cálculo del diseño respectivo. La consideración de uso de ánodos de hierro-silicio se fundamenta en lo establecido por PDVSA en su documento de Especificación de Ingeniería HA-201 “Protección Catódica” y en el documento de especificación técnica de materiales, PDVSA EM-28-07/04 “Ánodos de Hierro-Silicio y Hierro-Silicio-Cromo para Protección Catódica por Corriente Impresa”.

Entre otras razones para el uso de sistema de protección catódica (PC) por corriente impresa se tienen las siguientes:

- a) Los Sistemas de Protección - SPC por corriente impresa permiten satisfacer ampliamente la demanda de corriente.
- b) Permiten establecer mecanismos de control y ajustes al Sistema.

- c) Brinda mayor vida útil.
- d) Puede ser utilizado en suelos de resistividades altas.
- e) Se puede utilizar conjuntamente en futuros proyectos en la planta.

Como desventajas que tiene el sistema PC por Corriente impresa, se tienen:

- a) Presencia de interferencias por corrientes parasitas en estructuras ajenas al sistema.
- b) Posible pérdida de protección debido a caída de la fuente externa.
- c) Alta inversión inicial por el costo de equipos, materiales y especificaciones iniciales para bajos consumos de corriente.
- d) Requerimientos de monitoreo de las condiciones operacionales del rectificador con mayor frecuencia, que en los sistemas de tipo galvánico.
- e) Consideraciones de aspectos de seguridad debido a las conexiones del negativo a la estructura.

El Rectificador que se adquiriera comercialmente hablando, deberá cumplir con las especificaciones y características determinadas en la sección 4.5.6.3.

#### 4.3.2. Diseño de la Cama Anódica

La cama anódica estará conformada con ánodos de Hierro-Silicio, definidos según el documento PDVSA, Manual de Especificaciones Técnicas de Materiales EM-28-07/04 "Ánodos de Hierro-Silicio y Hierro-Silicio-Cromo para Protección Catódica por Corriente Impresa". En el Anexo 2 se describen requerimientos generales de este tipo de ánodo.

Se utilizarán en total 4 ánodos de este tipo para el tanque No. 2 y 1 ánodo para el tanque No. 8, con el fin de garantizar la vida del sistema a un periodo de 20 años.

La cama anódica se conformará con brizna de coque metalúrgico, especificado de acuerdo a lo establecido por PDVSA en el Manual de Especificaciones Técnicas de Materiales, documento EM-28-07/03 "Coque Metalúrgico para Uso en Lechos Ánodos para Sistemas de Protección Catódica con Corriente Impresa", el cual se utiliza como relleno. El Coque debe cumplir con las siguientes características químicas:

- Volátiles 0.1%
- Ceniza < 3.3%
- Silicio <1400 ppm
- Hierro <1000 ppm
- Azufre <3.0%
- Carbón > 90%

Las características eléctricas de este coque deben ser:

- Resistividad: sin compactar 25 Ohm-cm
- Compactado < 10 Ohm-cm
- Y sus características físicas deben cumplir con:
- Densidad volumétrica > 110 Kg./m<sup>3</sup>
- Porosidad específica < 45%
- Gravedad específica 2.0
- Tamaño de partícula 100% < 10 mm; 90 % > 0.5 mm

La profundidad de cada uno de los fosos será de 2.5 metros (instalación de ánodos verticales).

#### 4.3.3. Tipos de cables

Con el fin de identificar el cable de cada ánodo y para identificar los cables que entran a una caja de conexiones o al rectificador, se deberán utilizar mangas contraíbles en frío, impresas con letras mayúsculas negras sobre fondo blanco.

##### 4.3.3.1 Circuito Positivo

Este circuito usara como conductor cable AWG #2 de cobre dulce recocido, trenzado, con un aislamiento de polietileno, tipo THHN, color negro, 90 °C y 600 Vac. El cable del circuito positivo deberá ir acoplado a los cables de los ánodos mediante conectores de cobre tipo compresión. Este circuito llegara de manera independiente al borne positivo del rectificador para cada tanque. No serán utilizados conectores apernados en uniones de cables dispuestos en forma subterránea.

##### 4.3.3.2 Circuito Negativo

Este circuito usara como conductor cable AWG #2 de cobre dulce recocido, trenzado, con un aislamiento de polietileno, tipo THHN, color negro, 90 °C y 600 Vac.

El cable de este circuito se acoplará a cada tanque mediante el uso de soldadura exotérmica. Una vez haya sido realizado el acople, deberá revestirse este sector, acorde con las características del recubrimiento aplicado en el exterior del tanque.

Los detalles de la disposición de los circuitos positivo y negativo pueden ser vistos en el Anexo 3 Esquemas de detalle de montaje.

#### 4.3.4. Conexiones

Todas las conexiones del cable al tanque, se deberán efectuar mediante soldadura exotérmica al respectivo tanque. Posterior a la soldadura, la superficie metálica expuesta se deberá recubrir. En caso de no existir un recubrimiento compatible con la preparación superficial, se deberá utilizar los tipos Handy Cap.

Los empalmes de los ánodos, se realizarán con conectores tipo compresión.

#### 4.3.5. Estaciones de Prueba (Test Point)

Se deben construir facilidades para realizar toma de potenciales reales en los cuatro puntos cardinales del tanque en el área inmediata a su periferia; de tal manera que podamos determinar el nivel de polarización del tanque.

#### 4.3.6. Cajas de Conexiones (Junction Box)

Los ánodo deben ir conectados al cable positivo que llega a cada uno de los tanques y mediante una caja de conexiones (Juntion Box) a través de una resistencia Shunt, (Véase detalle de disposición de cables en Caja de Conexiones en el anexo 3).

### 4.4. PUESTA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Una vez instalado el sistema de protección, se registran los valores de potencial de estructura - suelo en cada una de las cuatro estaciones de monitoreo, o en los 4 puntos cardinales utilizando para ello el electrodo de referencia  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$  y se tomarán potenciales de la estructura verificando que el potencial de salida sea menor o igual a  $-1.100 \text{ Vdc}_{\text{cu/cuso4}}$  en la periferia del tanque para que alcance a los  $-0,850 \text{ VDC}$  en el centro del tanque.

Además, se hará lectura de voltaje en cada resistencia Shunt para determinar la cantidad de corriente drenada por cada grupo de ánodos; registrando los datos en el formato suministrado (véase formato en anexo 4) para control histórico de desempeño del sistema. (Este formato es un ejemplo simple que sirve de base para estudiar y mejorar.)

Las lecturas obtenidas a través del tiempo indicaran la necesidad y tipo de mantenimiento a cada grupo de ánodos (es decir en cada Tanque) y con base en esto se harán los ajustes del caso.

Se deberá efectuar un adecuado mantenimiento, generando un programa mensual de medición de potenciales de protección en los tanques a los cuales se les instale la protección catódica.

### 4.5. MEMORIAS DE CÁLCULO

#### 4.5.1. Tanques No.2. y No. 8 Planta de Distribución Catia La Mar

Tanques ubicados en zona que presenta suelos de baja resistividad eléctrica y la capa freática se encuentra a poca profundidad, condiciones que crean un medio corrosivo.

Como aspecto operativo, el tanque N° 2 está definido para almacenar agua cruda del SCI; el tanque N° 8 se ha designado para almacenar productos de hidrocarburos contaminados. Para el diseño se asume que los tanques se encuentran en operación y disponen de electrodos de referencia bajo el fondo, así como aislamientos eléctricos en las tuberías a las tuberías que entran y salen de cada tanque.

La implantación del diseño incluye el uso de celda de referencia bajo el fondo del tanque, en el punto central, de manera que sea posible efectuar lecturas precisas de potencial en la totalidad del área protegida.

Las áreas a proteger se dividen en dos grupos diferenciados por la característica de cada una de los electrolitos en los que esta inmerso el metal. Para el fondo del tanque, debido a



los requerimientos de corriente se determino instalar un SPC por corriente impresa. El presente documento soporta el diseño del Sistema de protección catódica para el fondo del tanque. En el trabajo no se incluye el diseño de Protección Catódica Interna.

Los detalles de cálculo, asociado a los requerimientos y diseño del sistema de protección catódica, para los tanques N° 2 y N° 8 de la Planta de Combustibles de Catia La Mar se aprecian en el anexo N°.1.

#### 4.5.1.1 Datos de Sistema a Proteger y Resultados de Cálculo

Los datos que se tuvieron en cuenta para el diseño fueron (de acuerdo a información suministrada):

Producto en el Tanque # 2	=	Agua Cruda de Sistema Contra Incendio
Producto en el Tanque # 8	=	Productos Recuperados
Tipo de revestimiento	=	Anticorrosivo 100%
Tiempo de servicio (uso)	=	5 años
Eficiencia del revestimiento	=	100 %
Resistividad promedio del terreno	=	1000 $\Omega$ - cm.
% Total del Área a proteger	=	100 % del Piso de Tanque

#### 4.5.1.2 Área Estimada a Proteger

Teniendo en cuenta que el revestimiento utilizado para la protección del tanque es un anticorrosivo, se considera el total de la estructura a ser protegida es el 100% del fondo de tanque.

$$\text{Área de un Círculo} = A_p = \pi r^2$$

Donde:

$A_p$	=	Área a proteger,
$\pi$	=	3.1416,
$r$	=	Radio en mts.

Tabla 2. Áreas de los Tanques a Proteger.

TANQUE	CAPACIDAD Bls.	DIÁMETRO (m)	ÁREA TOTAL m <sup>2</sup>	ÁREA A PROTEGER m <sup>2</sup>
Tanque 2	29.173	22.4	393.9	393.9
Tanque 8	5.440	10,65	89,0	89,0

#### 4.5.2. Densidad de Corriente

Teniendo en cuenta que el suelo en donde se encuentran construidos los tanques tiene un nivel freático alto, tomamos un criterio de densidad de corriente de 3,06 mA/ft<sup>2</sup> (33 mA/m<sup>2</sup>),

en condiciones ambientales normales. El criterio de densidad de corriente se basa en lo indicado en el libro “Principios y Prevención de la Corrosión”, autor Denny A. Jones, pag. 457.

#### 4.5.3. Requerimiento de Corriente

Para el cálculo de la corriente necesaria, para proteger el fondo de los tanques, se tomó como parámetro la totalidad del área del fondo y la densidad de corriente indicada en 4.5.2

El resultado del valor de corriente de protección necesaria para cada tanque se muestra en la tabla N°. 3

Tabla N° 3. Cantidad de Corriente de protección.

TANQUE	DENSIDAD DE CORRIENTE mA/m <sup>2</sup>	ÁREA A PROTEGER (m <sup>2</sup> )	RESISTIVIDAD PROMEDIO Ω/cm	CORRIENTE REQUERIDA (A)
Tanque 2	33	393,9	1000	18,60
Tanque 8		89	1000	4,20

Debido a la ubicación física de cada tanque en la planta, el diseño de protección catódica se define en forma independiente para cada tanque. La protección será del tipo de corriente impresa.

#### 4.5.4. Cama Anódica para Corriente Impresa

Basado en lo establecido por PDVSA en el documento PDVSA EM-28-07/04 “Especificación Técnica de materiales – Ánodos de Hierro-Silicio y Hierro-Silicio-Cromo para Protección Catódica por Corriente Impresa”, se define el uso de ánodos de tipo Hierro-Silicio, clasificación A-51x1524, según tabla 2 del citado documento.

Las características de los ánodos son:

Largo: 1524 mm

Dmax: 76 mm

Dmin: 57 mm

Peso: 27 kg.

La tasa de consumo anual es 0,2 kg/A-año

##### 4.5.4.1 Peso y Número de Ánodos Requeridos

$$W = I * Q * Y / FU$$

(Ecuac 1)

W: Peso Total de Ánodos Requeridos

I: Corriente Total Requerida

Q: Tasa de consumo del Ánodo

Y: Vida útil del Diseño

Basado en una vida útil de 20 años, al aplicar la ecuación 1 se obtiene como requerimiento para los tanques, la cantidad de ánodos mostrados en la tabla N°. 4

Tabla N° 4.- Cantidad de Ánodos Requeridos.

Tanque	Densidad de Corriente mA/m <sup>2</sup>	Área a Proteger (m <sup>2</sup> )	Peso Total de Ánodos Requeridos kg -	Nº de Ánodos Requeridos
Tanque 2	33	393,9	22,40	4
Tanque 8		89	99,08	1

#### 4.5.5. Resistencia Estimada del Circuito Anódico

El criterio aplicado es lograr una resistencia de circuito anódico menor de 2 Ω.

Como elemento de interconexión se usa cable de cobre, trenzado, sección 35 mm<sup>2</sup> (# 2 AWG), aislamiento THHN, 90°C, 600 Vac.

#### Resistencia de los cables:

Resistencia de un metro de cable N°. 2 AWG = 0.5636 ohm/km a 45 °C.

Las longitudes del circuito positivo se estimaron considerando disposición perimetral de los ánodos. Para el tanque N° 2 se requieren 4 ánodos, los cuales se disponen con una separación de 22,3 m. El tanque N° 8 requiere un solo ánodo.

La ubicación del rectificador se consideró a una distancia de 100 m para el tanque N° 2 y de 150 m para el tanque N° 8.

Despreciando la resistencia de conexiones y la resistencia interna del Rectificador y en función de la disposición de ánodos y cableados en la planta, en la tabla N° 5 se muestran los resultados de longitudes y resistencias del circuito anódico para cada tanque.

Tabla N°. 5. Resistencias Estimadas del Circuito Anódico.

Tanque	Circuito Positivo		Circuito Negativo		Resistencia Total de Circuito Anódico		
	Long (m)	Resist (Ω)	Long (m)	Resist (Ω)	Resist. Cables (Ω)	Resist Revest (Ω)	Resist Total Circuito (Ω)
<b>Tanque 2</b>	500	0,11	100	0,02	0,13	0,36	0,71
<b>Tanque 8</b>	300	0,17	150	0,06	0,23	0,75	1,81

#### 4.5.6. Dimensionamiento del Rectificador

La implantación de los tanques en la planta establece una separación física de aproximadamente 450 m entre ellos. Esta separación impone severas dificultades constructivas lo cual, determina el uso de rectificadores individuales para cada tanque.

El dimensionamiento del rectificador se basa en la ley de Ohm ( $V = I \times R$ ) aplicada para corriente continua, usando como datos los valores de corriente (I) demandada por la necesidad de protección para cada tanque y la resistencia (R) del circuito anódico correspondiente a cada tanque.

#### 4.5.6.1 Rectificador Tanque N° 2

Con base en los resultados de los cálculos mostrados en las tablas N° 3, 4 y 5, fue determinada la instalación de 4 ánodos de hierro-silicio, para una cama anódica que soportará la demanda de corriente del tanque y por lo tanto el rectificador apropiado para estas condiciones. El resultado se obtiene de la ecuación:

$$V = I * R \quad \text{(Ecuac 2)}$$

Donde:

V = Voltaje

I = Corriente requerida

R = Resistencia del circuito

Entonces,

$$V = 18,6 \text{ Amp} \times 0,71 \Omega = 13,20 \text{ Vdc.}$$

#### Factor de seguridad en potencia 20%:

V = 13.20 Voltios DC

I = 22.32 Amperios DC

Rectificador comercialmente seleccionado:

- Tipo Monofásico
- Entrada Vac: 480 Vac
- Salida Vdc: 20 Vdc
- Salida Idc Max.: 30 Adc

El rectificador será alimentado en tensión 480 Vac, desde la S/E N° 2.

La salida asociada al rectificador será alimentada desde el tablero CDE-4, ubicado en la barra 2. La protección del rectificador será mediante un interruptor de caja moldeada, 2p, 20 A, 480 Vac, 35 kAcc simétricos.

#### 4.5.6.2 Rectificador Tanque N° 8

$$V = 4,20 \text{ Amp} \times 1.81 \Omega = 7,60 \text{ Vdc.}$$

Factor de seguridad en potencia 20%:

$$V = 7,60 \text{ Voltios DC}$$

$$I = 5,04 \text{ Amperios DC}$$

Rectificador comercialmente seleccionado:

- Tipo Monofásico
- Entrada Vac: 480 Vac
- Salida Vdc: 12 Vdc
- Salida Idc Max.: 10 Adc

El rectificador será alimentado en tensión 480 VAc, desde la casa de bombas del Llenadero.

#### 4.5.6.3 Características Técnicas de Rectificadores de Tanque N° 2 y Tanque N° 8.

Cada tanque será protegido mediante un Transformador – Rectificador (T/R), el cual debe ser suministrado de acuerdo a los requerimientos establecidos por PDVSA en el Manual de Especificaciones Técnicas de Materiales, documento EM-28-07/05 “Transformador / Rectificador de Protección Catódica”.

Cada equipo rectificador deberá usar ser diodos de Silicio como elemento de rectificación y será comercialmente suministrado con las siguientes características:

Tabla N°. 6. Requerimientos Técnicos Garantizados de Equipos Transformador-Rectificador (T/R).

Característica	Rectific. Tanque N°. 2	Rectific. Tanque N°. 8	Observaciones
Voltaje AC Entrada - Vac-	480	480	
Voltaje DC Salida -Vdc-	20	12	
Corriente DC Salida – Máxima - A	30	10	

Característica		Rectific. Tanque Nº. 2	Rectific. Tanque Nº. 8	Observaciones
Frecuencia - Hz -		60	60	
Tipo de Operación		Continua	Continua	
Altura de Instalación – msnm -		< 1000	< 1000	
% Humedad Relativa		99	99	
Rizado				
Aislamiento Eléctrico – kV -		2	2	
% de Ajustes Mínimos del Transformador		30	20	Número Mínimo de Pasos Iguales: 18
Límite de Elevac. de Temper. del Transformador - °C -	Devanado	80 °C Sobre la temperatura Ambiente de 45 °C	80 °C Sobre la temperatura Ambiente de 45 °C	
	Núcleo			
% de Eficiencia		> 95	> 95	
% Factor de Potencia		> 85	> 85	
% Regulación del Voltaje Nominal		3%	3%	
Máxima Tensión de Rizado Permitida a Carga Completa – Voltios -		3	3	
Tipo de Enfriamiento		Auto-refrigerado por Aire	Auto-refrigerado por Aire	
Tipo de Semiconductor Rectificador		Silicio – Puente de Onda Completa - Tensión inversa: No inferior de 800 V	Silicio – Puente de Onda Completa - Tensión inversa: No inferior de 800 V	
Tipo de Transformador / Rectificador		Monofásico	Monofásico	
Protección Primaria		Interruptor de Caja Moldeada	Interruptor de Caja Moldeada	Incluida en el Cerramiento del TR

Característica	Rectific. Tanque Nº. 2	Rectific. Tanque Nº. 8	Observaciones
Montaje del Rectificador	Superficial, en Área Exterior, a la Intemperie	Superficial, en Área Exterior, a la Intemperie	
Cerramiento	Nema 4X	Nema 4X	Cerramiento aprobado para Ambiente Marino
Acabado Anticorrosivo	Galvanizado en Caliente	Galvanizado en Caliente	
Medio de Ajuste de Tensión de Salida	Taps de Selección	Taps de Selección	

Los requisitos funcionales del Transformador – Rectificador (T/R) deberán estar de acuerdo a lo indicado en la sección 6.8 del documento PDVSA EM-28-07/05.

#### 4.5.7. Métodos de Ensayo del TR.

Cada T/R deberá ser ensayado de acuerdo a lo establecido en la sección 7 del documento PDVSA EM-28-07/05.

#### 4.5.8. Rotulación del TR.

Cada TR deberá disponer de una placa de identificación, dispuesta en un lugar visible, construida con materiales aptos para aplicación en ambiente marino, con letras troqueladas, legibles y permanentes.

Cada Placa deberá contener:

- Nombre del Fabricante
- Modelo del T/R
- Serial
- Tensión de Línea de Corriente Alterna
- Intensidad de Corriente de Línea Alterna, a Plena Carga
- Frecuencia
- Número de Fases
- Tensión de Salida en Corriente Continua
- Intensidad de Salida en Corriente Continua
- Temperatura Ambiente en °C.
- Máxima Elevación de Temperatura en Devanados y en Núcleo

#### 4.5.9. Documentación Técnica de T/R.

Cada T/R deberá ser suministrado acompañado de la siguiente documentación técnica:

- Dos Manuales de Instalación – Operación y Mantenimiento en Idioma Español
- Certificaciones y Protocolos de Ensayos y Pruebas de cada Equipo.
- Hoja de Características Técnicas Garantizadas.
- Planos
  - Planos de Dimensiones Generales
  - Planos de Ubicación de Componentes en los Gabinetes
  - Diagramas Funcionales
  - Diagramas de Control y Cableado

Los planos deberán suministrarse en papel (Original y dos copias), así como en formato Electrónico, autocad (.DWG), versión 2006 o superior.

#### 4.6. LOCALIZACIÓN DE LA CAMA ANÓDICA Y RECTIFICADOR

La distribución de la cama anódica y la posición del rectificador, puede ser observada en el anexo 3.

### 5. PUESTA EN OPERACIÓN DEL SISTEMA

La verificación del sistema de protección se realiza partiendo de la premisa de que la conexión de los ánodos ha sido adecuada y que los materiales instalados satisfacen las especificaciones respectivas.

Antes de poner en funcionamiento el rectificador, se deberá medir la tensión de alimentación, la cual deberá ser igual a 480 Vac, con una tolerancia hasta de  $\pm 5\%$  respecto de la capacidad nominal del equipo.

Una vez puesto en servicio, se deberá calibrar el rectificador, de manera tal que suministre la corriente de protección requerida, moviendo los taps de ajuste paso a paso hasta lograr que el potencial de salida en el punto de prueba central bajo al tanque alcance un valor de -850 mV mínimo, medidos con referencia al electrodo de Cu-CuSO<sub>4</sub>.

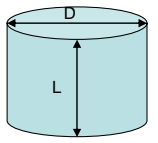
Una vez ajustado el Rectificador se tomaran los valores de tensión de alimentación, tensión de salida, corriente de salida y se calculará la resistencia del circuito. Adicionalmente se deberá medir los potenciales en los 4 puntos cardinales de cada tanque y documentar en los respectivos formatos.

### 6. ANEXOS

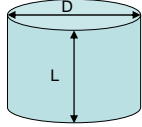


**ANEXO 1**  
**DETALLES DE CÁLCULO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA.**

PLANTA CATALA MAR  
 DISEÑO SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
 TANQUES # 2 Y 8

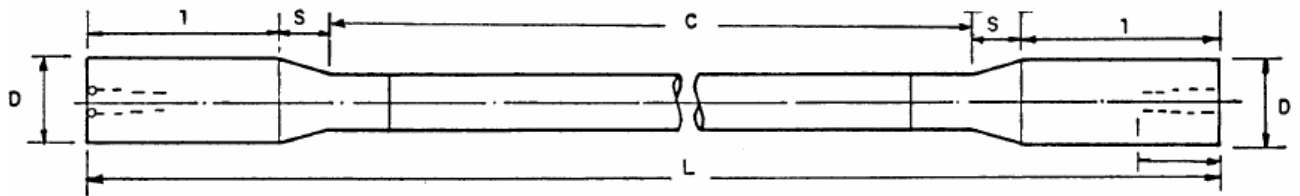
PREMISAS DE CALCULO	FORMULAS	CALCULOS
Tag del Tanque <b>TK-2</b>  <p>% del Área Desnuda del Tanque a Proteger (N): 100                      Área del Fondo de Tanque <math>A=\pi r^2</math>                      Densidad de Corriente (dc): 33 mA/m<sup>2</sup></p> <p>Tipo de Protección <b>CORRIENTE IMPRESA</b></p> <p>Tipo de Ánodo: <b>Hierro-Silicio-Cromo (Fe-Si-Cr)</b></p> <p>Tasa de Consumo (Q) 0.2 kg/(AxAño)                      Lecho: Relleno de Coque                      Factor de Utilización (FU): 0.75                      Vida Útil (Y) 20 años</p> <p><b>Ánodo Seleccionado</b>                      Clasificación PDVSA A-51x1524                      76 x 1364 mm , Peso (Pa) 27 kg                      Longitud (L) 136.4 cm                      Diámetro (d) 5.7 cm</p> <p>Resistividad del Suelo (<math>\rho</math>) 1000 <math>\Omega</math>-cm                      Separación entre Electrodo 22.3 m                      Factor de Paralelismo 0.00283</p> <p><u>Cable a Utilizar</u>                      Calibre 2 AWG (35 mm<sup>2</sup>) Resistencia 25 °C                      Aislamiento TTU, 90 °C, 600 Vac 0.5228 <math>\Omega</math>-km                      Resistencia a 45°C 0.5636 <math>\Omega</math>-km                      Resistencia Aceptable del Lecho de Anodos &lt; de 2 <math>\Omega</math>                      Resistencia Cable de Anodo 0.05636 <math>\Omega</math>                      Resistencia de Cables +/- Rectificador 0.05636 <math>\Omega</math></p> <p>Resistencia de Piso de Tanque-Acero 5.1E-05 <math>\Omega</math>                      Calidad de Revestimiento Lecho (<math>\rho</math>) 100 <math>\Omega</math>-m                      Espesor de Capa de Revest Lecho 0.02 m</p>	<p>Área del Tanque <math>A_s=\pi r^2</math></p> <p>Área a Proteger <math>A=At*N</math>                      Corriente de Protec: <math>I_p= A_p*dc/(fs*100)</math>                      Factor de Seguridad (fs) 0.7</p> <p><b>PESO Y NÚMERO DE ÁNODOS REQUERIDOS</b>                      Peso de Ánodos Requeridos (Pt)= <math>I_p*Q*Y/FU</math>                      Q= Tasa de Consumo del ánodo                      Y= Vida Útil del Diseño                      FU= Factor de Utilización                      Número de Ánodos Requeridos <math>N_a=(Pt/P_a)</math>                      (Na)</p> <p><b>RESISTENCIA DEL LECHO DE ÁNODOS</b>                      Resistencia de un Ánodo (Rv)  <math>R_v=((0.052*\rho/L)*(2.3*\log(8*(L/D)-1))</math>                      Rv= Resistencia Ánodo-Electrolito, Ref Remota  <math>\rho</math>= Resistividad en <math>\Omega</math>-cm                      L: Longitud del electrodo en cm                      D= Diámetro del Anodo en cm                      n= # de Electrodo                      S= Separación entre Electrodo                      P= Factor de Paralelismo</p> <p>Resistencia del Conjunto de Ánodos (Rn)  <math>R_n=(1/N_a*R_v)+(\rho P/S)</math></p> <p>Resistencia de Sistema de Cables  <b>Resistencia cables de Anodos</b>  <math>1/R_c\text{-anodos}=(1/R_{anod1})+(1/R_{anod2})+(1/R_{ano3})+(1/R_{ano4})</math>                      Resistencia Cables (Rcables) <math>R_c\text{-anodos}+R_{cablesRect}</math></p> <p><b>Resistencia del Lecho de Arena Asfáltica del piso:</b>  <math>R_{rev}= Rasfalto/Atanque</math></p> <p><b>Resistencia Total</b> <math>R_n+R_c\text{-ánodos}</math></p> <p><b>Voltaje Requerido Rectific -Vreq-</b> <math>I_p*R_t</math></p>	<p>Diámetro del Tanque 22.4 m                      Longitud del piso de Tanque 70.4 m                      Área del Tanque Susc de Protec. (At) 394.08 m<sup>2</sup></p> <p>Área del Tanque a Proteg. (Ap) 394.08 m<sup>2</sup></p> <p>Corriente de Protección (Ip) 18.58 A</p> <p><b>Peso Total de Ánodos Requeridos</b> 99.08 kg</p> <p><b>Na=</b> 4</p> <p><b>Resistencia de un Ánodo (Rv)</b> 0.83 <math>\Omega</math></p> <p><b>Resistencia del Conjunto de Ánodos (Rn)</b> 0.23 <math>\Omega</math></p> <p>Resistencia Cables de Ánodos  <math>R_c\text{-anodos}= 0.02 \Omega</math></p> <p>Resistencia de Cables +/- Rectificador 0.11 <math>\Omega</math></p> <p><b>Resistencia Total de Cables- Rcables-</b> 0.13 <math>\Omega</math></p> <p><b>Resistencia de la Capa de Arena-Asfalto</b>  <math>R_{rev}= 0.36 \Omega</math></p> <p><b>Resistencia Total - Rt-</b> 0.71 <math>\Omega</math></p> <p><b>Vreq=</b> 13 Vdc</p>

PLANTA CATIALA MAR  
 DISEÑO SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA  
 TANQUES # 2 Y 8

PREMISAS DE CALCULO	FORMULAS	CALCULOS
Tag del Tanque <b>TK-8</b>  <p>% del Área Desnuda del Tanque a Proteger (N): 100                      Área del Fondo de Tanque <math>A=\pi*(r^2)</math>                      Densidad de Corriente (dc): 33 mA/m<sup>2</sup></p> <p>Tipo de Protección <b>CORRIENTE IMPRESA</b></p> <p>Tipo de Anodo: <b>Hierro-Silicio-Cromo (Fe-Si-Cr)</b></p> <p>Tasa de Consumo (Q) 0.2 kg/(AxAño)                      Lecho: Relleno de Coque                      Factor de Utilización (FU): 0.75                      Vida Útil (Y) 20 años</p> <p><b>Anodo Seleccionado</b>                      Clasificación PDVSA A-51x1524                      76 x 1364 mm , Peso (Pa) 27 kg                      Longitud (L) 136.4 cm                      Diámetro (d) 5.7 cm</p> <p>Resistividad del Suelo (<math>\rho</math>) 1000 <math>\Omega</math>-cm                      Separación entre Electrodo 22.3 m                      Factor de Paralelismo 0.00283</p> <p><u>Cable a Utilizar</u>                      Calibre 2 AWG (35 mm<sup>2</sup>) Resistencia 25 °C                      Aislamiento TTU, 75 °C, 600 Vac 0.5228 <math>\Omega</math>-km                      Resistencia a 45°C 0.5636 <math>\Omega</math>-km                      Resistencia Aceptable del Lecho de Anodos &lt; de 2 <math>\Omega</math>                      Resistencia Cable de Anodo 0.05636 <math>\Omega</math>                      Resistencia de Cables +/- Rectificador 0.08454 <math>\Omega</math></p> <p>Resistencia de Piso de Tanque-Acero 2.4E-05 <math>\Omega</math>                      Calidad de Revestimiento Lecho (<math>\rho</math>) 100 <math>\Omega</math>-m                      Espesor de Capa de Revest Lecho 0.02 m</p>	$A_p=\pi*r^2$ Área a Proteger $A=At*N$ Corriente de Protecc: $I_p= A_p*dc/(fs*100)$ Factor de Seguridad (fs) 0.7	Diámetro del Tanque 10.65 m Longitud del piso de Tanque 33.5 m Área del Tanque Susc de Protecc. (At) 89.08 m <sup>2</sup> Área del Tanque a Proteg. (Ap) 89.08 m <sup>2</sup> Corriente de Protección (Ip) 4.20 A <b>Peso Total de Anodos Requeridos</b> 22.40 kg <b>Na=</b> 1 <b>Resistencia de un Anodo (Rv)</b> 0.83 $\Omega$ <b>Resistencia del Conjunto de Anodos (Rn)</b> 0.83 $\Omega$ Resistencia Cables de Anodos Rc-anodos= 0.06 $\Omega$ Resistencia de Cables +/- Rectificador 0.17 $\Omega$ <b>Resistencia Total de Cables- Rcables-</b> 0.23 $\Omega$ <b>Resistencia de la Capa de Arena-Asfalto</b> Rrev= 0.75 $\Omega$ <b>Resistencia Total del Circuito- Rt-</b> 1.81 $\Omega$ <b>Voltaje Requerido Rectific -Vreq-</b> 8 Vdc
	<p><b>PESO Y NÚMERO DE ÁNODOS REQUERIDOS</b>                      Peso de Anodos Requeridos (Pt)= <math>I_p*Q*Y/FU</math>                      Q= Tasa de Consumo del ánodo                      Y= Vida Útil del Diseño                      FU= Factor de Utilización  <b>Número de Anodos Requeridos (Na)</b> <math>Na=(Pt/Pa)</math></p> <p><b>RESISTENCIA DEL LECHO DE ÁNODOS</b>                      Resistencia de un Anodo (Rv)  <math>Rv=((0.052*p)/L)*(2.3*Log(8*(L/D)-1))</math>                      Rv= Resistencia Anodo-Electrolito, Ref Remota  <math>\rho</math>= Resistividad en <math>\Omega</math>-cm                      L: Longitud del electrodo en cm                      D= Diámetro del Anodo en cm                      n= # de Electrodo                      S= Separación entre Electrodo                      P= Factor de Paralelismo</p> <p>Resistencia del Conjunto de Anodos (Rn)  <b><math>Rn=(1/Na*Rv)+(\rho P/S)</math></b>                      Resistencia de Sistema de Cables</p> <p><b>Resistencia cables de Anodos</b>  <math>1/Rc-anodos=(1/Ranod1)+(1/Ranod2)+(1/Ranod3)+(1/Ranod4)</math>                      Resistencia Cables (Rcables) <math>Rc-anodos+RcablesRect</math></p> <p><b>Resistencia del Lecho de Arena Asfáltica del piso:</b>                      Rrev= Rasfalto/Atanque</p> <p><b>Resistencia Total del Circuito</b> <math>Rn+Rc-anodos</math></p> <p><b>Voltaje Requerido Rectific -Vreq-</b> <math>I_p*Rt</math></p>	

**ANEXO 2**  
**CARACTERÍSTICAS DE ÁNODOS DE SACRIFICIO.**

FIG. 5

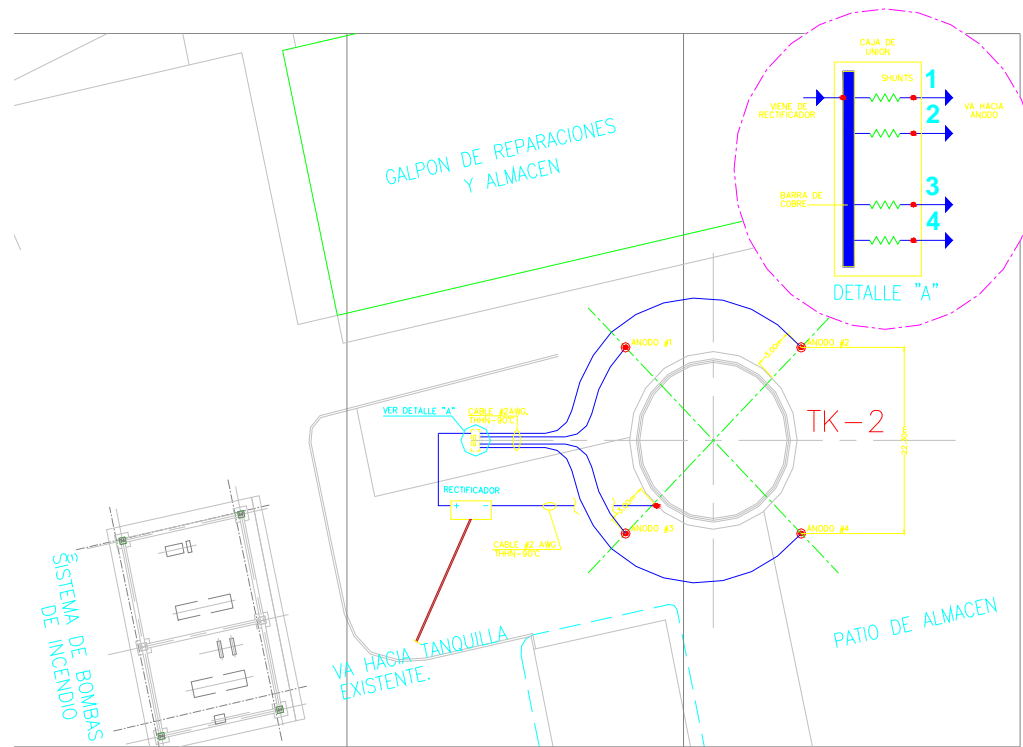


Clasificación	Cabezas	D min. (mm)	d (min.) (mm)	l (min.) (mm)	S (min.) (mm)	L min. (mm)	C (mm)	P min. (kg)	a (m)
A-51x1524	1	76	57	110	50	1524	1364	27,0	0,244

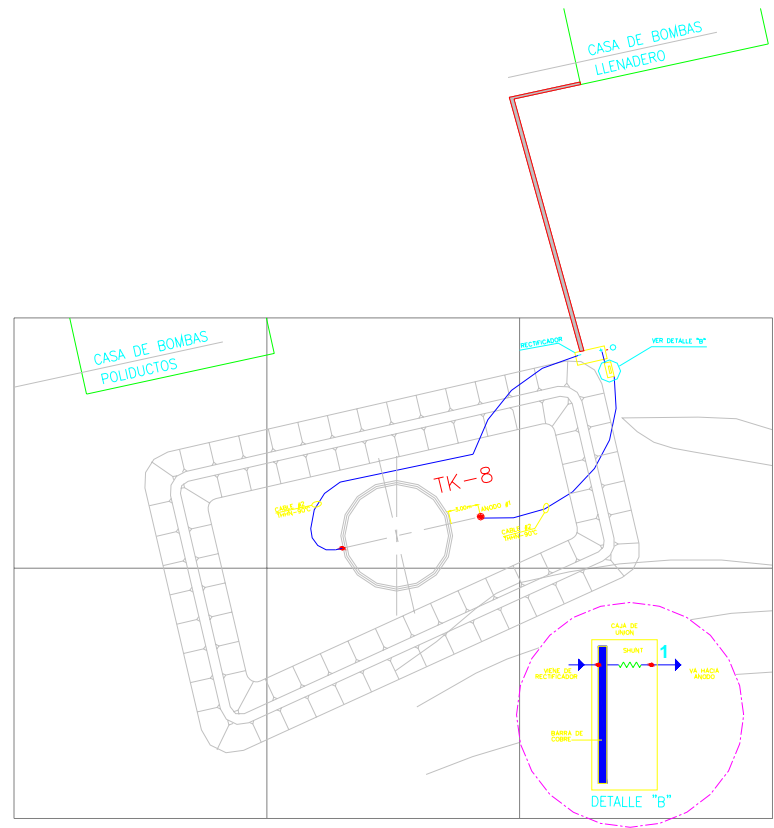
### ÁNODO DE HIERRO-SILICIO-CROMO

Especificaciones según PDVSA, Manual de Especificaciones Técnicas de Materiales EM-28-07/04 "ánodos de Hierro-Silicio y Hierro-Silicio-Cromo para Protección Catódica por Corriente Impresa".

**ANEXO 3**  
**ESQUEMAS DE DETALLE DE MONTAJE.**

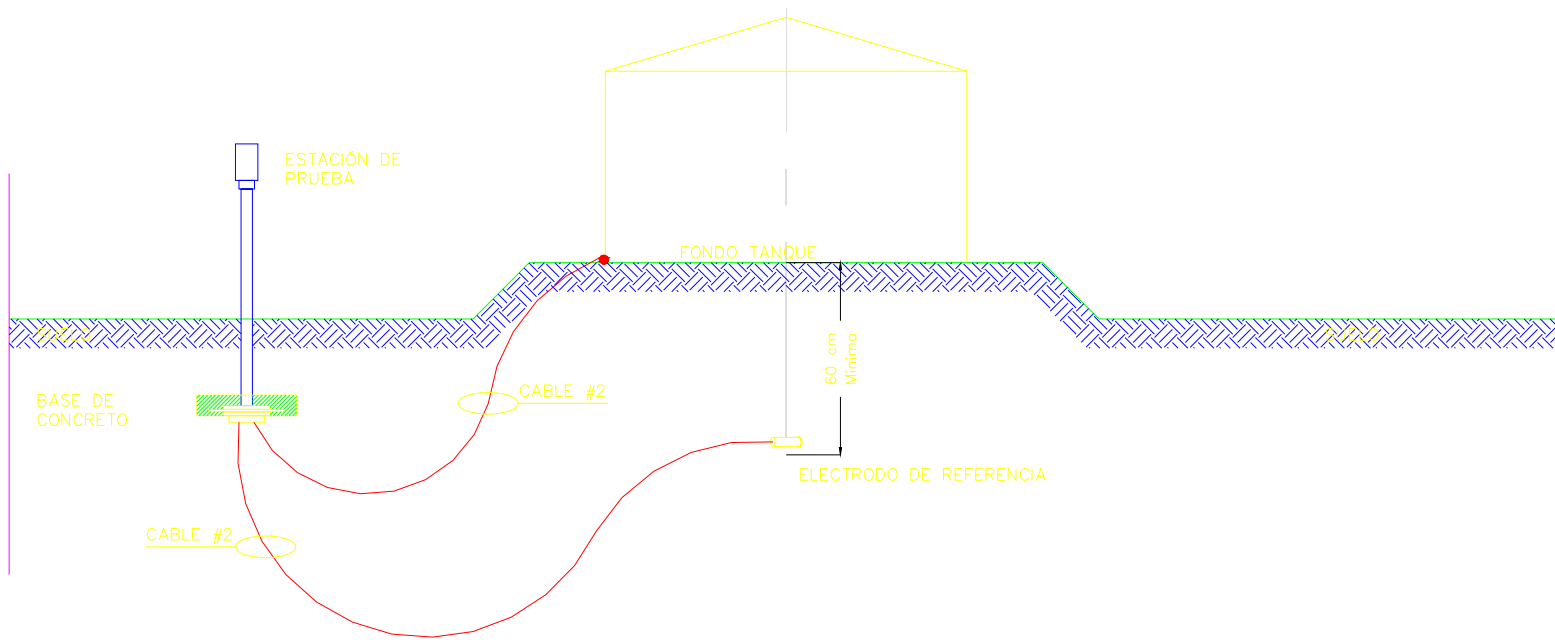


**Disposición de Equipos de Protección Catódica Tanque N° 2**



**Disposición de Equipos de Protección Catódica Tanque N° 8**





**Ubicación de Celda de Referencia bajo Piso de Tanque**

