

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y AMBIENTAL
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**“ESTUDIO TÉCNICO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA DE UN
TANQUE DE TAPA CÓNICA, FABRICADO BAJO LA NORMA API 650
DE 200000 GLS DE CAPACIDAD A SER INSTALADO EN EL
DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR -LIMA”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR EL BACHILLER

CORDOVA POMALAYA, LUIS ANGEL

**Villa El Salvador
2016**

DEDICATORIA

A todos mis seres queridos que estuvieron con migo en los momentos que más necesitaba de su apoyo, agradecer de una manera muy especial a mis padres quienes siempre me dieron su confianza.

AGRADECIMIENTO

A la UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLOGICA DE LIMA SUR y a todo los docentes por trasmitirme su conocimientos para formarme un buen profesional.

ÍNDICE

| | |
|---|-------------|
| DEDICATORIA | ii |
| AGRADECIMIENTO | iii |
| A. LISTA DE TABLAS | viii |
| B. LISTA DE FIGURAS | viii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPITULO I: | 2 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 2 |
| 1.1. Descripción de la realidad problemática | 2 |
| 1.2. Justificación del problema | 2 |
| 1.2.1 Justificación Técnica: | 2 |
| 1.2.2 Justificación Económica | 3 |
| 1.2.3 Justificación social | 3 |
| 1.3. Delimitación de la investigación | 3 |
| 1.3.1 Espacial | 3 |
| 1.3.2 Temporal | 3 |
| 1.4. Formulación del problema | 4 |
| 1.4.1 Problema principal | 4 |
| 1.4.2 Problema específico | 4 |
| 1.5. Objetivos | 4 |
| 1.5.1. Objetivos generales..... | 4 |
| 1.5.2. Objetivos específicos | 4 |
| | |
| CAPÍTULO II: MARCO TEORICO | 5 |
| 2.1. Antecedentes | 5 |
| 2.2. Bases teóricas | 6 |
| 2.2.1. Tanques atmosféricos de techo cónico | 6 |
| 2.2.1.1 Tipos de tanques | 7 |
| A) Techo fijo | 7 |
| B) Techo flotantes | 8 |
| 2.2.1.2 Materiales para fabricación de tanque api 650 | 8 |
| 2.2.1.3 Calculo de los parámetros del tanque | 9 |

| | |
|--|----|
| 2.2.1.3.1 Método de un punto fijo o de un pie..... | 12 |
| 2.2.1.3.2 Método de punto variable | 13 |
| 2.2.1.3.3 Calculo de estructura del tanque | 15 |
| 2.2.1.3.4 Características de la soldadura a utilizar en tanque API 650. . | 23 |
| 2.2.2. Corrosión en las estructuras metálicas | 26 |
| 2.2.2.1 ¿Qué es la corrosión? | 26 |
| 2.2.2.2 Proceso de la corrosión..... | 27 |
| 2.2.2.3 Discontinuidades en el metal | 28 |
| 2.2.2.4 Discontinuidades en el medio corrosivo..... | 29 |
| 2.2.2.5 Tipos de corrosión | 30 |
| 2.2.2.5.1 Corrosión uniforme | 30 |
| 2.2.2.5.2 Corrosión localizada | 30 |
| 2.2.2.5.3 Picadura “pitting” | 31 |
| 2.2.2.5.4 Corrosión en grietas “crevice” | 31 |
| 2.2.2.6 Tipos de corrosión según sus causas | 33 |
| 2.2.2.6.1 Corrosión por acción electroquímica..... | 33 |
| 2.2.2.6.2 La corrosión química | 34 |
| 2.2.2.7 Factores que influyen en la corrosión | 34 |
| a) Clase y estado del metal: | 34 |
| 2.2.3 PROTECCIÓN CATÓDICA | 35 |
| 2.2.3.1 EXISTEN DOS TIPOS DE PROTECCIÓN CATÓDICA | 36 |
| 2.2.3.2 Inmediaciones del cátodo | 37 |
| 2.2.3.3 Elección del sistema | 38 |
| 2.2.3.4 Cálculo de la corriente necesaria..... | 39 |
| 2.2.3.5 Comparación de los sistemas | 40 |
| 2.2.3.6 Ánodos galvánicos | 41 |
| 2.2.3.6.1 Las propiedades que debe reunir un material anódico son las siguientes: | 41 |
| 2.2.3.6.2 La Norma Británica BS 7361-1:19913: | 44 |
| 2.2.3.6.3 Relleno anódico..... | 45 |
| 2.2.3.7 Criterios de protección catódicas | 46 |
| 2.2.3.7.1 Requerimiento de corriente de protección | 48 |
| 2.2.3.7.2 Resistividad eléctrica | 50 |

| | |
|--|-----------|
| 2.2.3.7.3 Medición | 51 |
| 2.2.3.8 Diseño de un sistema de protección catódica con ánodos galvánicos para ductos terrestres y lacustres. | 52 |
| 2.2.3.8.1 Vida útil. | 52 |
| 2.2.3.8.2 Corriente de diseño para ductos enterrados o sumergidos. | 54 |
| 2.2.3.8.3 Densidad de corriente y factor de daño del recubrimiento. | 54 |
| 2.2.3.8.4 calculo del número de ánodos requeridos. | 56 |
| 2.3 Marco conceptual | 56 |
| | |
| CAPITULO III: | 58 |
| DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA | 58 |
| 3.1 ANÁLISIS DEL MODELO | 58 |
| 3.2 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO MEJORADO | 59 |
| 3.2.1 Memoria de cálculo | 60 |
| 3.2.2 Calculo del espesor de cada cinturón (casco) del tanque por el método de un pie: | 61 |
| 3.2.3 Resumen de espesores calculados | 62 |
| 3.2.4 Calculo de placas del fondo y placas del techo | 63 |
| 3.2.5 Calculo de espesor del techo | 63 |
| 3.2.6 Calculo de accesorio de apertura del tanque según api 650. | 64 |
| 3.2.6.1 Selección para MANHOLE del cuerpo de 24 pulgadas. | 64 |
| 3.2.6.2 MANHOLE para el techo | 65 |
| 3.2.6.3 Selecciones para MANHOLE del techo de 600 cm | 65 |
| 3.2.6.4 Boquillas y bridas para el cuerpo del tanque..... | 66 |
| 3.2.6.5 Selección para boquillas – bridas de entrada de diámetro 6” SCH | 66 |
| 3.2.6.6 Selección para boquillas –bridas de salida de diámetro de 3” | 67 |
| 3.2.7 SELECCIÓN PARA ESCALERAS CIRCULARES | 68 |
| 3.2.8 MATERIALES PARA FABRICAR EL TANQUE API 650 | 69 |
| 3.2.9 SISTEMA DE PINTURA A UTILIZAR. | 70 |
| 3.2.10 Diseño de la protección catódica para un tanque api 650 de tapa | 71 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2.10.1 Cálculo de la corriente | 71 |
| 3.3. Revisión y consolidación de resultados | 75 |
| Tanque cónico sin protección catódica | 75 |
| Tanque cónico con su protección catódica | 75 |
| CONCLUSIONES | 76 |
| RECOMENDACIONES | 77 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 78 |
| ANEXOS: | |
| ANEXO 1. Tablas de normas | 80 |
| ANEXO 2. Resistividades del terreno y ánodos | 88 |
| ANEXO 3. Presupuestos del tanque y pintado | 89 |
| ANEXO 4. Planos de tanque API 650 | 97 |

A. LISTADO DE TABLAS

| | |
|---|----|
| TABLA 1. Mínimo espesores para obtener los espesores de los tanques según diámetro | 10 |
| TABLA 2. Tabla de esfuerzo máximo para diseño y prueba hidrostática .. | 11 |
| TABLA 3. Ángulos de acuerdo al diámetro del tanque | 17 |
| TABLA 4. Distancia de separación de los accesorios | 20 |
| TABLA 5. Soldadura de filete de la junta cuerpo – fondo | 26 |
| TABLA 6. Tendencia electroquímica de los metales. | 38 |
| TABLA 7. Densidades de corriente para protección catódica de acero .. | 39 |
| TABLA 8. Propiedades físicas y electroquímicas del Mg, Zn y Al | 43 |
| TABLA 9. Potencial de protección catódica..... | 45 |
| TABLA 10. Relleno químico para ánodos galvánicos..... | 46 |
| TABLA 11. Potenciales recomendados para protección catódica | 46 |
| TABLA 12. Potencial que debe adquirir el metal | 48 |
| TABLA 13. Requerimiento de corriente para protección catódica | 49 |
| TABLA 14. Agresividad del terreno para estructuras de acero | 51 |
| TABLA 15. Electroodos de referencia..... | 51 |
| TABLA 16. Capacidad y rendimiento de los electrodos | 53 |
| TABLA 17. Propiedades electroquímicas de los ánodos galvánicos | 53 |
| TABLA 18. Producto $J \cdot f_c$ para acero al carbono con diferente recubrimiento, que se debe utilizar para diseñar sistemas de protección catódica para temperaturas de operación igual o menor a 30 °C | 55 |
| TABLA 19. Consumo de ánodo para calcular la masa anódica | 56 |

B. LISTADO DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1. Tanque API 650 de tapa cónica..... | 7 |
| FIGURA 2. Junta techo- Angulo | 16 |
| FIGURA 3 a) accesorio de tanque tipo diamante b) placa tipo circular..... | 18 |
| FIGURA 4. Distancias de aberturas..... | 19 |
| FIGURA 5. MANHOL del cuerpo del tanque | 22 |
| FIGURA 6. Procesos para transformar acero con propiedades deseadas. | 27 |
| FIGURA 7. Componentes del proceso corrosivo | 28 |
| FIGURA 8. Oxido proceso de aceleración de la corrosión..... | 29 |
| FIGURA 9. Presencia de suelo húmedo frente a un metal | 29 |
| FIGURA 10. Es una picadura profunda pero de diámetro pequeño | 31 |
| FIGURA 11. Corrosión de grieta | 32 |
| FIGURA 12. Daños por picaduras localizados | 33 |
| FIGURA 13. Protección catódica con ánodos de sacrificio..... | 36 |
| FIGURA 14. Protección catódica por corriente impresa | 37 |
| FIGURA 15. Protección catódica con ánodo de sacrificio..... | 43 |
| FIGURA 16. Ánodos de magnesio | 44 |
| FIGURA 17. Instalación de ánodo de magnesio | 44 |

INTRODUCCIÓN

La presente investigación lleva por título **“ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE UN TANQUE DE TAPA CÓNICO API 650 DE 200000 GLS Y SU DISEÑO DE PROTECCIÓN CATÓDICA INSTALADA EN LA ZONA DE VILLA EL SALVADOR”** , Presentado por el bachiller CORDOVA POMALAYA, LUIS ANGEL, es para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico Eléctrico.

El estudio técnico del tanque atmosférico estará realizado bajo la norma API 650 y el diseño de protección catódica con ánodo de sacrificio (magnesio) seguirá las pautas de la norma PEMEX NORMA MEXICANA DE PETROLEO, el cual es una referencia de la norma NACE CP4.

El almacenamiento de hidrocarburos refinados, petroquímicos, petróleo crudo, así como otros productos líquidos se lleva a cabo en organismos petroleros, mediante el empleo de diferentes tipos de recipientes siendo de los más utilizados los tanques atmosféricos cilíndricos de acero, los cuales se utilizan para almacenar pequeños y grandes volúmenes de productos petrolíferos y sus derivados, agua o algún otro producto utilizado en las instalaciones [3]

Corrosión es la destrucción de un cuerpo sólido causada por un ataque no provocado, de naturaleza química que se inicia en la superficie. En cualquier caso la corrosión es un proceso destructivo en lo que a ingeniería se refiere, y representa una enorme pérdida económica.

Teniendo en cuenta la serie electroquímica de los metales, un metal tendrá carácter anódico con relación a otro, si se encuentra por encima de el en esta serie. Por ejemplo el acero será ánodo con respecto al cobre.

La estructura de la investigación se compone de 3 capítulos. El primer capítulo comprende el Planteamiento del Problema, el segundo capítulo el desarrollo del marco teórico y el tercer capítulo corresponde a la metodología en el desarrollo de la investigación.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Los mantenimientos que se realizan a los tanques API 650 de tapa cónica ubicados en la zona de Villa El Salvador, se ha determinado que los índices de niveles de corrosión son los que generalmente originan una pérdida del espesor del cuerpo generando problemas en este tipo de tanques, los informes técnicos refieren que la corrosión llega a niveles de grado C y D los cuales ubicados según la norma EN ISO 8501-1, lo cual determinan el tiempo de vida útil del tanque el cual está diseñado para 20 años sin embargo disminuya en un 25%, así como también se indican que este problema es originado por los altos niveles de humedad y la presencia excesiva de salitre que existe en la zona; principales determinantes de los niveles de corrosión.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El proyecto se justifica por las siguientes razones:

1.2.1 Justificación Técnica:

En la zona de Villa el Salvador existen tanques fabricados para almacenar combustible líquidos como en grifos y refinerías, estos tanques están en contacto directo con el suelo el cual es bastante corrosivo y arenoso por sus elevadas resistividades según el estudio realizado por Consorcio Sebastián M.RM.C.A.A. Ingenieros Consultores

E.I.R.L, la resistividad del suelo arroja valores mayores a 2500 Ω x cm, lo cual origina altos niveles de corrosión.

El presente proyecto diseñara una propuesta que evite que los niveles de corrosión disminuyan el tiempo de vida útil de los tanques, para lo cual se seleccionara adecuadamente los componentes mecánicos del tanque que es de vital importancia para tener un funcionamiento adecuado.

1.2.2 Justificación Económica

Los costos que requiere este proyecto se verá reflejado y justificado en un corto plazo, contando con tanques que cumplen su tiempo de vida útil evitando mantenimientos prematuros.

1.2.3 Justificación social

El ampliar el tiempo de vida útil del tanque de tapa cónica API 650 se justifica socialmente porque se brindara una mayor eficiencia en la atención al cliente y vehículos que circulan en Villa el Salvador

1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 1.3.1 Espacial

La protección catódica con ánodo de sacrificio a realizarse será para un tanque API 650 con tapa cónica, de capacidad de almacenamiento 200000 GLS a una temperatura máxima de 90°C .El desarrollo de la aplicación se realizara en el departamento de Lima Distrito de Villa el Salvador el año 2016.

1.3.2 Temporal

Esta investigación tiene una duración comprendida desde Mayo hasta Agosto del 2016, tiempo de duración de este proyecto.

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.4.1 Problema principal

¿Cuál será el tipo de protección catódica seleccionada para proteger la base de un tanque de tapa cónico API 650 para evitar los altos niveles de corrosión?

1.4.2 Problema específico

- ¿Cuál serán los ánodos galvánicos seleccionados según el método PEMEX para la protección de la base del tanque API 650?
- ¿Cuánto será el tiempo de vida de un ánodo al estar instalado en la base del tanque?
- ¿Cómo será la geometría de la estructura del tanque API 650 para la protección catódica?
- ¿Cuál será el tipo de protección recomendado para un tanque API 650 de 10 metros de diámetro?

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivos generales

Determinar el diseño de la protección catódica para proteger la base de un tanque de tapa cónico API 650 instalada en el distrito de Villa el Salvador.

1.5.2. Objetivos específicos

- Seleccionar el sistema de protección catódica más óptimo según análisis técnico y económico.
- Determinar el tipo de ánodo galvánico según la norma PEMEX para proteger la base del tanque API 650 de los altos niveles de corrosión que presenta el distrito de Villa el Salvador.
- Determinar los parámetros para diseñar la protección catódica para un tanque de tapa cónico API 650 instalada en el distrito de Villa el Salvador.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

- **Internacionales**

Álvaro Moreano Altamirano (2005), en su tesis titulada **“Diseño e instalación de un sistema integral de protección catódica para un tanque de agua de proceso en la industria petrolera”** Previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, en sus conclusiones manifiesta: **a)** Los sistemas de protección catódica por corrientes impresas ICCP, utilizando un modelo tipo malla han sido reconocidos internacionalmente en ser efectivos en controlar la corrosión por el lado del suelo, en tanques de almacenamiento por sobre la superficie.**b)** Los ánodos seleccionados en ésta tesis (Ti – Óxidos metálicos) poseen excelentes propiedades como resistencia a la acidez, baja tasa de consumo y una mayor distribución de la corriente con respecto a los sistemas tradicionales, es por esto que se están utilizando en la protección de tanques a nivel mundial.

William Luis Suque Cercado (2008) en su tesis titulada. **“Diseño de sistema de protección catódica por ánodo profundos para un bosque de tanques de almacenamiento de combustible”**, Guayaquil- Ecuador previó a la obtención de título profesional, en su conclusión manifiesta: **a)** El sistema de ánodos profundos es ideal para una tasa de interferencia nula comparada con el sistema de ánodos superficiales **b)** Además dice que el sistema planteado para una vida útil de 20 años con los materiales y características establecidas.

c) El sistema de ánodos más profundos resuelto el método más visible de implementar, acorde al análisis realizado en función del espacio físico existente en el bosque de tanques.

Marilyn Carolina Rosas Brito (2012) en su tesis titulado “**selección del sistema de protección catódica para tuberías enterradas en el centro operacional BARE, el tigre, Edo, Anzoátegui**”, en sus conclusiones manifiesta; **a)** En base a las condiciones actuales del corredor de tuberías, queda evidenciado que es necesario la instalación de un sistema de protección adicional al existente y que el método más adecuados para proteger las tuberías contra la corrosión externa es el de protección catódica por corriente impresa. **b)** De acuerdo a los paramentos necesarios para el diseño del sistema de protección catódica por corriente impresa se seleccionó el sistema más óptimo mediante un análisis técnico económico, resultando que el método más conveniente que es el de protección catódica por ánodos polimérico continua. **c)** Se instalan tres unidades rectificadoras que pueden ser del tipo monofásico o trifásico enfriado por aire, que aseguran la protección por corrosión extrema de las tuberías.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Tanques atmosféricos de techo cónico

En la actualidad existen una gran variedad de tanques atmosféricos .este tipo de tanque es utilizado en plantas de proceso que forma parte de instalaciones petroleras, tales como pozos de producción o estaciones de bombeo, en cada uno de estos puntos se almacena diferentes tipos de hidrocarburos tales como petróleo crudo, productos intermedios como agua de producción o productos terminados como gasolina, diésel, etc. Por esta razón no solo un tipo de tanque es apropiado para el almacenamiento de los diferentes productos a ser almacenados. El modelo API 650 considera dos tipos de tanques de almacenamiento a presión atmosférica, estos **son tanques de techo fijo y tanques de techo cónico flotante.**

Para la construcción de los mismos se emplean láminas de acero de distintos espesores conforme su posición relativa en la estructura del

tanque, los mismos que siguen diferentes estándares dictados por organismos que los estandarizan y regulan para asegurar que la seguridad del tanque sea la óptima .se sueldan entre sí de acuerdo a normas de construcción que garantiza la integridad y posterior funcionamiento del almacenaje. Los tanques soldados están diseñados para soportar presiones internas ligeramente superior o igual a la atmosférica .a efectos de proveer el daño que pudiera ocasionar la rotura o rebalse de los mismos, se construye un dique de contención de cada tanque instalado en el sitio. La infraestructura de los almacenamientos exige elevadas inversiones económicas. Por los que su análisis y diseño está perfectamente controlado por diferentes organismos a nivel mundial. [3]



Figura 1. Tanque API 650 de tapa cónica.

Fuente: API standard (American Petroleum Institute) 650.

2.2.1.1 Tipos de tanques

Según la norma API 650 clasifica los tanques por el tipo de techo.

A) Techo fijo

Se emplean para contener productos no volátiles o de bajo contenido de ligeros (no inflamable) como son: agua, diésel. Asfalto, petróleo crudo, etc. debido al que disminuir la columna del

fluido, se va generando una cámara de aire que facilita la evaporación del fluido, lo que es altamente peligroso.

Los techos fijos se clasifican en:

- Techo auto soportado.
- Techo soportado.

B) Techo flotantes

Se emplean para almacenar productos con alto contenido de volátiles como son: alcohol, gasolina y combustibles en general. Este tipo de techo fue desarrollado para producir o anular la cámara de aire, o espacio libre entre el espejo del líquido y el techo, además de proporcionar un medio aislante para la superficie del líquido, reducir la velocidad de transferencia de calor al producto almacenado durante los periodos en que la temperatura ambiental es alta, evitando así la formación de gases (su evaporación), y consecuentemente, la contaminación del ambiente y, al mismo tiempo se reducen los riesgos al almacenar productos inflamables.[4]

2.2.1.2 Materiales para fabricación de tanque api 650

La norma API 650 propone una lista de materiales a ser usado en el apéndice N, como también pruebas a ser realizadas.

- **Planchas**

La plancha de acero para casco, techo y fondo pueden pedirse sobre espesor de borde base o sobre un peso base que no deberá ser menor al espesor de diseño calculado o el espesor mínimo permitido.

- **Perfiles estructurales**

Los aceros estructurales se deberán ajustar a las siguientes:

- a) ASTM A 36M/A 36

- b) ASTM A 131M/A131
- c) ASTM A 992M/A992

- **Tuberías y piezas forjada**

Se utilizan las siguientes tuberías a menos que la norma API 650 especifique lo contrario

API espesor 5L, Grado A, B

ASTM A 53, Grado A Y 13

ASTM A 106, Grado A, B

- **Para las bridas**

Se utilizara la norma ASME B16.5

- **A-36.- Acero estructural**

Solo para espesores iguales o menores de 38mm, (1 1/2pulg). Este material es aceptado y usado en los perfiles, ya sean comerciales o ensamblados de los elementos estructurales del tanque. [4]

2.2.1.3 Calculo de los parámetros del tanque

El cuerpo del tanque se va formando con la unión de anillos de diferentes espesores hasta lograr la altura requerida. Y los anillos se van construyendo, adhiriendo laminas roladas de igual espesor hasta alcanzar el diámetro del tanques por lo mencionado anteriormente el cuerpo es el componente más grande y crítico de los tanques, representado por lo general el 70% de la obra.es por eso el cálculo de espesores se debe hacer de manera minuciosa para obtener los espesores óptimos, que permiten tener un tanque seguro y de costos razonable. [3]

Entre las condiciones de diseño requeridas dadas por el comprador para tanques con las características antes mencionadas se tienen:

- Temperatura del metal ,base en la temperatura ambiente

- Diámetro, altura del tanque y capacidad
- Gravedad específica del líquido a almacenarse
- Sobre espesor de corrosión
- Localización geográfica.

Existen condiciones y restricciones que son propias para el diseño de este tipo de tanques como son:

- Temperatura máxima de operación 90°C
- Presión interna aproximada mente igual a la presión atmosférica ,2.5 psi
- Presión de vacío parcial 2.5 KPA(1 in de aguas) como requerimos mínimo
- Presión interna máxima para tanques cerrados indicados en el apéndice F del estándar API 650, no mayor a 18 KPA.
- Los espesores de las placas para la conformación de los anillos no deben ser menores a los indicados en la **tabla 1**

| Nominal Tank Diameter | | Nominal Plate Thickness | |
|-----------------------|------------|-------------------------|------------------------------|
| (m) | (ft) | (mm) | (in.) |
| <15 | <50 | 5 | ³ / ₁₆ |
| 15 to <36 | 50 to <120 | 6 | ¹ / ₄ |
| 36 to 60 | 120 to 200 | 8 | ⁵ / ₁₆ |
| >60 | >200 | 10 | ³ / ₈ |

Tabla 1. Mínimo espesores para obtener los espesores de los tanques según diámetro.

Fuente: Norma API ESTÁNDAR 650.

Los esfuerzos máximos permisible para diseño y prueba hidrostática (Sd) y (St) respectivamente, utilizados para los cálculos de espesores, se encuentran tabulados en la tabla 2, del estándar API 650 (ver tabla 2 de parte permisible de materiales and allowable stresses). Así como también la mínima resistencia a la fluencia ay a la tracción (Sy) y (St) respectivamente. [3]

| Plate Specification | Grade | Nominal Plate Thickness <i>t</i> (mm) | Minimum Yield Strength (Mpa) | Minimum Tensile Strength (Mpa) | Product Design Stress S_d (Mpa) | Hydrostatic Test Stress S_h (Mpa) |
|---------------------|-----------------|---|------------------------------|--|-----------------------------------|-------------------------------------|
| ASTM Specifications | | | | | | |
| A 283M | C | | 205 | 380 | 137 | 154 |
| A 285M | C | | 205 | 380 | 137 | 154 |
| A 36M | A | | 250 | 400 | 150 | 171 |
| A 36M | A | | 250 | 400 | 150 | 171 |
| A 513M | EH 26 | | 360 | 490 ^a | 196 | 210 |
| A 573M | 400 | | 220 | 400 | 147 | 165 |
| A 573M | 450 | | 240 | 430 | 160 | 180 |
| A 573M | 485 | | 290 | 485 ^a | 193 | 208 |
| A 516M | 380 | | 205 | 380 | 137 | 154 |
| A 516M | 415 | | 220 | 415 | 147 | 165 |
| A 516M | 450 | | 240 | 450 | 160 | 180 |
| A 516M | 485 | | 290 | 485 | 173 | 195 |
| A 602M | B | | 275 | 450 | 180 | 193 |
| A 602M | C | | 295 | 485 ^a | 194 | 208 |
| A 537M | 1 | $t \leq 65$ $65 < t \leq 100$ | 345 310 | 485 ^a 450 ^b | 194 180 | 208 193 |
| A 537M | 2 | $t \leq 65$ $65 < t \leq 100$ | 415 380 | 550 ^a 510 ^b | 220 206 | 236 221 |
| A 633M | C, D | $t \leq 65$ $65 < t \leq 100$ | 345 315 | 485 ^a 450 ^b | 194 180 | 208 193 |
| A 678M | A | | 345 | 485 ^a | 194 | 208 |
| A 678M | B | | 415 | 550 ^a | 220 | 236 |
| A 737M | H | | 345 | 485 ^a | 194 | 208 |
| A 841M | Class 1 | | 345 | 485 ^a | 194 | 208 |
| A 841M | Class 2 | | 415 | 550 ^a | 220 | 236 |
| CSA Specifications | | | | | | |
| G40.21M | 280W | | 290 | 410 | 164 | 176 |
| G40.21M | 360 WT | | 360 | 410 | 164 | 176 |
| G40.21M | 300W | | 300 | 450 | 180 | 193 |
| G40.21M | 300WT | | 300 | 450 | 180 | 193 |
| G40.21M | 350W | | 350 | 450 | 180 | 193 |
| G40.21M | 350WT | $t \leq 65$ $65 < t \leq 100$ | 350 320 | 480 ^a 480 ^b | 192 192 | 206 206 |
| National Standards | | | | | | |
| | | | 235 | 365 | 137 | 154 |
| | | | 250 | 400 | 137 | 171 |
| | | | 275 | 430 | 167 | 184 |
| ISO Specifications | | | | | | |
| ISO 630 | E 355C, D | $t \leq 16$ $16 < t \leq 40$ | 275 295 | 410 410 | 164 164 | 176 176 |
| | E 355, D | $t \leq 16$ $16 < t \leq 40$ $40 < t \leq 50$ | 355 345 335 | 490 ^a 490 ^a 490 ^a | 196 196 196 | 210 210 210 |
| EN Specifications | | | | | | |
| EN 10025 | S 355J0, J2 | $t \leq 16$ $16 < t \leq 40$ | 275 265 | 410 410 | 164 164 | 176 176 |
| | S 355J0, J2, K2 | $t \leq 16$ $16 < t \leq 40$ $40 < t \leq 50$ | 355 345 335 | 470 ^a 470 ^a 470 ^a | 188 188 188 | 201 201 201 |

TABLA 2. Tabla de esfuerzo máximo para diseño y prueba hidrostática.

Fuente: Norma API ESTÁNDAR 650.

Existen dos métodos utilizados para el cálculo de espesores de las láminas que conforman los diferentes anillos, el primero es el método de punto fijo o un pie que se utiliza cuando el comprador lo solicita o también para tanques cuyo diámetro sea menor a 60m (200ft).[3]

2.2.1.3.1 Método de un punto fijo o de un pie.

Los espesores de las planchas serán calculados mediante el método de un pie o punto fijo.

$$t = \frac{D \cdot H \cdot G}{2 \cdot S_t} + CA \quad \dots \dots \dots 1 [5].$$

$$t = \frac{D \cdot H \cdot G}{2 \cdot S_t} + CA \quad \dots \dots \dots 2 [5]$$

Dónde:

- t : Espesor de diseño de cuerpo en mm
- t : Espesor del cuerpo en prueba hidrostática en mm

- D: Diámetro nominal del tanque ,en m
- H: Nivel de líquido de diseño, en m.
- G: Gravedad específica de diseño del líquido a ser almacenado especificado por el cliente.
- CA :Corrosión admisible en mm
- S_d :Esfuerzo admisible para diseño en MPa
- S_t :Esfuerzo admisible para condición de prueba hidrostática en MPa
- E: Factor de eficiencia de las juntas soldadas cuando se va a realizar radiografía total, radiografía por puntos o sin radiografía cuyos valores son 1,0.85 y 0.70 respectivamente.

2.2.1.3.2 Método de punto variable

Se usara siempre este método a menos de que el comprador no lo requiera y cuando la siguiente relación sea verdadera y la relación sea verdadera.

$$\frac{D}{t} \leq \dots \dots \dots [1]$$

Dónde:

$$= (\dots) \dots \dots [1]$$

- D: Diámetro nominal del tanque, en m.
- t: Espesor del anillo del fondo, calculado por el método de punto fijo en mm.
- H: Nivel del líquido máximo de diseño, en m.

El cálculo se inicia encontrando el espesor de la plancha que conforma el primer anillo con el método de punto fijo para las condiciones de diseño (t_d) y prueba hidrostática (t_t), estas variables son remplazadas por (t_{pd}) y (t_{pt}) respectivamente, y se las compara con los valores calculados en la fórmula 5 y 6 utilizada en el método de punto variable y que son únicamente para encontrar el espesor de la plancha que conforman el primer anillo, esto se realiza de igual forma para las dos condiciones ya mencionadas.[3]

$$= (\dots - \dots \sqrt{ \dots }) (\dots) + \dots \dots \dots [1]$$

$$\dots \dots \dots \sqrt{ \dots } (\dots) + \dots \dots \dots 6 [5]$$

Si los valores de (t_1) y (t_2) son menores a (t_d) y (t_t), estos serán los espesores (t_1) de las láminas que conforman el primer anillo y se continua con el cálculo de los espesores de las láminas que conforman el segundo

anillo como se indica a continuación, caso contrario el espesor de las láminas conforman el primer anillo será los valores calculados por el método de punto fijo.

Para el cálculo de los espesores que conforman el segundo anillo se calcula la siguiente relación.

$$\frac{h_1}{R} \dots \dots \dots 7 [5]$$

Dónde:

h₁: Altura del anillo en mm.

R: Radio nominal del tanque, en mm.

t₁: Espesor de la plancha que forma el primer anillo ya calculado en mm.

Posterior mente se considera tres interacciones, para determinar el espesor del segundo anillo que se describe a continuación:

- Si el valor de la relación resulta de la formula – es menor que o igual a 1.375, entonces el espesor de la lámina que forma el primer y segundo anillo son iguales.

t₂: Espesor de la plancha que forma el segundo anillo, en mm

- Si el valor de la relación de la fórmula 9 es mayor que o igual a 2.625, entonces el espesor de la lámina que forma el segundo anillo es iguala a t_{2a} que es el valor de la tercera iteración del siguiente procedimiento:

Como la ecuaciones del método del punto fijo ya sea para la condición de diseño o prueba hidrostática y tomando en cuenta que la nueva altura a utilizarse es la altura del tanque menos la altura del primer anillo se calcula un

espesor (t), esto nos sirve para encontrar el siguiente factor k.

$$k = \frac{1}{1 + \frac{1.414}{t}} \quad [5]$$

De donde (t) es el espesor de la plancha que conforma el primer anillo ya calculado, luego de calcula un factor C de la siguiente manera.

$$C = \frac{1}{1 + \frac{1.414}{t}} \quad [6]$$

Calculamos estos dos factores, procedemos a calcular las distancias x del punto de diseño variable, que debe ser calculado desde el fondo del anillo.

$$x = \frac{1}{C} \left(\frac{1}{1 + \frac{1.414}{t}} \right) \quad \dots \dots \dots [12]$$

Con el valor de (x1, x2 y x3), lo remplazamos en la siguiente ecuación ya sea que se utilice la condición de diseño (tdx) o de prueba hidrostática (tx)

$$t = \frac{1}{C} \left(\frac{1}{1 + \frac{1.414}{t}} \right) \quad [13]$$

2.2.1.3.3 Calculo de estructura del tanque A)

Calculo del espesor del techo tipo domo.

El Angulo de inclinación del techo no debe ser menor a 9.28° ni mayor de 37°, por esta razón se utilizara un ángulo de 22°.

$$D = \dots \dots \dots [14]$$

D: diámetro en pulgadas

B) Calculo del área de la sección del ángulo de soporte exterior

= 15 [4]

D: diámetro del tanque en pulgadas

C) Angulo a tope

Para el cálculo de los ángulos de tope para techo cónico, hay que tomar en cuenta un porcentaje de las áreas transversales entre las láminas del techo, el último anillo del cuerpo del tanque y toda el área del Angulo tope, a esta área se le conoce como el área de compresión de la unión cuerpo-techo. [3]

En la siguiente figura se describe los componentes de un área de compresión.

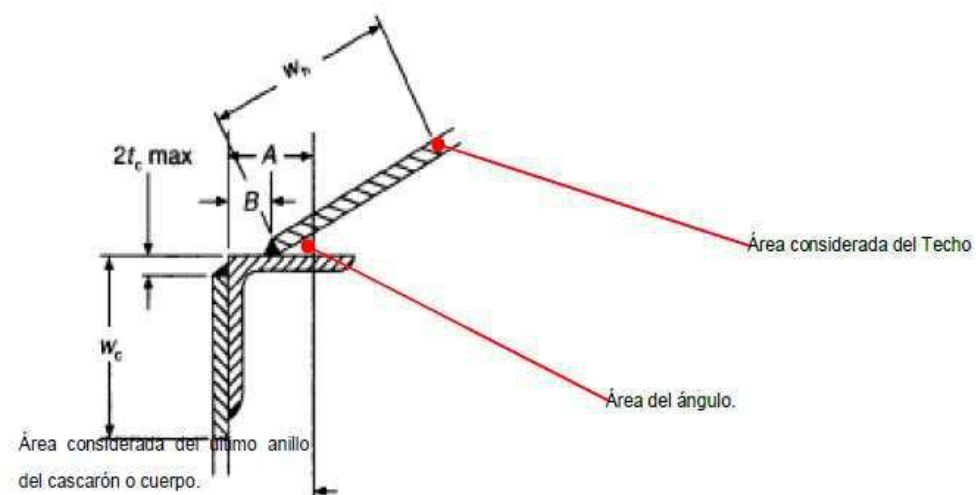


Figura 2. Junta techo- Angulo.

Fuente: Danilo Xavier Cabezas Gualotuño, David Eduardo Ramos Murillo (2010), Norma API 650-Ecuador

A: Distancia desde el filo del anillo hasta el eje neutral del Angulo.

B: Distancia desde el filo del anillo hasta el tope de la lámina del techo.

Wc: Máxima longitud considerada del cuerpo, se calcula con [3]

Rc: Radio interior del tanque (radio nominal del tanque espesor del último anillo)

Ts: Espesor del ultimo anillo + placa de refuerzo, caso contrario $t_s = t_c$, t_c espesor del ultimo anillo.

Wh: Máxima longitud considerada del techo, se calcula con [3]

R2: $RC/\text{sen}\theta$ donde θ es la pendiente del techo .R2 es distancia perpendicular al techo hasta el eje neutral.

Th: Espesor de las planchas del techo.

| DIÁMETRO DEL TANQUE (PIES) | ÁNGULO RECOMENDADO (PULG) | SECOLUMNA CENTRALIÓN (PULG) ² |
|----------------------------|---------------------------|--|
| D ≤ 35 | 2 x 2 x 3/16 | 0.751 |
| 35 < D ≤ 60 | 2 x 2 x ¼ | 0.938 |
| D > 60 | 3 x 3 x 3/8 | 2.11 |

Tabla 3. Ángulos de acuerdo al diámetro del tanque,

Fuente: Danilo Xavier Cabezas Gualotuño, David Eduardo Ramos Murillo (2010).

D) Selección de accesorios de un tanque

Un tanque de almacenamiento no solo necesita de paredes, piso, techo, y estructura para el techo, sino también de elementos más pequeños que a pesar de ser de menor valor con relación a otras partes, pero que son de gran importancia ya que los mismos ayudan a tener la funcionalidad completa y permite el mantenimiento del

tanque, las mismas que dan lugar al llenado y vaciado del mismo del contenido del tanque ,a través de boquillas en la que se unen las diferentes líneas de combustible, control de la presión interna a través de las boquillas para válvulas de venteo, se coloca MANHOLS en el cuerpo y techo del tanque para la inspección visual en el interior del tanque para detectar averías, el ingreso de equipos y herramientas para dar mantenimiento los accesos de limpieza o compuerta de sedimentos, desalojo de agua, lodos que se precipitan en el interior de un tanque lleno con el uso de los sumideros, gradas y pasamanos para permitir el fácil acceso al techo.[3]

La colocación de todo estos accesorios ,involucran la presencia de placas o láminas de refuerzo que ayudan a protección de las paredes del tanque y láminas de techo, ya que en estas superficies se debe realizar aberturas que ocasionan concentradores de esfuerzos y que reducen la resistencia de estos elementos, que a su vez sujetan tuberías y otras cargas externas, estas placas de refuerzo cubre ciertas áreas y rodea el agujero que se ha realizado en la superficie de las láminas del cuerpo y techo, tiene un espesor mínimo igual al espesor de las planchas en donde se realizó la abertura, tal como se observa en la figura 3.[3]



Figura 3 a) accesorio de tanque tipo diamante **b)** placa tipo circular.

Fuente: Danilo Xavier Cabezas Gualotuño, David Eduardo Ramos Murillo (2010).

Estos elementos se conectan con otros elementos como puede ser láminas de entrada y salida de combustible, válvulas de venteo que son sujetadas y aseguradas con bridas de sujeción o dependiendo del accesorio lo aseguramos como tapas como sucede en el caso de MANHOLS y acceso de limpieza.

La norma API 650 en la sección 5.7.1 hasta 5.7.4 indica las condiciones que deben tener la abertura en el cuerpo o techo del tanque ,así como las recomendaciones para la colocación de las placas de refuerzo ,soldadura tratamientos térmicos si lo necesitan, el espaciado de las uniones soldadas alrededor de las conexiones se indican en la figuras siguientes.[3]

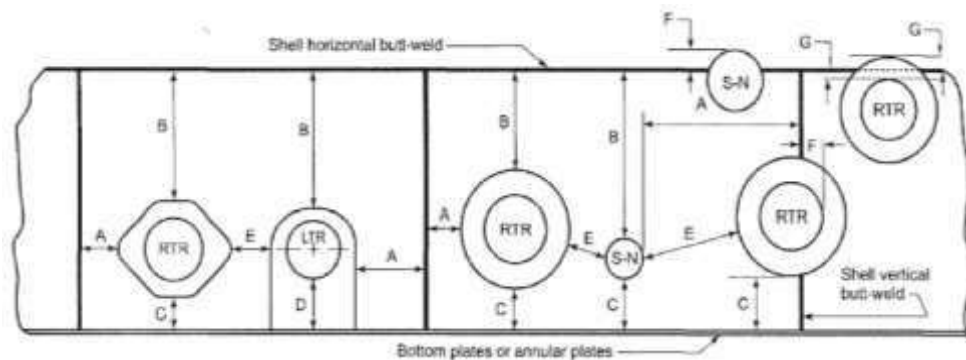


Figura 4. Distancias de aberturas.

Fuente: Norma API ESTÁNDAR 650

R-MN/H: abertura reforzada

LTR-N: abertura reforzada baja a nivel del piso

R-N: abertura reforzada

S.N: abertura no reforzada.

| VARIABLES | | MINIMA ESPACIADO ENTRE UNIONES REQUERIDAS PARA ABERTURAS EN EL CUERPO DEL TANQUE | | | | | | |
|------------------------|-----------|--|-----------------------|--|------------------------|-----------------------|-----------|-----|
| Espesor Anillo t | Condición | A | B | C | D | E | F | G |
| t ≤ 12.5 mm (t ≤ ½ in) | Soldada | 150 mm (6 in) | 75mm (3 in) | 75mm (3 in) o 2 1/2 t | Tabla 5-6 del API 650. | 75mm (3 in) o 2 1/2 t | 8 t o ½ r | 8 t |
| | Empernada | | 2 1/2 t | 75mm (3 in) para S-N | | | | |
| t ≥ 12.5 mm (t ≥ ½ in) | Soldada | 8 W o 250 mm (10 in) | 8 W o 250 mm (10 in) | 8 W o 250 mm (10 in) o 75mm(3 in) para S-N | Tabla 5-6 del API 650. | 8 W o 150 mm (6 in) | 8 t o ½ r | 8 t |
| | Empernada | 150 mm (6 in) | 75mm (3 in) o 2 1/2 t | 75mm(3 in) o 2 1/2 t para S-N | Tabla 5-6 del API 650. | 75mm (3 in) o 2 1/2 t | 8 t o ½ r | 8 t |

Tabla 4. Distancia de separación de los accesorios.

Fuente: Norma API ESTÁNDAR 650.

Notas:

- ✓ Si dos requerimientos son dados, el mínimo espacio es el mayor valor, excepción de la dimensión F.
- ✓ t = Espesor del anillo primer anillo, 8W= 8 veces más grande del tamaño de soldadura de la placa de refuerzo insertada en la periferia de la placa soldada (soldadura de filete o soldadura a tope)
- ✓ D = Distancia establecida para la mínima elevación para placas de refuerzo del Tipo Baja, ver Tabla 5.6 columna 9 del API 650.
- ✓ El Cliente tiene la opción de permitir aberturas de anillos localizadas en las soldaduras a tope horizontal o vertical de los anillos.
- ✓ t = Espesor de la placa de anillos, r= radio de abertura. Mínimo espacio para dimensión F es la establecida 8t o ½ r

Los principales accesorios para una función óptima del tanque se los puede clasificar en los siguientes:

- **MANHOLE del Cuerpo.-** para inspección y acceso del personal.
- **MANHOLE del Techo.-** para inspección y acceso del personal.
- **Boquillas de Entrada.-** accesorio por donde ingresa el líquido a almacenarse.
- **Boquillas de Salida.-** accesorio por donde sale el líquido a refinarse o a venderse como un derivado de petróleo.
- **Puertas de limpieza a nivel (lápidas).-** accesorio por donde se realiza la extracción de sustancias residuales (residuo de petróleo sólido), y cualquier suciedad, escoria, o basura.
- **Sumidero o Tina de lodos** - Accesorio por donde se vaciará, los residuos de agua y/o el residuo de petróleo que no puede ser desalojado. Se encuentra abajo el nivel del fondo del tanque.
- **Plataformas, pasadizo, escalinatas.-** accesorios que permiten subir hasta el techo del tanque para realizar inspección [3]

E) MANHOLE para el cuerpo.

Los MANHOLES son accesorios que ayudan al venteo del tanque, el ingreso del personal para realizar inspección, mantenimiento, se puede realizar por medio del MANHOLE del cuerpo o del techo, el estándar API 650. Tiene tablas específicas que ayudan a la selección de las dimensiones y selección de estos accesorios y sus componentes, las partes y características de un MANHOLE se observan en la siguiente. [3]

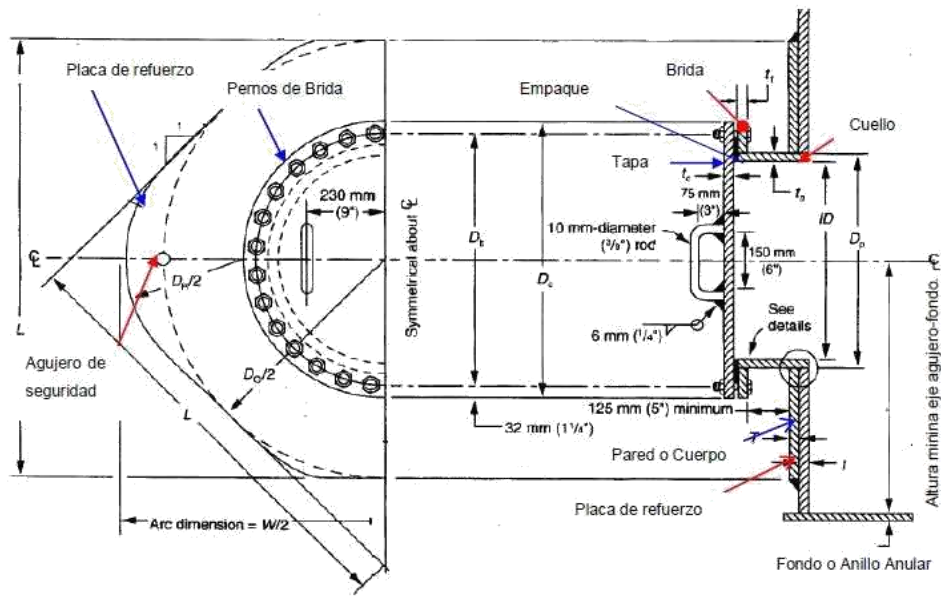


Figura 5. MANHOL del cuerpo del tanque.

Fuente: Norma API ESTÁNDAR 650.

Partes del MANHOLE:

- Abertura de MANHOLE
- Cuello de MANHOLE
- Brida de MANHOLE
- Placa de refuerzo
- Empaque
- Agujero de seguridad
- Tapa de MANHOLE
- Pernos de Brida

Notas:

- D_p o OD = Diámetro exterior del boquilla o del cuello.
- ID = Diámetro del MANHOLE
- D_c = Diámetro de la tapa del MANHOLE
- D_b = Diámetro del eje de los agujeros para los espárragos
- D_o = Diámetro exterior de la placa de refuerzo
- DR = Diámetro Interior de la placa de refuerzo

- t_f = Espesor de la brida
- t_c = Espesor de la tapa del MANHOLE
- t_n = Espesor del cuello (neck)
- t_n = Espesor de boquilla (nozzle)
- t = Espesor del anillo del cuerpo del tanque
- T = Espesor de la placa de refuerzo
- W = Ancho de la placa de refuerzo

2.2.1.3.4 Características de la soldadura a utilizar en tanque API 650.

En la **SECCIÓN 5** de la **NORMA API 650** en **5.1.2** especifica el tamaño de una soldadura de ranura (bisel) debe estar basado en la penetración de la junta (profundidad del bisel más profundidad de penetración en la raíz).no se debe considerar el tamaño del refuerzo de la soldadura a cada lado de la junta como parte de la soldadura en juntas de ranura.

En la 5.1.3.3 de la NORMA API 650 hace referencia al tamaño mínimo de la soldadura de filete debe ser como sigue:

- Para láminas de 5 mm (3/16in) de espesor: la soldadura debe ser un filete completo.
- Para laminas mayores a 5 mm (3/16 in) de espesor: el espesor de la soldadura deberá ser no menor que un tercio del espesor de la parte más delgada en la junta y deberá ser menos 5mm (1/16 in)

La 5.1.3.6.1 del código API 650 detalla para soldaduras de láminas del fondo y techo para todos los materiales del **grupo I, II, III y IIIA** aplican los siguientes requerimientos para el tamaño de la soldadura:

- a) Para procesos de soldadura manual, los lados de los filetes de soldadura o las profundidades de las

ranuras más grandes que 6mm (14 in) deberán ser multipases, a menos que sea especificado de otra manera en la hoja de datos, línea 15.

- b)** Para procesos de soldadura semiautomáticos y automáticos, con la excepción para soldaduras con electro- gas en, **7.2.3.4**, los lados de la soldadura de filete o las profundidades de las ranuras más grandes que 10 mm (3.8 in) deberán ser multipases a menos que sea especificado de otra manera en la hoja de datos.

Las juntas verticales del cuerpo en la parte **5.1.5.2 de la norma API 650**, las soldaduras deben ser a tope completa penetración completa fusión, como los obtenidos por ambos lados o por procedimiento de soldadura que produzcan la misma calidad de metal depositado por ambos lados de la junta.

Las juntas verticales en anillos adyacentes no deben quedar alineadas y deben tener un desfase entre ellas de mínimo $5t$, donde t es el espesor de la lámina del anillo más grueso en el punto de desfase.

En la **5.1.5.3 de la norma API 650** específica sobre juntas horizontales del cuerpo.

- a)** Las soldaduras horizontales del cuerpo deben tener completa penetración y completa fusión; sin embargo, como una alternativa, los ángulos superiores pueden ser puestos en el cuerpo con juntas traslapadas soldadas por ambos lados.
- b)** A menos que se especifique otra cosa, las juntas a tope horizontales del cuerpo deben tener un eje vertical común.

2.2.1.3.4.1 El punto 5.1.5.5 junta a tope del fondo.

Cuando se usan deben tener el bisel cuadrado o en V. Los detalles son los mismos que los usados para las juntas verticales .se puede usar una platina de respaldo de al menos 3 mm (1/8 in) de espesor y si tienes bisel cuadrado la luz de la raíz debe ser de mínimo 6 mm. Las juntas de unión de tres láminas deberán estar almenas a una distancia de 300 mm de cualquiera otra y del cuerpo del tanque.

En la parte **5.1.5.7 de la norma API 650** específica soldadura de filete de la junta cuerpo – fondo.

Para laminas del fondo y del anillo del fondo con espesores nominales de hasta 13 mm la unión entre bordes del anillo inferior del cuerpo y la lámina del fondo debe ser un filete de soldadura continua a cada lado de la lámina del cuerpo el tamaño de cada filete de soldadura no debe ser más de 13 mm y no debe ser menos que el espesor nominal de la lámina más delgada (cuerpo fondo) o los espesores mostrado en tabla:

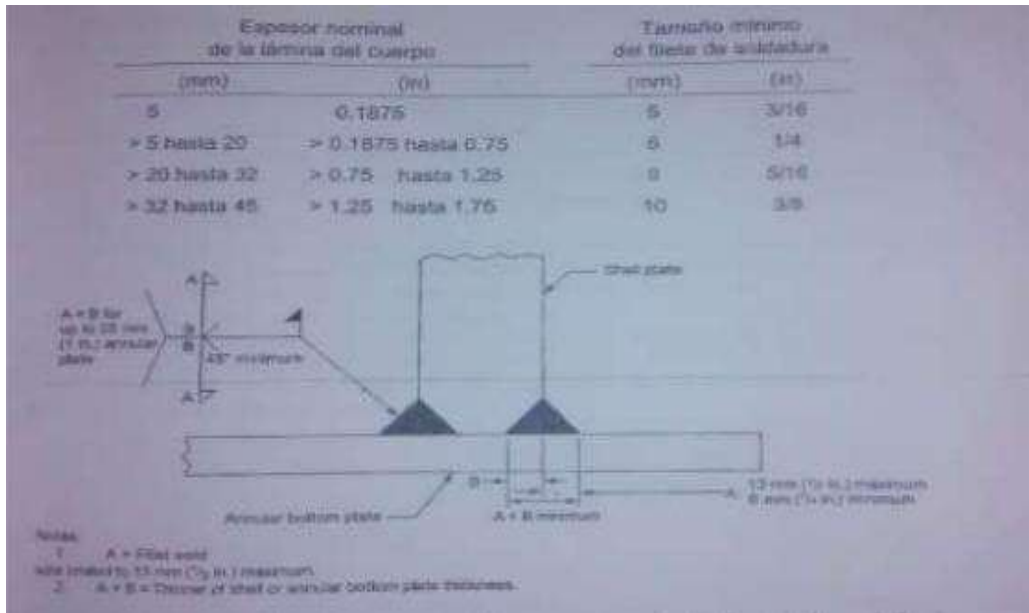


Tabla 5. Soldadura de filete de la junta cuerpo – fondo. **Fuente:** Norma API ESTÁNDAR 650.

2.2.2 Corrosión en las estructuras metálicas

2.2.2.1 ¿Qué es la 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 6, a través de estos procesos, se va transformando aquel compuesto natural en piezas metálicas que conformarán equipos; cada uno de éstos 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. [14]

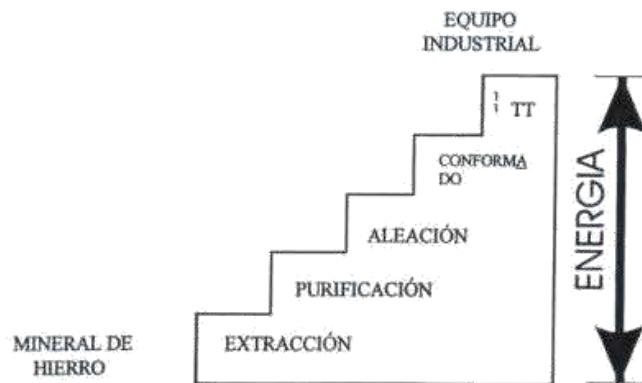


Figura 6. Procesos para transformar en acero con propiedades deseadas.

Fuente: Ing. Jorge H. Goldin. S., Inspector de Oleoductos 2002, Pág. 1.

Ésta mayor carga energética hace que el metal resultado de éste proceso sea mucho más inestable que el compuesto original, y como consecuencia éste tienda 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: Corrosión = deterioro de un material por acción del medio.

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

2.2.2.2 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 de mar, medio industrial, etc. Es posible identificar varios de los componentes del proceso corrosivo. La figura 7 nos

muestra un tramo de tubería enterrada en el cual se han señalado éstos componentes.

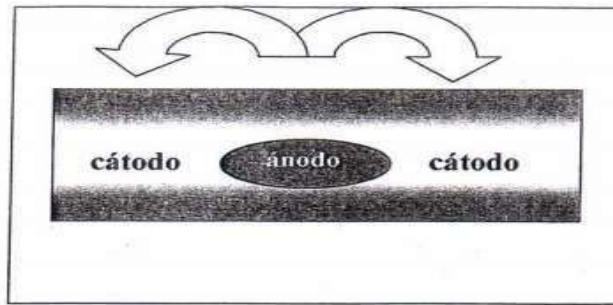


Figura 7. Componentes del proceso corrosivo.

Fuente: Ing. Jorge H. Goldin. S., Inspector de Oleoductos 2002, Pág. 3.

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.

2.2.2.3 Discontinuidades en el metal

En la figura 8 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 bimetálico 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. [14]

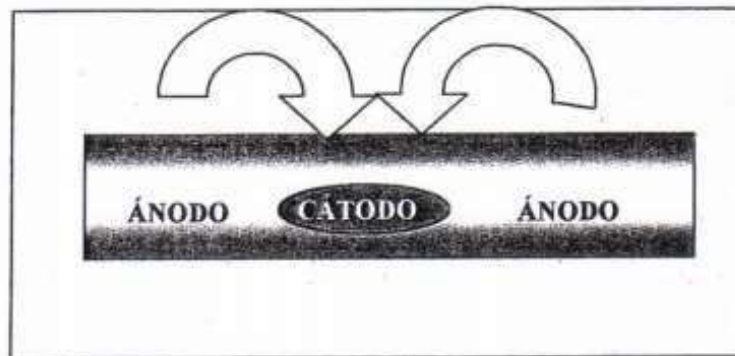


Figura 8. Oxido proceso de aceleración de la corrosión.

Fuente: Ing. Jorge H. Goldin. S., Inspector de Oleoductos 2002, Pág.6.

2.2.2.4 Discontinuidades en el medio corrosivo

La figura 9 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 la causa es una discontinuidad en el medio corrosivo.

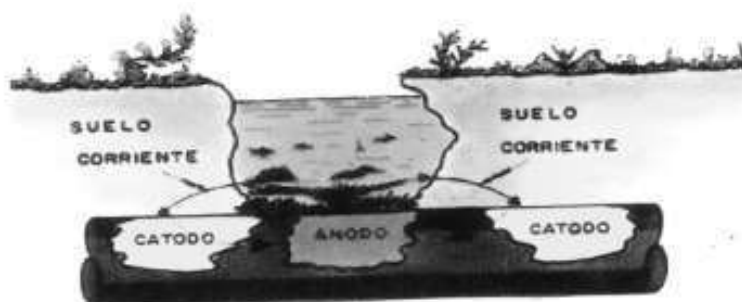


Figura 9. Presencia de suelo húmedo frente a un metal.

Fuente: Ing. Jorge H. Goldin. S., Inspector de Oleoductos 2002, Pág.7.

2.2.2.5 Tipos de corrosión

2.2.2.5.1 Corrosión uniforme

En este tipo de corrosión el metal se disuelve uniformemente en toda su superficie. La estructura pierde una capa de metal cuyo espesor estará determinado, por la velocidad con que se produce el ataque y el tiempo de exposición al medio agresivo. Ésta es una forma bastante rara de corrosión y con frecuencia lo que parece una corrosión uniforme en realidad se inicia como un ataque localizado en ciertos puntos o áreas de la superficie, una vez oxidado, estos sitios se convierten en catódicos invirtiéndose el fenómeno y así el proceso continúa hasta alcanzar un aspecto uniforme.

Algunas normas de construcción de recipientes metálicos establecen lo que se conoce como “corrosión allowance”, o corrosión permitida que no es otra. Cosa que un espesor adicional de pared metálica que se coloca para que la corrosión consuma durante un tiempo determinado y mientras tanto la estructura pueda seguir en operación porque la pared tiene espesor suficiente para resistir la condiciones de esfuerzo mecánico. Este criterio parte de dos premisas: la corrosión es uniforme y no podemos hacer nada para evitar que ocurra. Los casos reales en que ambas condiciones se cumplen son muy pocos.

2.2.2.5.2 Corrosión localizada

Esta es una forma mucho más peligrosa de la corrosión porque ataca un área pequeña y el ataque avanza en profundidad pudiendo llegar a perforar completamente la pared de la estructura. Podemos diferenciar dos tipos característicos de corrosión localizada:

2.2.2.5.3 Picadura “pitting”

En la figura 10 se muestra como el ataque se manifiesta de orificio. Puede presentarse en cualquier parte de la estructura.

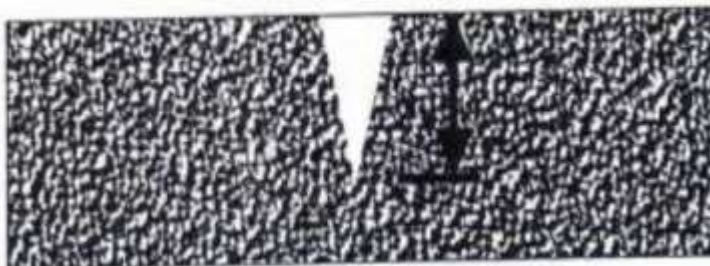
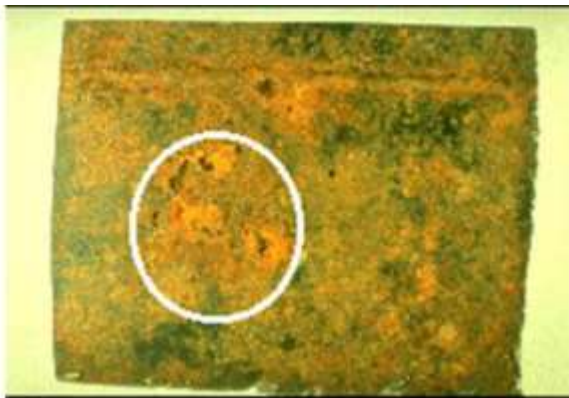


Figura 10. Es una picadura profunda pero de diámetro pequeño. **Fuente:** Ing. Jorge H. Goldin. S., Inspector de Oleoductos 2002, Pág.10.

2.2.2.5.4 Corrosión en grietas “crevice”

En la figura 11 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. [14]

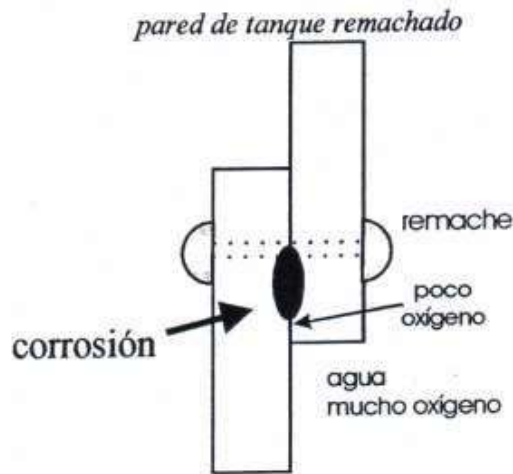


Figura 11. Corrosión de grieta.

Fuente: Ing. Jorge H. Goldin. S., Inspector de Oleoductos 2002, Pág. 11.

La corrosión localizada afecta principalmente a las aleaciones que se "pasivan", esto es, que por acción de un medio oxidante se recubren de una capa de óxido que las protege de ataques posteriores. En esta categoría entran los aceros inoxidable (capa de óxido de cromo) y las aleaciones de aluminio (capa de óxido de aluminio). Cuando una de estas aleaciones pasivadas se expone a un medio que contiene cloruros por ejemplo agua de mar, que son destructores de la capa pasiva, el tipo de ataque que se produce es por picadura o ataque localizado.



Figura 12. Daños por picaduras localizados.

Fuente: Álvaro Moreano Altamirano- GUAYAQUIL – ECUADOR.

2.2.2.6 Tipos de corrosión según sus causas

La corrosión es un fenómeno muy complejo, cuya verdaderas causas y formas de actuar no se ha aclarado por completo.

Actualmente, sin embargo, se admite que la corrosión se produce por dos clases de acciones fundamentales:

- Acción electroquímica.
- Acción exclusivamente química.

2.2.2.6.1 Corrosión por acción electroquímica

Es la que tiene lugar sobre los metales expuestos a la atmosfera húmeda, o sumergido en agua, o enterrado. Este tipo de corrosión se refiere, principalmente, a los

casos en que el metal es atacado por agente corrosivo en presencia de un electrolito. Esta clase de corrosión puede producirse sin fuerza electromotriz exterior, constituyendo la corrosión galvánica por la acción además, de una fuerza electromotriz exterior, constituyendo la corrosión electroquímica, propiamente dicha. [6]

2.2.2.6.2 La corrosión química

Es la producida por los ácidos y álcalis, y tiene interés para la construcción de aparatos resistentes a la corrosión de los productos químicos que intervienen en el proceso de fabricación. [6]

2.2.2.7 Factores que influyen en la corrosión

Los principales factores que influyen que se deben considerar en el estudio de la protección contra la oxidación y la corrosión son los siguientes:

- a) Clase y estado del metal:** evidentemente hay que tener en cuenta, en primer lugar, la clase del metal y el estado en que se encuentra. Para esto hay que conocer su composición química, su constitución, estructura, impurezas que contiene, procedimientos de elaboración, tratamientos térmicos a que ha sido sometido, tratamientos mecánicos.[6]
- b) Estado de la pieza:** destaca el estado de la superficie (los surcos mecanizados, rayas, grietas, orificios, etc, favorecen la corrosión) su radio de curvatura y orientación con relación a la vertical, naturaleza de las piezas en contacto y esfuerzos a que está sometida (los de tracción favorecen).[6]
- c) Medio en que se encuentra:** el ataque al metal partirá del medio en que se encuentra, y, por tanto, cuanto mejor lo conozcamos más fácilmente será proveer la clase de corrosión que se puede producir y los medios de evitarla.

sobre el medio conviene conocer su naturaleza química ,sus concentración ,el porcentaje de oxígeno disuelto ,el índice de acides(ph),presión ,temperatura.[6]

2.2.3 Protección catódica

Es un método de reducir la corrosión de un metal haciendo que este funcione como cátodo, cuando se encuentra en contacto con algún agente electrolito.

- **Ánodo.**

Es aquella porción de la superficie del metal que se está corroyendo. Es el lugar donde el metal se disuelve y pasa a la solución; al momento de ocurrir esto es porque los átomos metálicos pierden electrones y pasan a la solución como iones. Los átomos contienen la misma cantidad de protones y electrones y al ocurrir una pérdida de electrones ocurre un exceso de carga positiva lo que resulta un ión positivo. [10]

- **Cátodo.**

Es la cantidad de superficie metálica que no se disuelve y es el sitio de otra reacción química necesaria para que ocurra el proceso de corrosión. Los electrones que se liberan al dividir el metal en el ánodo viajan hasta la zona catódica en donde se consumen por la reacción de un agente oxidante presente en el agua. El consumo de electrones se llama reacción de reducción.[10]

- **Electrolito.**

Para que se complete el circuito eléctrico la superficie metálica, tanto como el cátodo como el ánodo, deben estar cubiertas por una solución conductora de electricidad, es decir, de electrolito. El electrolito conduce la corriente del ánodo al cátodo y luego vuelve al ánodo a través del metal, completando el circuito.[10]

La combinación de estos tres componentes es conocido como celdas de corrosión.

- **PH.**

La velocidad de corrosión del acero aumenta a medida que disminuye el ph, el cual al ser muy altos suele ser muy corrosivo. La velocidad de corrosión con el ph está influenciada por la composición del electrolito. Al aumentar la concentración del ión hidrógeno es más ácida la solución y es menor el valor de ph. La magnitud de ph nos indica la intensidad de acidez o alcalinidad del medio. Esta magnitud se indica por medio de una escala la cual la número siete indica que la solución con ph es neutra; los numerosa menores de siete indican que es ácida y los mayores alcalinidad. [10]

2.2.3.1 Existen dos tipos de protección catódica

a) Ánodo de sacrificio.

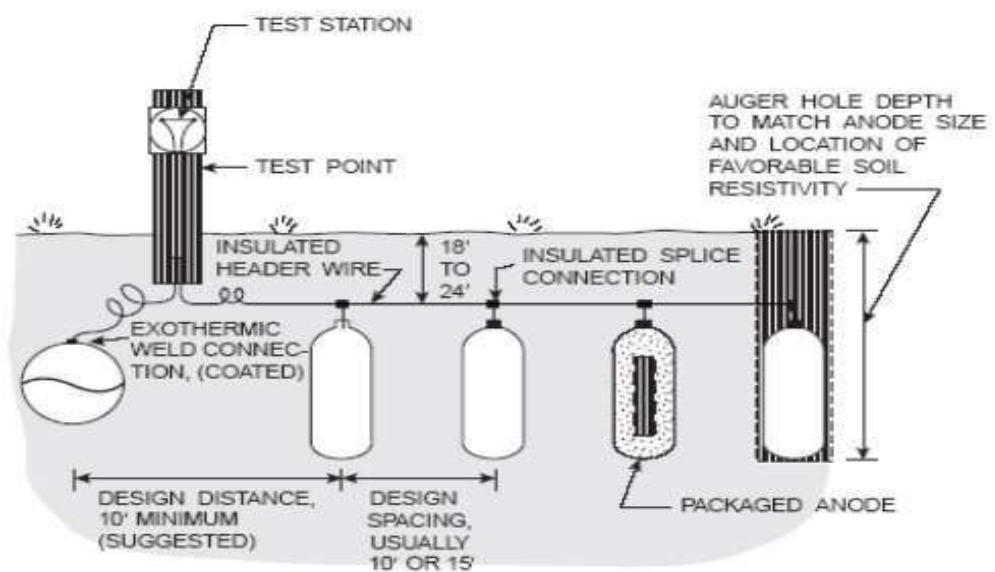


Figura 13. Protección catódica con ánodos de sacrificio.

Fuente: Ing. Juan Carlos Pachón NACE (Certified Cathodic Protection Specialist).

b) Corriente impresa.

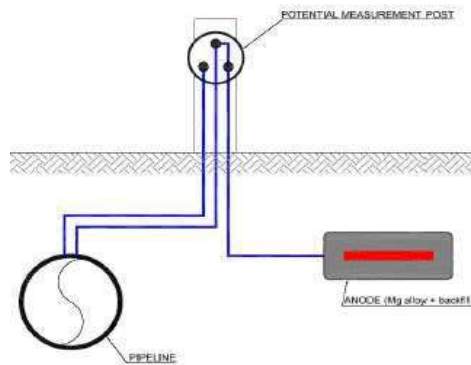


Figura 14. Protección catódica por corriente impresa.

Fuente: Ing. Juan Carlos Pachón NACE (Certified Cathodic Protection Specialist).

2.2.3.2 Inmediaciones del cátodo

Los electrones (e^-) acumulados en exceso, se combinan con los iones H^+ para formar hidrógeno atómico que pasa a molecular, en forma de gas, que se deposita en la superficie del cátodo, para terminar desprendiéndose. Esta desaparición de iones H^+ , creará una concentración de hidroxilos (OH^-) que alcalinizará el electrolito en contacto con el cátodo. Las pilas que se forman sobre la superficie del metal, tendrán un determinado potencial, que será diferente para cada metal y en cada electrolito (agua dulce, agua de mar, tierra, etc.). Midiendo el potencial, respecto al electrodo patrón de hidrógeno (de potencial 0), de los distintos metales sumergidos en agua destilada, se obtiene la serie electroquímica de los metales (Tabla 6). Las causas por las que se forman las pilas de corrosión son diversas: impurezas acumuladas en la superficie metálica, contactos entre distintos metales, presencia de oxígeno, distintas concentraciones salinas, etc. La corrosión de un metal puede verse frenada por un proceso natural llamado POLARIZACIÓN. La deposición de productos de corrosión sobre la superficie anódica, acumulación de gases en el ánodo y de hidrógeno en el cátodo,

concentración de iones, etc. son procesos naturales de polarización que frenan el proceso de corrosión. [8]

| TENDENCIA ELECTROQUÍMICA DE LOS METALES | | | | |
|---|-------------------------------|---|-----------------|---------|
| K | K ⁺ | + | e ⁻ | -2,92 |
| Ca | Ca ⁺⁺ | + | 2e ⁻ | -2,87 |
| Na | Na ⁺ | + | e ⁻ | -2,71 |
| Mg | Mg ⁺⁺ | + | 2e ⁻ | -2,34 |
| Be | Be ⁺⁺ | + | 2e ⁻ | -1,70 |
| Al | Al ⁺⁺⁺ | + | 3e ⁻ | -1,67 |
| Mn | Mn ⁺⁺ | + | 2e ⁻ | -1,05 |
| Zn | Zn ⁺⁺ | + | 2e ⁻ | -0,76 |
| Cr | Cr ⁺⁺⁺ | + | 3e ⁻ | -0,71 |
| Ga | Ga ⁺⁺⁺ | + | 3e ⁻ | -0,52 |
| Fe | Fe ⁺⁺ | + | 2e ⁻ | -0,44 |
| Cd | Cd ⁺⁺ | + | 2e ⁻ | -0,40 |
| In | In ⁺⁺⁺ | + | 3e ⁻ | -0,34 |
| Ti | Ti ⁺ | + | e ⁻ | -0,34 |
| Co | Co ⁺⁺ | + | 2e ⁻ | -0,28 |
| Ni | Ni ⁺⁺ | + | 2e ⁻ | -0,25 |
| Sn | Sn ⁺⁺ | + | 2e ⁻ | -0,14 |
| Pb | Pb ⁺⁺ | + | 2e ⁻ | -0,13 |
| H ₂ | 2H ⁺ | + | 2e ⁻ | -0,00 |
| Cu | Cu ⁺⁺ | + | 2e ⁻ | 0,34 |
| Cu | Cu ⁺ | + | e ⁻ | 0,52 |
| 2Hg | Hg ₂ ⁺⁺ | + | 2e ⁻ | 0,80 |
| Ag | Ag ⁺ | + | e ⁻ | 0,80 |
| Pd | Pd ⁺⁺ | + | 2e ⁻ | 0,83 |
| Hg | Hg ⁺⁺ | + | 2e ⁻ | 0,85 |
| Pt | Pt ⁺⁺ | + | 2e ⁻ | ca 1,20 |
| Au | Au ⁺⁺⁺ | + | 3e ⁻ | 1,42 |
| Au | Au ⁺ | + | e ⁻ | 1,68 |

Tabla 6. Tendencia electroquímica de los metales.

Fuente: sistema de protección catódica - ARGO S.A.

2.2.3.3 Elección del sistema

Cualquiera de los dos sistemas, ánodos de sacrificio y corriente impresa, son perfectamente válidos y si están correctamente diseñados e instalados funcionarán satisfactoriamente. La elección del más adecuado dependerá de numerosas consideraciones, siendo la económica la más importante. La protección de una pequeña estructura, es más económica mediante ánodos de sacrificio que con corriente impresa. La disponibilidad de corriente eléctrica, es un factor determinante a la hora de la elección del sistema. De las tres clases de ánodos de sacrificio, de una forma muy general, los de aluminio y zinc, se emplean para la protección de estructuras submarinas y los de zinc y magnesio para protección de estructuras enterradas. Más adelante se ampliará esta clasificación. [11]

2.2.3.4 Cálculo de la corriente necesaria

La intensidad de la corriente de protección se calcularía según la fórmula (19), en la cual es la densidad de corriente, superficie externa del tanque a proteger y es resistividad del suelo, se calculará conociendo sus dimensiones.

$$\dots \dots \dots 19 [11]$$

Conocida la intensidad de la corriente de protección I , ya podremos decidirnos por el sistema a emplear, ánodos de sacrificio o corriente impresa. Si la necesidad de corriente es grande, deberemos optar por corriente impresa; si necesitáramos pequeñas intensidades, la resistividad del medio impondría el sistema, en suelos de alta resistividad, seguiría siendo el de corriente impresa, pero en medios de baja resistividad, podríamos elegir ánodos de sacrificio. [11]

| Medio | Resistividad $\Omega \times \text{cm}$ | Densidad de Corriente en mA/m ² | | | | |
|---------------------------------|---|--|---------------------------------------|----------------------------------|--|-------|
| | | Acero desnudo | Recubrimiento brea epoxi 300 μ | Recubrimiento bituminoso 3 mm | Recubrimiento polietileno extruido o cinta | |
| | | | | | Nuevo | Viejo |
| Agua de mar fuertemente aireada | 25 | 250 | 50 | | | |
| Agua de mar | 25 | 100 | 20 | | | |
| Fondo de mar | 100 | 30 | 6 | | | |
| Suelo muy agresivo y húmedo | 100 | 30 | - | 1 | 0,02 | 0,1 |
| Suelo agresivo | 1.000 | 20 | - | 0,4 | 0,01 | 0,1 |
| Suelo moderadamente agresivo | 5.000 | 10 | - | 0,1 | 0,01 | 0,05 |
| Suelo menos agresivo | 10.000 | 5 | - | 0,1 | 0,01 | 0,05 |
| Acero en hormigón | - | 0,5 a 15 | - | - | - | - |

Tabla 7. Densidades de corriente para protección catódica de acero.

Fuente: sistema de protección catódica - ARGO S.A.

a) Ánodo de sacrificio

Al unir eléctricamente dos metales de distintos potenciales electroquímicas, estando ambos en el mismo electrolito (tierra, agua de mar, agua dulce, etc.) se establecerá entre ellos, una pila galvánica en la que el metal más electronegativo (ánodo)

cederá electrones al más electropositivo (cátodo), protegiéndose este a expensas de la corrosión del primero.

En la serie electroquímica de los metales, vemos que el hierro y el acero podrán ser protegidos conectados a piezas de aluminio, zinc y magnesio, cuyas piezas se denomina ANODO DE SACRIFICIO ya que se irán disolviendo a expensas de suministrar la corriente necesaria, para mantener al acero en estado de inmunidad. [8]

2.2.3.5 Comparación de los sistemas

Ánodos galvánicos

1. No requiere potencia externa.
2. Voltaje de aplicación fijo.
3. Amperaje limitado
4. Aplicable en casos de requerimiento de corriente pequeña, económico hasta 5 amperios.
5. Útil a baja resistividad.
6. La interferencia con estructuras enterradas es prácticamente nula.
7. Solo se los utiliza hasta un valor límite de resistividad eléctrica hasta 5000 ohm –cm
8. Mantenimiento simple. [15]

Corriente impresa

1. Requiere potencia
2. Voltaje de aplicación variable.
3. Amperaje variable.
4. Útil en diseño de cualquier requerimiento de corriente sobre 5 amperios.
5. Aplicable en cualquier medio
6. Es necesario analizar la posibilidad de interferencia.
7. Sirve para áreas grandes.
8. Mantenimiento no simple.

9. Resistividad eléctrica ilimitada.
10. Costo alto de instalación. [15]

2.2.3.6 Ánodos galvánicos

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

Magnesio: los ánodos de magnesio tienen un alto potencial con respecto al hierro y están libres de pasvación. Están diseñados para obtener el mínimo rendimiento posible, en su funcionamiento catódico.

Los ánodos de magnesio son apropiados para oleoductos, pozas, tanques de almacenamiento de agua, incluso para cualquier estructura que requiere protección catódica temporal.

Se utiliza en estructuras metálicas enterradas en suelos de baja resistividad hasta 3000 ohm-cm.

Zinc: para estructura metálicas inmersas en agua de mar o en suelo con resistividad eléctrica de hasta 1000 ohm-cm.

[15]

2.2.3.6.1 Las propiedades que debe reunir un material anódico son las siguientes:

- 1) Debe tener un potencial de disolución lo suficientemente negativo como para polarizar la estructura de acero (que es el metal que normalmente se protege) a -0.80 V. Sin embargo, el potencial no debe ser excesivamente negativo ya que eso motivaría un gasto innecesario de corriente. El potencial práctico de disolución puede estar comprendido entre - 0.95 V y - 1.7 V.

- 2) Cuando el metal actúe como ánodo debe presentar una tendencia pequeña a la polarización, no debe desarrollar películas pasivantes protectoras y debe tener un elevado sobre potencial para la formación de hidrógeno.
- 3) El metal debe tener un elevado rendimiento eléctrico, expresado en amperes-hora por kg. De material (Ah/kg.) lo que constituye su capacidad de drenaje de corriente.
- 4) En su proceso de disolución anódica, la corrosión deberá ser uniforme.
- 5) El metal debe ser de fácil adquisición y deberá de poderse fundir en diferentes formas y tamaños.
- 6) El metal deberá tener un costo razonable, de modo que en conjunción con las características electroquímicas correctas, pueda lograrse una protección a un costo bajo por ampere-año.

Estas exigencias ponen de manifiesto que solamente el zinc, el magnesio y el aluminio y sus respectivas aleaciones pueden ser considerados como materiales para ser utilizados prácticamente como ánodos de sacrificio. **[13]**

| Propiedades | Mg | Zn | Al |
|---|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| peso atómico (g) | 24.32 | 65.38 | 26.97 |
| peso específico a 20°C, g/cm ³ | 1.74 | 7.14 | 2.70 |
| punto fusión (°C) | 651 | 419.4 | 660.1 |
| resistividad eléctrica (Ω-cm) | 4.46 10 ⁻⁶ | 6.0 10 ⁻⁶ | 2.62 10 ⁻⁶ |
| valencia | 2 | 2 | 3 |
| equivalente-gramo | 12.16 | 32.69 | 9.00 |
| equivalente electroquímico (mg/C) | 0.12601 | 0.3387 | 0.0931 |
| capacidad eléctrica teórica (A-h/kg) | 2204 | 820 | 2982 |
| capacidad eléctrica teórica (A-h/dm ³) | 3836 | 5855 | 8051 |
| capacidad eléctrica práctica (A-h/kg) | 1322 | 738 | 1491 |
| rendimiento corriente (%) | 60 | 90 | 50 |
| consumo teórico (kg/A-año) | 3.98 | 10.69 | 2.94 |
| consumo teórico (dm ³ /A-año) | 2.3 | 1.5 | 1.1 |
| potencial normal a 25°C (V vs. Ag/AgCl) | -2.63 | -1.05 | -1.93 |
| potencial disolución en agua de mar (V vs. Ag/AgCl) | -1.55 | -1.05 | -1.85 |

Tabla 8. Propiedades físicas y electroquímicas del Mg, Zn y Al.

Fuente: Norma técnica PEMEX.

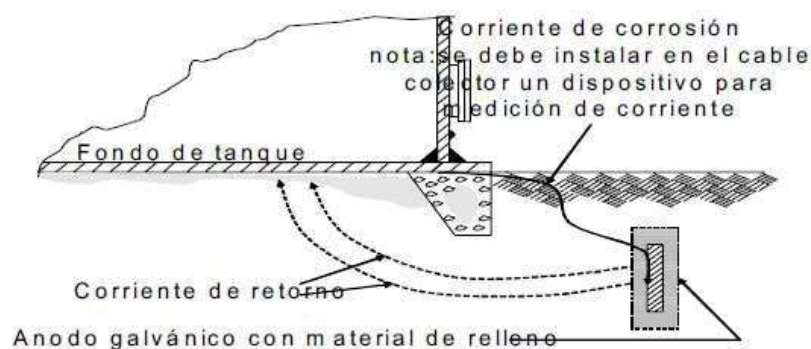


Figura 15. Protección catódica con ánodo de sacrificio.

Fuente: Norma técnica PEMEX.

Para los ánodos galvánicos seleccionados para instalaciones sobre el suelo, se deben de utilizar cualquiera de los siguientes materiales aleaciones de magnesio con alto potencial, aluminio, zinc en la figura

16 se observa cómo se instala el ánodo de magnesio junto al tanque.



Figura 16. Ánodos de magnesio.

Fuente: Ing. Juan Carlos Pachón NACE (Certified Cathodic Protection Specialist).



Figura 17. Instalación de ánodo de magnesio.

Fuente: Erika Magaly Sanguano Masache. (2012), mantenimiento en tanques-Riobamba-Ecuador.

2.2.3.6.2 La Norma Británica BS 7361-1:19913:

Establece en la sección 2.3.2.1 que los valores mínimos que se necesitan para alcanzar los potenciales de protección están listados (ANEXO tabla 1). Los valores

más positivos que los expresados permitirán que ocurra la corrosión. [9]

| POTENCIALES PROTECCIÓN CATÓDICA | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------|-------------------|-------------------|------------------------|------|---|---|-----------------------------------|
| N° CUBETO | TANQUES | PRODUCTO | DIAMETR Ø (mm) | TOMAS DE MEDICIÓN (mV) | | | | OBSERVACION |
| | | | | N | S | E | O | |
| 3 | Y-T 8060 | GASOLINA EXTRA | 23600 | 0,60 | 0,65 | - | - | Se perdió la protección catódica. |

Nota: Valores entre 0,85 mV y 1,7 mV, en la protección esta en buen estado y cumpliendo su función, en el caso de que se encuentre en rangos menores a 0,85 mV se ha perdido la protección catódica.

Tabla 9. Potencial de protección catódica.

Fuente: Erika Magaly Sanguano Masache. (2012), mantenimiento en tanques-Riobamba-Ecuador.

2.2.3.6.3 Relleno anódico

La efectividad de operación de los ánodos de sacrificio instalados directamente en tierra es baja, debido a principalmente a la formación de películas de los productos de la corrosión en su superficie; además se presenta la corrosión rápida y total de los ánodos de sacrificio, debido a las variaciones del suelo.

Para una mejor operación en instalaciones enterradas, los ánodos se rodean de materiales que los mantengan en estado activo (relleno anódico o backfill), lo cual evita la formación de las películas de los productos de corrosión, disminuyendo además la disolución del metal anódico y la resistencia a tierra.

Se muestra una tabla de mezclas más frecuentes utilizadas ;en suelos de baja humedad se emplea el relleno tipo A, el cual permite mantener características de humedad por su alto contenido de bentonita ,el relleno B comúnmente empleado para los ánodos de cinc ,la mezcla tipo C se emplea para ánodos de cinc o

magnesio en suelos muy húmedos o pantanosos para evitar el posible arrastre del relleno, el relleno D por su baja resistividad es empleado en suelos muy alta resistividad para reducir la resistencia ánodo-suelo [12]

| TIPO | YESO % | BENTONITA % | SULFATO DE SODIO % | RESISTIVIDAD (ohm - cm) |
|------|-----------------|-------------|--------------------|-------------------------|
| A | 25 ¹ | 75 | 0 | 300 |
| B | 50 ¹ | 50 | 0 | 300 |
| C | 50 ² | 50 | 0 | 300 |
| D | 75 ¹ | 20 | 5 | 50 |

¹ Yeso hidratado
² Yeso moldeado

Tabla 10. Relleno químico para ánodos galvánicos.

Fuente: Jorge cantor Rodríguez, Nelson A pinzón 1995 – Santafé Bogotá.

2.2.3.7 Criterios de protección catódicas

La utilización del valor de potencial como criterio de protección dependen del metal a proteger, variando únicamente por acción de alta temperatura (donde se recomienda un incremento de -2mv/°C) y por la presencia de bacterias sulfato reductoras (donde se sugiere un incremento de -0.1v referido al electrodo de cobre/sulfato de cobre).los valores usuales recomendados se muestran en la tabla.

| METAL A PROTEGER | E (Cu / CuSO ₄) |
|---|-----------------------------|
| Hierro y acero en ambiente aeróbico | - 0.85 V |
| Hierro y acero en ambiente anaeróbico (acción | - 0.95 V |
| Plomo | - 0.6 V |
| Estaño | - 0.7 V |
| Níquel | - 0.8 V |
| Aleación a base de cobre | - 0.5 a - 0.65 V |
| Aluminio limite positivo | - 0.95 V |
| Aluminio limite negativo | - 1.2 V |
| Cobre | - 0.2 V |

Tabla 11. Potenciales recomendados para protección catódica.

Fuente: Jorge cantor Rodríguez, Nelson A pinzón 1995 – Santafé – Bogotá.

Cada metal, sumergido en un electrolito, tiene un potencial respecto al electrodo de hidrógeno, de potencial 0. Este potencial particular de cada metal, es la suma algebraica de los potenciales de las innumerables pilas formadas sobre su superficie. Al proteger a este metal catódicamente, su potencial se hará más electronegativo. El criterio de protección, fija el valor del potencial que debe adquirir el metal, para permanecer inmune a la corrosión, así como respecto a qué patrón debe realizarse la medida. Los potenciales de los metales que aparecen en la serie electroquímica, están medido respecto el electrodo hidrógeno, instrumento éste, complicado, de difícil manejo, para uso en laboratorio. En la práctica, se dispone de electrodos patrones robustos y fácilmente transportables, que tienen un potencial fijo y conocido, respecto al electrodo patrón de hidrógeno. En la tabla 12, se representa, en esquema, la serie electroquímica de los metales, apareciendo solamente el hidrógeno, el acero (como metal más comúnmente utilizado) y los posibles electrodos de referencia, que se van a emplear en la práctica. Dado que el potencial del acero protegido, es de -530 mV (Nerst), este potencial medido respecto a los diferentes electrodos industriales será, según se ve en la figura 4. Además, hay que tener en cuenta que, en presencia de bacterias sulfato reductoras, el potencial de protección del acero deberá de ser 100mV. Más electronegativo (-950 mV respecto a Cu/SO₄Cu). Cuando se trata de proteger acero galvanizado, el potencial de protección deberá de ser 150 mV más electronegativo (1.000 mV r. / Cu/SO₄Cu). Para acero a alta temperatura el potencial de protección deberá de ser 2mV más electronegativo por cada o C superior a la temperatura ambiente de 25o C. Así una tubería de una estación de compresión, trabajando a 70o C, deberá de tener, para estar protegida, un potencial de 940 mV . Cuando medimos el potencial de una estructura enterrada o sumergida, estamos midiendo el potencial de una pila, formada por dos

semipilas: una semipila está constituida por el acero (electrodo) rodeado por la tierra o agua (electrolito). La otra semipila, la forma una barra de cobre sumergida en solución saturada de sulfato de cobre. Ambas semipilas están conectadas a través del tapón poroso del electrodo patrón, en contacto con el suelo. (Pila de Daniels). [8]

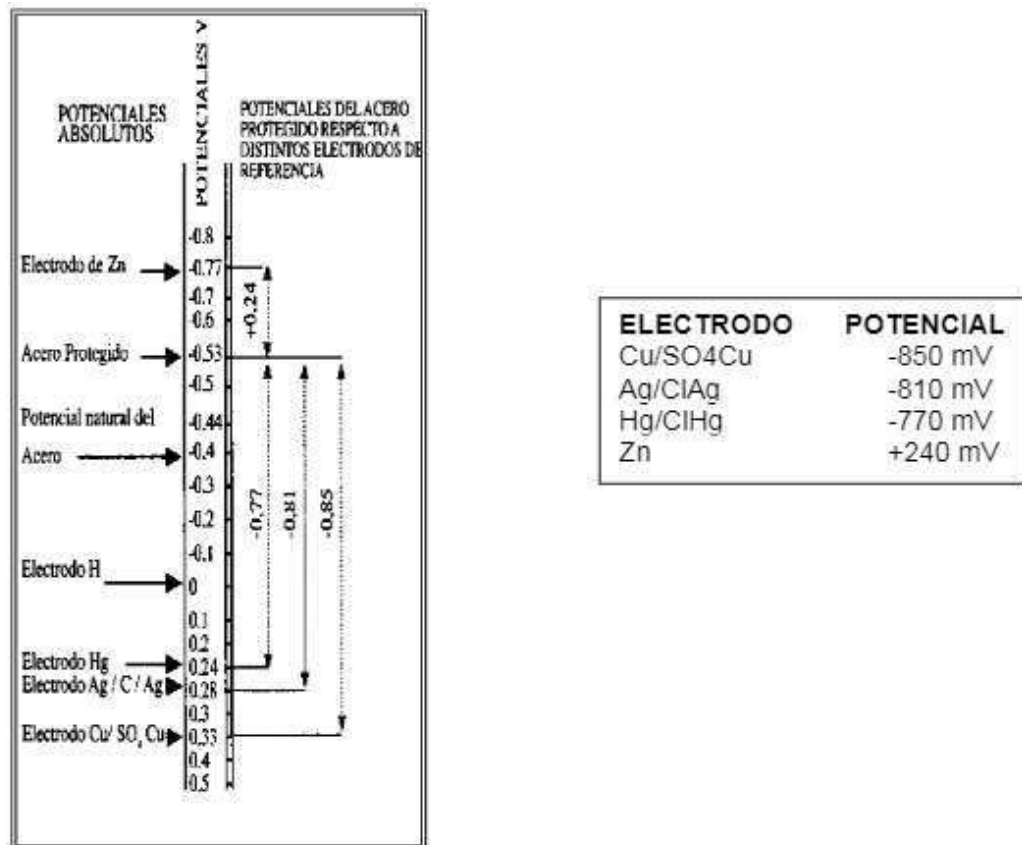


Tabla 12. potencial que debe adquirir el metal.

Fuente: sistema de protección catódica - ARGO S.A.

2.2.3.7.1 Requerimiento de corriente de protección

La corriente necesaria para la protección catódica depende fundamentalmente de varios factores:

- Área a proteger y condiciones de revestimiento.
- Resistividad eléctrica del suelo
- Dificultad de polarización de la estructura.
- Forma geométrica de la estructura.

Debido a las grandes variaciones existentes en los factores arriba mencionados, ya sea de una estructura a otra o de la misma estructura, se puede afirmar que la única manera de disponer con precisión de la corriente necesaria para la protección, es por de medio de campo; empleando para ello una fuente de generación de D.C. para realizar envíos de corriente y un lecho auxiliar de ánodos, normalmente de chatarra de hierro. El cambio de voltaje por unidad de amperaje da una indicación de la corriente requerida para alcanzar el potencial de protección deseado. [12]

| MEDIO | CORRIENTE REQUERIDA (mA / pie ²) |
|---|---|
| Estéril, suelo neutral | 0.4 - 1.5 |
| Suelo neutral bien aireado | 2.0 - 3.0 |
| Suelo bien aireado seco | 0.5 - 1.5 |
| Suelo húmedo | 2.5 - 6.0 |
| Suelo altamente ácido | 5.0 - 15.0 |
| Suelo con bacterias sulfato reductoras | Hasta 42.0 |
| Caliente en el suelo | 5.0 - 25.0 |
| Concreto seco | 0.5 - 1.5 |
| Concreto húmedo | 5.0 - 25.0 |
| Agua fresca estacionaria | 5.0 |
| Agua fresca en movimiento | 5.0 - 6.0 |
| Agua fresca altamente turbulenta con oxígeno disuelto | 5.0 - 15.0 |
| Agua caliente | 5.0 - 15.0 |
| Agua de estuario contaminada | 50 - 150 |
| Agua de mar | 5.0 - 25.0 |
| Químicos, soluciones alcalinas o ácidas | 5.0 - 25.0 |
| Aceros bien revestidos en suelos | 0.01 - 0.02 |
| Aceros bien revestidos con detector de fugas | 0.001 o menos |

Tabla 13. Requerimiento de corriente para protección catódica.

Fuente: Jorge cantor Rodríguez, Nelson A pinzón 1995 – Santafé – Bogotá.

2.2.3.7.2 Resistividad eléctrica

Uno de los parámetros más importantes en la corrosión y la protección catódica es la resistividad eléctrica de un electrolito; esta es una propiedad del material, la cual está definida con base en la medición de la resistencia entre las caras opuestas de un cubo específico de material, las unidades empleadas usualmente son ohm/cm^3 y ohm/pie^3 al hacerla independiente de las dimensiones, la resistividad eléctrica se convierte en una propiedad intrínseca cuyas unidades pueden ser escritas como $\text{ohm}\cdot\text{cm}^2/\text{cm}$ u $\text{ohm}\cdot\text{cm}$. La resistividad de los electrolitos comunes varían considerablemente de roca de granito hasta 500000 $\text{ohm}\cdot\text{cm}$. Mientras el agua de mar es un electrolito uniforme, el suelo y las rocas presentan una alta heterogeneidad. La resistividad del suelo y las rocas varían notablemente con el contenido de agua y de su propiedad; de igual manera el valor de la resistividad de un terreno presenta aumento cuando la temperatura disminuye, registrando valores elevados al llegar al congelamiento; existen diversas correlaciones que permiten realizar correcciones sobre la resistividad por porosidades y temperatura de medio, siendo apropiada su aplicación en regiones donde se presenta estaciones

Cuando el electrolito es un suelo se puede indicar la agresividad del mismo en relación con las estructuras de acero con base en la magnitud de su resistividad, como se observa en la tabla.

| AGRESIVIDAD | RESISTIVIDAD (ohm - cm) |
|-------------|--------------------------|
| Baja | Más de 10000 |
| Media | De 2000 a 10000 |
| Elevada | De 1000 a 2000 |
| Alta | De 500 a 1000 |
| Muy alta | Menos de 500 |

Tabla 14. Agresividad del terreno para estructuras de acero.

Fuente: Jorge cantor Rodríguez, Nelson A pinzón 1995 – Santafé – Bogotá.

2.2.3.7.3 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 utilizados, como muestra la tabla 12 son los siguientes:

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

Tabla 15. Electrodo de referencia.

Fuente: René Oswaldo girón callejas, protección catódica aplicada a tanques.

2.2.3.8 Diseño de un sistema de protección catódica con ánodos galvánicos para ductos terrestres y lacustres.

2.2.3.8.1 Vida útil.

El valor probable de consumo. Para un ánodo con tamaño y masa propuestos, La entrega de corriente se debe calcular mediante la ecuación

$$I = \frac{M}{n \cdot F \cdot t} \cdot \frac{1000}{\rho}$$

El tiempo de vida del ánodo galvánico, se debe determinar con la ecuación.

Para el diseño del ánodo galvánico se debe tener las siguientes consideraciones:

- En agua de mar deben emplearse ánodos con base aluminio o zinc y sus respectivas aleaciones sin contenido de mercurio.
- Seguridad de funcionamiento
- Selección de la configuración de los ánodos
- La vida útil de un ánodo depende tanto del material de aleación como de su peso. Los datos del comportamiento del ánodo se deben utilizar para calcular
- Selección del material de los ánodos a utilizar, de acuerdo a la resistividad del electrolito, costo, disponibilidad en el mercado, eficiencia del ánodo y vida útil deseada.[14]

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

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

$$V = \frac{C}{P \cdot R \cdot u \cdot I} \quad []$$

Dónde:

V = tiempo de vida del ánodo en años. C

= capacidad de corriente en A-años/kg P

= peso del ánodo en kilogramos

R = rendimiento en %

u=factor de utilización 0.85

I = entrega de corriente del ánodo en amperios

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

Tabla 16. Capacidad y rendimiento de los electrodos.

Fuente: René Oswaldo girón callejas, protección catódica aplicada a tanques.

| Material anódico | Capacidad corriente teórica (A-año/kg) | Eficiencia (%) | Potencial a circuito cerrado (V) |
|------------------|--|----------------|-----------------------------------|
| Zinc (Zn) | 0,094 | 95 | -1,1 contra Cu/CuSO ₄ |
| Aluminio (Al) | 0,340 | 90 | -1,03 contra Ag/AgCl |
| Magnesio (Mg) | 0,251 | 50 | -1,78 contra Cu/CuSO ₄ |

Tabla 17. Propiedades electroquímicas de los ánodos galvánicos.

Fuente: Norma técnica PEMEX.

2.2.3.8.2 Corriente de diseño para ductos enterrados o sumergidos.

Calculo de la corriente requerida para la protección.

Para ductos nuevos, la demanda total de corriente (I_{tot}) se debe determinar en función de los parámetros de diseño y/o a partir de experiencia previa con sistemas similares, mediante la ecuación.

$$I_{tot} = J \cdot F_c \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L \quad \dots \dots \dots 22 [7]$$

Dónde:

I_{tot} = demanda total de corriente total, expresada en mA.

J = Densidad de corriente eléctrica para acero al carbono desnudo expresada en mA/m².

F_c = factor de daño del recubrimiento que incluye los efectos del recubrimiento de fábrica y el recubrimiento compatible para juntas de campo, expresado como adimensional.

r = Radio exterior del ducto, expresado en m.

L=longitud que se debe proteger del ducto, expresada en m.

$J \cdot f_c$ = Producto del efecto combinado de la densidad de corriente de diseño y el factor de daño del recubrimiento, cuyos valores establecen en la tabla de esta NRF.

:31416.

2.2.3.8.3 Densidad de corriente y factor de daño del recubrimiento.

Propiedades que tienen una dependencia directa, por lo que su efecto combinado como producto “ $J \cdot f_c$ ” se establece en los valores contenidos en la tabla de esta NRF.

| Tipo de recubrimiento | Producto J ^{fc} | | |
|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Vida de diseño de 10 años | Vida de diseño de 20 años | Vida de diseño de 30 años |
| Asfalto, esmalte de alquitrán o cinta aplicada en frío | 0,4 | 0,6 | 0,8 |
| Epóxico adherido por fusión (Fusion-Bonded Epoxy FBE) o epóxico líquido | 0,4 | 0,6 | 0,9 |
| Tricapa Epoxi-Polietileno (incluye primario FBE) - polietileno (PE) o tricapa epóx - polipropileno (PP) | 0,08 | 0,1 | 0,4 |

- Para una vida de diseño mayor a 30 años, se deben utilizar factores mayores a los incluidos en esta tabla.
- Se deben minimizar los daños al recubrimiento durante la construcción y operación del ducto.
- Para ductos con temperatura de operación mayor a 30 °C, los valores de densidad de corriente se deben incrementar un 25%, por cada 10 °C de incremento a dicha temperatura.
- Los requerimientos de corriente dependen también del contenido de oxígeno y resistividad del suelo, por lo que se deben determinar mediante pruebas de campo.

Los valores para calcular la demanda de corriente total I_{dc} aquí contenidos, están conforme con el numeral 5.8 de ISO 15589-1:2003.

Tabla 18. Producto J^{fc} para acero al carbono con diferente recubrimiento, que se debe utilizar para diseñar sistemas de protección catódica para temperaturas de operación igual o menor a 30 °C.

Fuente: Norma técnica PEMEX

2.2.3.8.4 Cálculo de la masa anódica total requerida.

Para calcular la masa anódica requerida, inicialmente se debe definir su geometría a dimensiones y seleccionar el material a utilizar para el diseño del sistema de protección catódica conforme con la tabla 18 de esta NRF. [7]

... .. 23 [7]

Dónde:

W=masa anódica total requerida para una sección específica del ducto, expresada en kg.

I_{TOT} = Corriente requerida para protecciones debe calcular con la fórmula 22 a través de pruebas de requerimiento de corriente y se expresa en A.

D_R =Consumo del ánodo que se establece en la tabla 18, expresado en kg/A-año.

D_L =Vida de diseño del sistema, expresada en años.

| Material anódico | Consumo de ánodos | |
|------------------|-------------------|----------|
| | kg/A-año | lb/A-año |
| Magnesio (Mg) | 7,9 | 17,4 |
| Aluminio (Al) | 3,1 | 6,8 |
| Zinc (Zn) | 11,8 | 26 |

Tabla 19. Consumo de ánodo para calcular la masa anódica. **Fuente:** Norma técnica PEMEX.

2.2.3.8.5

Calculo del número de ánodos requeridos.

$$n = \frac{W}{W_A} \quad \dots \dots \dots 24 [7]$$

Dónde:

n=número de ánodos requeridos.

W= peso de masa anódica total requerida, expresada en kg.

W_A=peso de cada ánodo, expresado en kg.

El número de ánodos que se determina mediante la fórmula 24, se debe instalar individualmente en cada punto de drenaje de corriente y su espaciamiento se debe calcular con la fórmula 25. [7]

2.2.3.8.6 Espaciamiento entre ánodos.

$$S = \frac{L}{n} \quad \dots \dots \dots 25 [7]$$

S=espaciamiento entre ánodos, expresado en m.

L= longitud que se debe proteger del metal, expresado en m.

n =número de ánodos requeridos.

2.3 MARCO CONCEPTUAL

- **API:** Instituto Americano del Petróleo
- **ASTM:** American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana Para Prueba de Materiales)
- **CASCO:** Denominado así al cuerpo cilíndrico del recipiente.
- **MAN-HOLE:** Abertura usada para ingreso de personas al interior del recipiente.

- **PRUEBA HIDROSTÁTICA:** Ensayo no destructivo que consiste en llenar con agua un recipiente herméticamente sellado hasta que el agua sea comprimida hasta una presión de prueba determinada, verificando que no existan fugas.
- **SSPC:(STEEL STENCIL PAINTING COUNCIL)** Sistema de preparación de superficie.
- **PEMEX:** Norma de referencia mexicana, para diseño de protección catódica en tanques y tuberías.
- **ÁNODO:** Electrodo positivo de una celda electroquímica donde se produce la relación de oxidación.
- **Ánodo galvánico o de sacrificio:** metal aleado donde proporciona protección a otro metal que es menos negativo en la serie electroquímica que este, cuando ambos están conectados eléctricamente e inmersos en un electrolito común. Este tipo de ánodos es la fuente de electrones en protección catódica.
- **Cátodo:** electrodo de una celda electroquímica, donde la principal reacción que ocurre es la de reducción.
- **Corrosión:** deterioro de un material, como consecuencia de una reacción electroquímica.
- **NRF:** norma de referencia.

CAPITULO III: DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

3.1 ANÁLISIS DEL MODELO

Para determinar los parámetros de un tanque API 650 y desarrollar su protección catódica con ánodo de sacrificio necesitamos ciertos datos como:

- Tipo de tanque API
- Capacidad de almacenamiento
- Presión de diseño
- Diámetro del tanque API
- Altura del tanque API
- Espesor de la plancha base del tanque a proteger

Las consideraciones que se debe tomar para determinar los parámetros del tanque y su diseño de protección catódica con ánodos galvánicos son:

- La norma API 650 .son un conjunto de buenas prácticas que cubre especificaciones de materiales ,diseño ,fabricación, montaje y requerimientos de pruebas para cilindros verticales instalados sobre tierra, cerrados y de tapa superior abierta, tanques de acero soldado para almacenar en varios tamaños y capacidades para presiones internas aproximadamente igual a la presión atmosférica (las presiones exteriores no exceden el peso de las planchas de techo) pero una presión interna alta puede ser permitida cuando se reúnen ciertos requisitos adicionales .este estándar se aplica solo para tanques cuyo fondo total esta uniformemente

apoyado y a los servicios sin refrigeración que tiene una temperatura máxima de operación de 90° c .[3]

- El cálculo de los parámetros del tanque se ha realizado bajo la norma API 650, sección 5 y el diseño de su protección catódica con ánodo galvánico está sujeto a la norma PEMEX.
- Así como se plantea los cálculos para un tanque de 200000 gls de combustible y diseñar su protección catódica por ánodo de sacrificio, para ellos se recolectara información referente al suelo donde será montado el tanque y sus especificaciones así mismo se diferenciara los parámetros para considerar el diseño y selección de los ánodos empleados en la protección del tanque API 650.
- Para cálculo del casco del tanque se empleara el método de un pie el cual es más recomendado por la norma.

3.2 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO MEJORADO

Según lo especificado en la delimitación espacial y temporal de la investigación se determinara los parámetros de un tanque de almacenamiento de combustible diésel de 200000 GLS con 12 silletas y su diseño de protección catódica con ánodos galvánicos.

- Diámetro nominal = 10 m
- Altura = 9.65 m
- Capacidad = 200.216 GLS (757,91 m³)
- Capacidad útil = 170185GLS (744,22m³)
- Presión de diseño = atmosférico
- Peso específico de diseño = 0.88
- Material de fabricación =ASTM A36.
- Tubos SCH 40.
- Eficiencia de junta = 85 (Radiografiado por zonas)
- Se considera un margen de corrosión de 1/16".
- Material = ASTM A36.

El cálculo de los parámetros del tanque cónico cumplirá con lo especificado en la sección 3 de la norma API 650 así mismo se hará uso de la sección 4 de la norma API 650, para determinar el uso de material para el proceso de fabricación. Donde la sección 4 de la norma recomienda el tipo de material a utilizar en la fabricación del cuerpo y accesorios del tanque. Además se diseñara la protección catódica del tanque con apoyo de la norma PEMEX-2013.

3.2.1 Memoria de cálculo

En este apartado se realizan los cálculos de espesor mínimo requerido del casco, tapa y accesorios en base a la norma API 650 y su diseño de protección catódica con referencia a la norma PEMEX 2013.

Datos para el diseño

Tanque API 650 de 200.000 GLS = 120.498 barriles. Capacidad nominal:
 200.216 GLS = 757.91 ³Capacidad útil es de 85% 170.185 GLS =
 744.22 ³

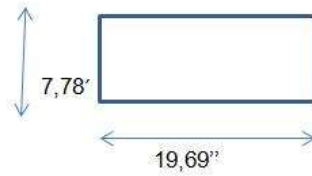
| Parámetros | Dimensión |
|---------------------------|-----------|
| Altura (H) | 9.650 mm |
| Diámetro (D) | 10.000 mm |
| Densidad relativa (G) | 1 |
| Corrosión admisible (Ca) | 1.6 mm |
| Eficiencia de junta (E) | 0.85 |

Pasando a unidades de USC

| Parámetros | Dimensión |
|---------------------------|-----------|
| Altura (H) | 31.66 ft |
| Diámetro (D) | 32 ft |
| Densidad relativa (G) | 1 |
| Corrosión admisible (Ca) | 1/16" |
| Eficiencia de junta (E) | 0.85 |

Material a usar es ASTM A36

Dimensiones de las planchas:



3.2.2 Calculo del espesor de cada cinturón (casco) del tanque por el método de un pie:

1. Primer cinturón según formula 1 del marco teórico.

$$t_d = \frac{4.9D(H-0.3)G}{S_d} + CA$$

$$t_t = \frac{4.9D(H-0.3)}{S_t}$$

$$1 = \frac{4.9 \cdot 10 \cdot (9.650 - 0.3) \cdot 1}{160} + 1.6$$

2. Calculo del espesor del cuerpo por prueba hidrostática aplicando formula 2 del marco teórico.

$$\frac{4.9 \cdot 10 \cdot (9.650 - 0.3)}{160} = 171$$

3. Segundo cinturón _____

$$\frac{4.9 \cdot 10 \cdot (7.280 - 0.3) \cdot 1}{160} = 1.6$$

4. Tercer cinturón _____

$$\frac{4.9 \cdot 10 \cdot (4.90728 - 0.3) \cdot 1}{160} = 1.6$$

5. Cuarto cinturón _____

$$\frac{4.9 \cdot 10 \cdot (2.908 - 0.3) \cdot 1}{160} = 1.6$$

6. Quinto cinturón _____

$$\frac{4.9 \cdot 10 \cdot (2.389 - 0.3) \cdot 1}{160} = 1.6$$

3.2.3 Resumen de espesores calculados

Precio de planchas de 2400 x 1200 x 6mm es de \$84

$$\frac{= 135.648}{1 = \$0.619}$$

Precio de planchas de 2400 x 1200 x 8mm es de

$$= 180.864$$

El fondo del tanque tiene un peso de **6159.2 kg** espesor 8mm

$$= 6159.2 \cdot 0.619 = \$$$

Si aumento el espesor de la plancha para mayor duración frente a la corrosión

Peso del fondo del tanque será 9777.6 kg el precio del fondo

$$\text{es } \$ \cdot \quad * \$ \cdot \quad = \$ \cdot \quad - \$ \cdot \quad = \$ \cdot$$

| ANILLOS | ESPESOR CALCULADO (mm) | ESPESOR SELECCIONADO (mm) | ESPESOR SELECCIONADO (pulgadas) |
|----------------|------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| primer anillo | 4,46mm | 8mm | 1/4" |
| segundo anillo | 3,74mm | 8mm | 1/4" |
| tercer anillo | 3,01mm | 8mm | 1/4" |
| cuarto anillo | 2,399mm | 6mm | 1/4" |
| quinto anillo | 2,239mm | 6mm | 1/4" |

A2. Diseño del fondo del tanque

Todas las láminas del fondo deben tener un espesor nominal de 6mm (1/4") libre de espesor de corrosión.

El ancho nominal de las láminas deben ser de 72", por lo general la lámina del fondo debería ser del mismo espesor que la lámina del primer anillo, sin considerar el espesor de corrosión.

A3. Calculo de cantidades de planchas y peso

- Calculo del perímetro del tanque

$$\text{---} \cdot = \quad (\quad) +$$

3.2.4 Calculo de placas del fondo y placas del techo

a. Calculo del área del fondo

$$= \frac{W_1}{2} = \frac{W_2}{2} \dots$$

El fondo del tanque debe ser de espesor nominal de 6mm (1/4") fuera del espesor de corrosión. Porque ira sobre la base un cemento o arena el cual será como base de refuerzo.

b. Calculo de números de placas del fondo.

- Definir número de planchas por línea.

Se obtendrá por dibujo.

c. Peso de la plancha del fondo

$$= * , * * . = . = . * . = .$$

3.2.5 Calculo de espesor del techo

$$4,76\text{mm} < t < 12,7\text{mm} \quad 9.5^\circ < x < 37^\circ$$

$$= \frac{W_1}{2} = \frac{W_2}{2} \dots$$

$$= \frac{W_1}{2} = \frac{W_2}{2} \dots$$

- Parte del techo

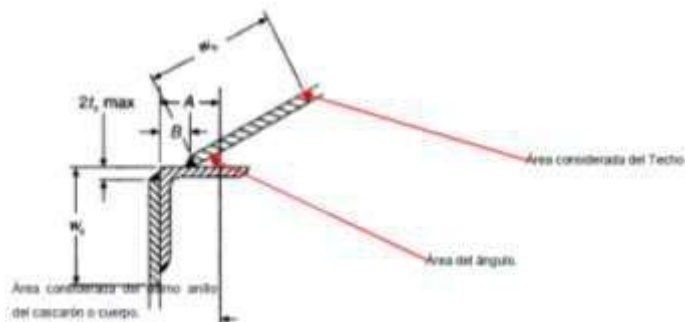


Figura 2.1 Detalle de junta de compresión: Techo-ángulo-cuerpo.
Fuente: Norma API estándar 650

Diámetro real

$$= + (+) = + (, ' + , ') = ,$$

3.2.6 Cálculo de accesorio de apertura del tanque según API 650.

- **MANHOLE para el cuerpo.**

Se utilizará un MANHOLE de Ø24" recomendado por API 650. Se utilizará un solo MANHOLE del cuerpo por tanque, o por lo que el cliente disponga, pero se recomienda que para tanques mayores a 200 pies se monte al menos 2 MANHOLE.

3.2.6.1 Selección para MANHOLE del cuerpo de 24 pulgadas.

- Se usará 28 pernos de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro y agujero de $\frac{7}{8}$ de pulgada.
- MANHOLE de 24" de diámetro, empaque de 29 3/8 OD X 24" ID X 1/8" espesor.
- Mínima altura desde base tanque hasta centro agujero de MANHOLE será 30 pulgadas.
- Con los datos de la tabla 5-3 y 5-19 de la NORMA API 650 ingresar con la máxima altura de nivel de líquido $H=9.65$ (Altura del tanque por mayor seguridad) y se interseca con la columna que tiene un MANHOLE de 24" obteniendo el espesor de la tapa = 13 = 10 (brida).
- Con los datos de la tabla 5-4 ingresar con el espesor del primer anillo $t= 8$ mm se interseca con las columnas que contengan MANHOLE 24 in. Y se obtiene el espesor del cuello del MANHOLE del cuerpo = 6 .
- Con los datos de la tabla 5-5 ingresar a la columna 1 con el diámetro del MANHOLE para este caso de 24" de la columna 2 se selecciona diámetro de eje del cálculo de agujero = 768 y de la columna 3 se selecciona diámetro de la tapa de manhole = 832 .

- Con los datos de la tabla 5-6 se ingresa con el diámetro del MANHOLE = 24" y se selecciona :diámetro exterior del tubo $D_p = 24"$ ahora se calculara diámetro de refuerzo de la placa
 $= 24 \frac{1}{8}"$ longitud de alado de la placa de refuerzo o diámetro = $49 \frac{1}{2}"$ ancho de la placa de refuerzo $w = 60"$ mínima distancia desde el cuerpo a la cara de la boquilla $J = 12"$ mínima distancia del fondo del fondo del tanque al centro de la boquilla la misma que puede ser regular = 29" o tipo bajo C o roscado $24 \frac{3}{4}"$
- Con los datos de la tabla 5-7 con el espesor del primer anillo $t = 8\text{mm}$ se interseca con la columna 1: mínimo espesor de tubo de la boquilla (este valor no se calcula por ser manhole).valor añadido al diámetro de boquilla para obtener máximo diámetro de la placa del cuerpo = 16 .tamaño de filete de soldadura $B = 6\text{mm}$.tamaño de filete soldadura A para boquillas de más 2 pulgadas de diámetro = $\frac{1}{4}"$.

3.2.6.2 MANHOLE para el techo

Para la selección de MANHOLE para el techo se utiliza la figura mostrada (en capítulo 2), similar mente que el MANHOLE del cuerpo se utilizara un MANHOLE de techo de diámetro 24 pulgadas (600 mm) recomendado por API 650. Se utilizara un solo MANHOLE del cuerpo por tanque, o lo que el cliente disponga, pero se recomienda que para tanques mayores a 200 pies (60 metros) se monte al menos 2 MANHOLE.

3.2.6.3 Selecciones para MANHOLE del techo de 600 cm

Se usara 20 pernos de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro y para agujeros una perforación de $\frac{7}{8}$ de pulgada de diámetro.

Con los datos de la tabla 5-13 ingresar a la columna 1, con el diámetro de MANHOLE para este caso 24" de la columna 1 se seleccione: diámetro del cuello $ID = 24"$; Diámetro de la placa de cubierta $D_c = 30"$; diámetro de eje del circulo de agujero de perno

Db = 27 $\frac{1}{2}$ "; número de pernos: 20; MANHOL de 24" de diámetro, empaque de 3000X24"10X $\frac{1}{8}$ " espesor diámetro

3.2.6.4 Boquillas y bridas para el cuerpo del tanque

Para selección de boquillas –bridas se utiliza la figura de referencia mencionada para el diseño de manholes.se recomienda que para boquillas de entrada se utilice un diámetro de 8", mientras que para boquillas de salida se usara un diámetro de 6", o lo que se acorde a la necesidad del cliente.

3.2.6.5 Selección para boquillas – bridas de entrada de diámetro 6" SCH 80

- Ingresar con el diámetro de 6" a la tabla 5-6 y seleccionar: diámetro exterior del tubo D_P O OD = 6 $\frac{5}{8}$ " espesor nominal del tubo de la boquilla $t_n = 0,432$ " .diámetro de la placa de refuerzo $D_R = 6 \frac{3}{4}$ " .longitud de lado de la placa de refuerzo o diámetro $D_0 = 15 \frac{3}{4}$ " .ancho de la placa de refuerzo $w = 19 \frac{1}{2}$ " .Mínima distancia des el cuerpo a la cara de la boquilla $J = 8$ " .minima distancia del fondo del tanque al centro de la

boquilla .la misma que puede ser regular = 12 $\frac{1}{2}$ tipo

bajo C o rosca = 7

$\frac{1}{2}$

8"

- Con el espesor de la placa del cuerpo del tanque ingreso a la tabla 5-7 de la API 650 se interseca con el espesor del primer anillo calculado en la columna 1; T = 1/4" (6mm) y se interseca con las columnas obteniéndose: mínimo espesor tubo de la boquilla = $\frac{1}{2}$ " valor añadido al diámetro de boquilla para obtener máximo diámetro de la placa del cuerpo = $\frac{5}{8}$ " tamaño del filete de la soldadura = $\frac{1}{4}$ ".

Tamaño de filete soldadura A para boquilla de más de 2 pulgadas de diámetro = 1/4".

- De la tabla 5-8 ingreso con el diámetro de 6" en la columna 1, se selecciona: mínimo espesor del borde = 1", diámetro exterior de borde = 11", Diámetro de la cara superior = $8 \frac{1}{2}$ ". Diámetro del perno círculo del perno = $9 \frac{1}{2}$ "; número de agujeros = 8; diámetro de los agujeros = $\frac{7}{8}$ "; diámetro de los pernos $\frac{3}{4}$ "; diámetro de taladrado tipo slip = 0,1" o diámetro taladrado tipo neck $\frac{1}{2}$ = mínimo diámetro de punto cubico de soldadura tipo slip = 0 mínimo diámetro de punto cubico de soldadura tipo neck $\frac{1}{2}$ = .
= 6. $b = 6 \frac{5}{8} + 2(0,432) = 7,489$ ". $\frac{1}{2}$ = $6 \frac{5}{8}$

3.2.6.6 Selección para boquillas – bridas de salida de diámetro de 3" SCH 80

- Con los datos de la tabla 5-6 del anexo ingresar con el diámetro de 3 pulgadas se selecciona: diámetro exterior del tubo $D_p = 3 \frac{1}{2}$ in. Espesor nominal del tubo de la boquilla $t_n = 0.300$ in .diámetro de la placa de refuerzo $DR = 3 \frac{5}{8}$ In. Longitud de la placa de refuerzo o diámetro $L = D_0 = 10 \frac{1}{2}$.Ancho de la placa de refuerzo $W = 13 \frac{1}{2}$ in. Mínima distancia del cuerpo a la cara de la boquilla $j = 7$ in. Mínima distancia del fondo del tanque al centro de la boquilla. La misma que puede ser regular $HN = 9 \frac{1}{2}$ in. O tipo baja o roscada.
- Con el espesor de la placa del cuerpo del tanque ingreso a la tabla 5-7 de la API 650 se interseca con el espesor del primer anillo calculado en la columna 1; $T = \frac{1}{4}$ "(8 mm) y se interseca con las columnas obteniéndose :mínimo espesor tubo de la boquilla = $\frac{1}{2}$ " valor añadido al diámetro de boquilla para obtener máximo diámetro de la placa del cuerpo = $\frac{5}{8}$ " tamaño del filete de la soldadura = $\frac{1}{4}$ " .tamaño de filete

soldadura A para boquilla de más de 2 pulgadas de diámetro = $1/4"$.

- De la tabla 5-8 ingreso con el diámetro de 3" en la columna 1, se selecciona: mínimo espesor del borde = $15/16"$, diámetro exterior de borde = $7\ 1/2"$, Diámetro de la cara superior = 5 .Diámetro del perno círculo del perno = 6 ; numero de agujeros = 4; diámetro de los agujeros = $3/4"$; diámetro de los

pernos $5/8$ in; diámetro de taladrado tipo slip = $0,6"$ o diámetro taladrado tipo neck $1 =$ minimo diámetro de punto

- cubico de soldadura tipo slip = o minimo diámetro de punto cubico de soldadura tipo neck $1 =$.
 $= 3, b=3\ 1/2+2(0.3)=2,1", = 3\ 1/2"$

- Boquillas y bridas para techo del tanque.

Para la selección de boquillas –bridad se utiliza la figura y la tabla de la NORMA API 650, tabla 5.6 y 5.7, se recomienda que para boquillas del techo se utilice diámetros de 6 y 8 pulgadas o lo que requiere el cliente, no se diferencia de boquillas de entrada o boquillas de salida, porque su función es ventilar, para evitar, la auto inflamación, aquí se colocan cuellos de ganso o bocas de aforo.

3.2.7 Selección para escaleras circulares

- Fabricar con acero A36.
- Mínima longitud de los escalones o huellas es $r= 8$ pulgadas.
- La huella debe ser tipo reja o de material no deslizante (rugoso), el Angulo máximo de elevación es de 50° .
- La altura del pasamanos debe estar entre 30 a 34 pulgadas, colocando varillas o soportes cada dos escalones.
- La protección del techo o baranda tendrá una altura de 42 pulgadas de alto, las varillas deben estar separadas a una distancia máxima de 96 pulgadas.

3.2.8 Materiales para fabricar el tanque API 650

| CASCO | | | | | |
|------------------------------|------|----------------|----------|--------|----------------------|
| MARCA | CANT | DESCRIPCION | MARCA | PU(kg) | PESO DE PLANCHAS(kg) |
| P1 | 5 | PL 8X2470X6000 | ASTM A36 | 930.7 | 4653.5 |
| P2 | 1 | PL 8X1470X1451 | ASTM A36 | 133.95 | 133.95 |
| P3 | 18 | PL 8X2470X6000 | ASTM A36 | 698.02 | 6980.2 |
| P4 | 2 | PL 8X2470X1451 | ASTM A36 | 168.8 | 337.6 |
| P5 | 5 | PL 8X2000X6000 | ASTM A36 | 565.2 | 2826 |
| P6 | 1 | PL 8X2000X1451 | ASTM A36 | 136.68 | 136.68 |
| P7 | 5 | PL 8X518X6000 | ASTM A36 | 146.39 | 731.95 |
| P8 | 1 | PL 8X518X1451 | ASTM A36 | 35.4 | 35.4 |
| PESOPARCIAL DEL CASCO | | | | | 15835.28 |

| FONDO | | | | | |
|-------------------------------|------|----------------|----------|--------|----------------------|
| MARCA | CANT | DESCRIPCION | MARCA | PU(kg) | PESO DE PLANCHAS(kg) |
| P1 | 2 | PL 8X1553X3647 | ASTM A36 | 355.7 | 711.4 |
| P2 | 2 | PL 8X1553X3672 | ASTM A36 | 358.1 | 716.2 |
| P3 | 4 | PL 8X1948X2370 | ASTM A36 | 289.9 | 1159.6 |
| P4 | 2 | PL 8X2370X6000 | ASTM A36 | 893 | 1786 |
| P5 | 1 | PL 8X2370X6000 | ASTM A36 | 893 | 893 |
| P6 | 1 | PL 8X2370X6000 | ASTM A36 | 893 | 893 |
| PESO PARCIAL DEL FONDO | | | | | 8159.2 |

| TECHO | | | | | |
|--------------------------------------|------|----------------|----------|--------|----------------------|
| MARCA | CANT | DESCRIPCION | MARCA | PU(kg) | PESO DE PLANCHAS(kg) |
| P1 | 1 | PL 8X2370X4865 | ASTM A36 | 724.1 | 724.1 |
| P2 | 1 | PL 8X1110X2339 | ASTM A36 | 163 | 163 |
| P3 | 1 | PL 8X2090X2643 | ASTM A36 | 346.9 | 346.9 |
| P4 | 1 | PL 8X2370X6000 | ASTM A36 | 893 | 893 |
| P5 | 1 | PL 8X2370X4181 | ASTM A36 | 622.3 | 622.3 |
| P6 | 1 | PL 8X2370X4194 | ASTM A36 | 624.2 | 624.2 |
| P7 | 1 | PL 8X2370X5987 | ASTM A36 | 891.1 | 891.1 |
| P8 | 1 | PL 8X2370X6000 | ASTM A36 | 893 | 893 |
| P9 | 1 | PL 8X2370X3378 | ASTM A36 | 502.8 | 502.8 |
| P10 | 2 | PL 8X718X2608 | ASTM A36 | 117.6 | 235.2 |
| PESO PARCIAL DEL TECHO CONICO | | | | | 5895.6 |

| ANILLOS RIGIDOS | | | | | |
|---------------------------------------|------|----------------------|----------|--------|----------------------|
| MARCA | CANT | DESCRIPCION | MARCA | PU(kg) | PESO DE PLANCHAS(kg) |
| TQ-200MGLS-4 | 1 | ANILLO DE RIGIDEZ | | 290.8 | 290.8 |
| | 1 | L 3"x3"x5/16" x 3200 | ASTM A36 | 290.85 | 290.85 |
| PESO PARCIAL DEL ANILLO RIGIDO | | | | | 290.85 |

| MARCA | CANT | DESCRIPCION | MARCA | PU(kg) | PESO DE PLANCHAS(kg) |
|--|------|--------------------|----------|--------|----------------------|
| TQ-200MGLS-05 | 12 | SILLETA DE ANCLAJE | | 31.1 | 373.2 |
| P1 | 2 | PL 16X201X368 | ASTM A36 | 9.3 | 18.6 |
| P2 | 1 | PL 32X200X250 | ASTM A36 | 12.6 | 12.6 |
| PESO PARCIAL DE LAS SILLETAS DE ANCLAJE | | | | | 404.4 |

| MARCA | CANT | DESCRIPCION | MARCA | PU(kg) | PESO PARCIAL(kg) |
|---------------|------|--------------------------|----------|--------|------------------|
| TQ-200MGLS-06 | 1 | NO-DESPIRADO Ø3" | | 11 | 11 |
| t1 | 1 | tubo sch.40 Ø3"x226 | A53 | 2.6 | 2.6 |
| f1 | 1 | flange Ø3" 150lb.slip-on | A105 | 4.1 | 4.1 |
| p1 | 1 | pl.8x265x265 | ASTM A36 | 4.41 | 4.41 |
| TQ-200MGLS-07 | 1 | NO-RESERVA Ø4" | | 13.8 | 13.8 |
| t2 | 1 | TUBO sch.40 Ø4"x225 | A-53 | 3.6 | 3.6 |
| f2 | 1 | FLANGE Ø4" 150lb.slip-on | A-105 | 5.4 | 5.4 |
| p2 | 1 | PL 6 X 305 X 305 | ASTM A36 | 4.38 | 4.4 |

| MARCA | CANT | DESCRIPCION | MARCA | PU(kg) | PESO PARCIAL(kg) |
|---------------|------|-----------------------------------|----------|--------|------------------|
| TQ-200MGLS-08 | 1 | N3-LLENADO Ø6" | | 303.7 | 100.7 |
| t3 | 1 | TUBO SCH.40 Ø6"x9770 | A-53 | 276.2 | 276.2 |
| f3 | 1 | FLANGE Ø6"150lb.slip-on | A-105 | 8.2 | 8.2 |
| p3 | 1 | Pl.8x375x375 | ASTM A36 | 8.83 | 8.8 |
| p6 | 3 | PL.6X150X150 | ASTM A36 | 1.06 | 3.2 |
| p7 | 1 | PL.6X250X250 | ASTM A36 | 2.94 | 2.9 |
| a1 | 3 | L.2X2X1/4 X310 | ASTM A36 | 1.5 | 4.4 |
| TQ-200MGLS-09 | 1 | N4-VENTED Ø8" | | 37 | 0 |
| t4 | 1 | TUBO SCH.40 Ø8" x273 | A-53 | 11.6 | 11.6 |
| f4 | 1 | flange Ø8"150lb.slip-on | A-105 | 12.7 | 12.7 |
| p4 | 1 | PL.6X450 X450 | ASTM A36 | 12.72 | 12.7 |
| TQ-200MGLS-10 | 1 | N5-RESERVA Ø4" | | 13.4 | 10.4 |
| t2 | 1 | TUBO SCH.40 Ø4" x225 | A-53 | 3.6 | 3.6 |
| f2 | 1 | flange Ø4"150lb.slip-on | A-105 | 5.4 | 5.4 |
| p2 | 1 | PL.6X305 X305 | ASTM A36 | 4.38 | 4.4 |
| TQ-200MGLS-11 | 1 | N6-MEDICION MANUAL Ø4" | | 182.4 | 101.4 |
| t5 | 1 | TUBO SCH.40 Ø4" X10370 | A-53 | 166.7 | 166.7 |
| p5 | 1 | PL.8 X275 X275 | ASTM A36 | 4.75 | 4.75 |
| p6 | 3 | PL.6 X150 X150 | ASTM A36 | 1.06 | 3.18 |
| p7 | 1 | PL.6 X250 X250 | ASTM A36 | 2.94 | 2.94 |
| a2 | 3 | L 2X2X1/4 X340 | ASTM A36 | 1.6 | 4.8 |
| ØØ | 1 | tapa roscada con cierre a presión | aluminio | 0 | 0 |
| TQ-200MGLS-12 | 1 | N7-MEDICIONES MECANICAS Ø2" | | 3.5 | 0 |

| | |
|-------------------------------|------------|
| otros pesos de los materiales | 6708.03 kg |
|-------------------------------|------------|

3.2.9 Sistema de pintura a utilizar.

Área exterior a considerar:

Preparación de superficie SSPC-SP10.

Primera aplicación: 1 CAPA DE Zinc Clad 60 BR 3 mils

Segunda aplicación: 1 CAPA diluida de MACROPOXY 850 (mist – coat)

Tercera aplicación: 2 capas de MACROPOXY 850 4 mils

Área interior a considerar:

Preparación de superficie SSPC –

SP5 1 Capa de Zinc Clad 60 BR 4.

1 Capa diluida de Macropoxy 646 (mist-coat).

- 1 Capa de Macropoxy 646 7 mils eps.
- 1 Cala de Sumatane hs Brillante 2 mils

3.2.10 Diseño de la protección catódica para un tanque api 650 de tapa cónica.

Diseñe un sistema de protección catódica que suministre el control de corrosión necesario al fondo del tanque. El sistema anódico deberá tener una vida útil de 30 años. Para efectos de diseño se debe utilizar los siguientes porcentajes de área desnuda iniciales por daño al recubrimiento conforme a la ISO 13174:2012

Zona de mareas 50%

Zona sumergida 45%

Zona de suelo 50%

Procedimiento de diseño

Datos necesarios.

Resistividad del: $\rho = 4491.5\Omega \cdot cm$

Superficie externa del fondo del tanque: $A = 0.25 \pi(10.523m)^2 = 78.54.m^2$

Densidad de corriente: $D_C = 13.35 \log \frac{10}{\rho}$

DATOS NECESARIOS:

| TANQUE | DIÁMETRO (m) | CAPACIDAD (Bls) | ÁREA A PROTEGER (m ²) | PRODUCTO |
|--------|--------------|-----------------|-----------------------------------|--------------------|
| TQ | 10 m | 200000 GLS | 78.54 | Combustible diésel |

| MATERIAL | DENSIDAD DE CORRIENTE (mA/m ²) |
|----------|--|
| ARENA | 24.73 |

3.2.10.1 Calculo de la corriente

$$I = D_C \cdot A$$

En la tabla 14 de la norma PEMEX, según la resistividad del terreno nos ubicamos en un suelo la zona de media de 2000 a 10000 Ohmio-cm.

Suponga que la corriente necesaria para suministrar protección catódica en la arena húmeda es de 1 microamperio por centímetro cuadrado. La corriente total requerida para el tanque de 36.6 metros de diámetro puede calcularse de la siguiente manera:

$$= A_s \cdot i$$

$$A_s = \pi \cdot D^2 = 3.14 \cdot 36.6^2 = 78.5 \text{ m}^2$$

Dónde:

I_T = corriente total requerida (A)

A_s = superficie del fondo del tanque

i = densidad de corriente requerida **tabla 17**. Suelo húmedo ($2.69 \cdot 10^{-3} \text{ mA/cm}^2$)

Para efectos de diseño se debe utilizar los siguientes, de área de recubrimiento será de 80% (20% área desnuda) según norma

PEMEX.

=2.11A

$$A_s = 78.5 \text{ m}^2 \cdot 0.20 = 15.7 \text{ m}^2.$$

Por lo tanto, de este cálculo concluimos que la superficie desnuda total prevista es de 15.7 metros cuadrados o 157000 centímetros cuadrados.

Se supone que la corriente necesaria para suministrar protección catódica en la arena es de 1 microamperio por centímetro cuadrado. La corriente total requerida para el tanque de 10 metros de diámetro será.

$$I = 1 \cdot 15.7 = 0.157 \text{ A}$$

A continuación calcule la cantidad de magnesio requerida para suministrar 30 años a un drenaje constante de 0.157 A.

El magnesio tiene una capacidad de 0.251 A-año/kg según **tabla 16**, a una eficiencia de 50% según **tabla 17**.

Cálculo de la masa del magnesio.

$$W = (t \cdot I) / Ca$$

Dónde:

W = peso de magnesio requerido (kg)

T = tiempo (30 años)

I = corriente (0.157 A)

Ca = capacidad (0.251 A-año/kg)

$$W = (30 \text{ años} \times 0.157 \text{ A}) / (0.251 \text{ A-año/kg}) = 18.77 \text{ kg (41.28 libras)}.$$

La capacidad (c) incluye el factor de eficiencia de “auto-corrosión” electroquímica. Cuando un ánodo se consume, es imposible utilizar todo el material anódico teóricamente disponible. El tamaño y/o integridad mecánica irán disminuyendo hasta llegar al punto en que el ánodo ya no funcione. Generalmente, se aplica también un factor de utilización del 85% por norma PEMEX. Esto significa que una vez consumido el 85% del ánodo, ya no se puede confiar en que funcionará eficazmente como ánodo. Por lo tanto, el requerimiento de peso teniendo en cuenta este ajuste es de:

$$W = 18.77 \text{ Kg} / 0.85 = 22.08 \text{ kg} = 22 \text{ Kg}$$

Consideremos los ánodos de magnesio de 9 kilogramos (32 lb.).

Determine la cantidad de estos ánodos necesarios para llegar a los 22

Kilogramos.

$$N = 22 \text{ kg} / 9 \text{ kg} = 3$$

Se requieren 3 ánodos.

A continuación, calcule la resistencia aproximada de un único ánodo en un suelo de 4491.5 ohm-centímetro.

Usando la ecuación de Dwight:

$$\frac{R}{\rho} = \frac{L}{A}$$

Dónde:

R = resistencia del ánodo (ohmios)

ρ = resistividad (4491.5 ohm-cm)

ρ = resistividad del relleno (300 ohm-cm)

L = longitud del ánodo (1.5 m)

d = diámetro del ánodo (0.05 m)

= $\frac{4491.5 \times 1.5}{0.05^2} + \frac{300 \times 1.5}{0.05^2} = 21.353$ ohmios.

Ignorando las dimensiones y resistividad del relleno especial y la resistencia del tanque al terreno remoto, la resistencia aproximada de un único ánodo sería de 21.4 ohmios. Si usamos magnesio de alto potencial, que opera a un potencial de -1.78 voltios con respecto a la referencia de cobre/sulfato de cobre según tabla y el tanque, polarizado a -850 mV (-0.85 voltios), el potencial impulsor neto será de -0.9 voltios. El drenaje de corriente desde un único ánodo (despreciando los efectos de proximidad) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$I = 0.9 \text{ V} / 21.353 \text{ } \Omega = 0.042 \text{ A/ánodo.}$

Los 0.042 amperios por ánodo multiplicado por la mínima cantidad de ánodos requeridos en base al peso necesario (12), nos dan una corriente total de:

$I = 3 \times 0.042 \text{ A} = 0.126 \text{ A.}$

Precios de ánodos de magnesio

Ánodo de 9 de = 10 y = 40 su precio es de \$140 sin

IGV

Ánodo de 18 de = 10 y = 50 su precio es de \$200 sin

IGV

En este proyecto se usara ánodos de sacrificio de dimensiones

18 de = 10 y = 50 en un total de = 12 * \$200 = \$2400

3.3. REVISIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS

A continuación realizaremos una comparación si es factible el uso de protección catódica con ánodo de sacrificio o un tanque sin su protección catódica:

Tanque cónico sin protección catódica

- ✓ Su tiempo de vida estará sujeto a la protección del recubrimiento de pintura y el espesor de la plancha del tanque.
- ✓ Existe mayor riesgo que el tanque se deteriore por el nivel de corrosión del suelo.
- ✓ Una reducción del tiempo de vida del tanque y un mantenimiento preventivo con mayor frecuencia.

Tanque cónico con su protección catódica

- ✓ Su tiempo de vida útil estará sujeto a la protección catódica al recubrimiento de pintura y al espesor de las planchas del tanque.
- ✓ Existe una disminución de que el tanque se deteriore por el nivel de corrosión del suelo.
- ✓ Un aumento del tiempo de vida del tanque y un mantenimiento preventivo con menor frecuencia.

CONCLUSIONES

- De acuerdo al medio donde se va instalar el tanque que es una zona muy corrosiva , queda evidenciado que es necesario una protección adicional al existente y el método más óptimo es la protección catódica por ánodo de sacrificio por ser más económico y de más fácil su instalación..
- El tipo de sistema de protección catódico seleccionado es por ánodos de sacrificio en el cual se empleara ánodos de magnesio por ser más económico y de mayor potencial para zonas corrosivas, no se puede emplear ánodos de aluminio ni de zinc porque estos ánodos son empleados en medios marinos y son de mayor costo económico.
- De acuerdo a los parámetros obtenidos en el estudio técnico del tanque API 650, para el diseño de protección catódico por ánodo de sacrificio, se requieren tres ánodos de magnesio de treinta y dos libras por ánodo.
- Realizar la protección catódica del tanque permite ampliar el tiempo de vida útil de dicho tanque, otra alternativa es incrementar el espesor de la plancha para efectos de la corrosión, si a dicha plancha ataca la corrosión el siguiente paso es necesariamente el cambio total de la base, con lo que el activo se ve afectado.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que una vez instalado los ánodos de sacrificios se debe utilizar hasta que se consuma el 85 por ciento de su masa, luego se debe retirar ya que no tiene el potencial suficiente para proteger la base de la estructura.
- Se recomienda el uso de la técnica de protección catódica con ánodos de magnesio por ser de mayor conductividad que el aluminio que es utilizado en embarcaciones y zonas de menor conductividad.
- Se recomienda revisar el recubrimiento de la base del tanque que este al cien por ciento para una mayor protección ante el ataque de la corrosión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Daniel Hidalgo... año, Protección Catódica. Lugar
- [2] Francisco Luis Cuesta Fernández (2009), análisis del fenómeno de la corrosión en materiales de uso técnico: metales. Procedimientos de protección,
- [3] Danilo Xavier Cabezas Gualotuño, David Eduardo Ramos Murillo (2010), Sistema informático de automatización para el diseño de tanques atmosféricos de techo cónico para almacenar petróleo y/o sus derivaos según la norma API 650, Quito-Ecuador.
- [4] Guillermo Gustavo Carreño Vázquez, José Fernando Hernández Luna (2008); Diseño de cálculo de un tanque de almacenamiento para nafta con diámetro de 70ft x 30 ft de altura. Bajo la norma api 650, escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica unidad Azcapotzalco.
- [5] API standard (American Petroleum Institute) 650 – sección 195.132(b)(3) ,welded Steel tanks for oil storage,USA 2007. Eleventh edition, june 2007.
- [6] Francisco Luis Cuestas Fernández (2009).Análisis del fenómeno de la corrosión en materiales de uso técnico: metales. Procedimiento de protección.
- [7] PEMEX (comité de normalización de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios) 2007.protección catódica en tanques de almacenamiento.
- [8] ARGO S.A (sociedad española de tratamiento anticorrosivos).SISTEMA DE PROTECION CATODICA.
- [9] Erika Magaly Sanguano Masache. (2012).Mantenimiento de tanques de almacenamiento en la refinería estatal esmeralda. Escuela superior politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador.
- [10] Fabre Cruz G,juarez Garcia c. Método de protección catódica para controla la corrosión galvánica. México.
- [11] <http://www.argo-es.com/pdf/practica.pdf>
- [12] Jorge cantor Rodríguez, Nelson A pinzón 1995. Programa para el diseño de sistema de protección catódica con ánodos de sacrificio. Santafé de Bogotá.

- [13] Calos A. Guidice y Andrea M. Pereyra. Protección Catódica Con Ánodos Galvánicos.
- [14] Rene Oswaldo Girón Callejas 2005, protección catódica y su aplicación de tanque de almacenamiento de productos petroleros en plantas Guatemaltecas.
- [15] Ing. Juan Carlos Pachón, *mediante ánodos de sacrificio y corriente impresa para estructuras en suelos y ambientes marino. Tecnología total.*
- [16] Tipo de ánodo de sacrificio, encontrado en http://www.ingesco.com/sites/default/files/productos/pdf/ft_anodos_de_sacrificio_es.pdf
- [17] Zinc cland 60 BR, Sherwin Williams, encontrado en. [file:///C:/Users/DXUSER/Downloads/ZincClad60BR%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/DXUSER/Downloads/ZincClad60BR%20(1).pdf)
- [18] Macropoxy 850, Sherwin Williams, encontrado en. [file:///C:/Users/DXUSER/Downloads/Macropoxy850%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/DXUSER/Downloads/Macropoxy850%20(3).pdf)

ANEXO 1
TABLAS Y COTIZACIONES

ANEXO 1.1

Norma PEMEX potenciales mínimos para los electrodos. [9]

| Metal o Aleación | Electrodo de referencia (y condiciones de uso) | | | |
|--|--|---|----------------------------------|-----------------------------|
| | Cu/CuSO ₄ (en suelos y agua fresca) | Ag/AgCl/KCl sat. (en cualquier electrolito) | Ag/AgCl/agua de mar (ver nota 1) | Zn/Agua de mar (ver nota 1) |
| Electrodos de Referencia | | | | |
| | V | V | V | V |
| Hierro y Acero | | | | |
| Ambiente aeróbico | -0,85 | -0,75 | -0,8 | +0,25 |
| Ambiente anaeróbico | -0,95 | -0,85 | -0,9 | +0,15 |
| Plomo | -0,6 | -0,5 | -0,55 | +0,5 |
| Aleaciones de Cobre | -0,5 a -0,65 | -0,4 a -0,55 | -0,45 a -0,6 | +0,6 a +0,45 |
| Aluminio | | | | |
| Limite positivo | -0,95 | -0,85 | -0,9 | +0,15 |
| Limite negativo | -1,2 | -1,1 | -1,15 | -0,1 |
| Nota 1: para uso en agua de mar aireada y no diluida. El agua de mar está en contacto directo con el electrodo metálico. | | | | |

ANEXO 1.3

Norma API 650 cálculos del espesor de la tapa del MANHOLE [5]

Table 5-3a—(SI) Thickness of Shell Manhole Cover Plate and Bolting Flange

| Column 1 Max. Design Liquid Level m H | Column 2 Equivalent ^a Pressure ^a kPa | Column 3-6 Minimum Thickness of Cover Plate ^b (t _c) | | | | Column 7-10 Minimum Thickness of Bolting Flange After Finishing ^b (t _f) | | | |
|---|---|---|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| | | Column 3 500 mm Manhole | Column 4 600 mm Manhole | Column 5 750 mm Manhole | Column 6 900 mm Manhole | Column 7 500 mm Manhole | Column 8 600 mm Manhole | Column 9 750 mm Manhole | Column 10 900 mm Manhole |
| 5.2 | 51 | 8 | 10 | 11 | 13 | 6 | 6 | 8 | 10 |
| 6.7 | 66 | 10 | 11 | 13 | 14 | 6 | 8 | 10 | 11 |
| 8.0 | 78 | 10 | 11 | 14 | 16 | 6 | 8 | 11 | 13 |
| 9.9 | 97 | 11 | 13 | 16 | 18 | 8 | 10 | 13 | 14 |
| 11.1 | 109 | 13 | 14 | 16 | 19 | 10 | 11 | 13 | 16 |
| 13.4 | 131 | 13 | 14 | 18 | 21 | 10 | 11 | 14 | 18 |
| 16.1 | 158 | 14 | 16 | 19 | 22 | 11 | 13 | 16 | 19 |
| 18.6 | 182 | 16 | 18 | 21 | 24 | 13 | 14 | 18 | 21 |
| 22.9 | 224 | 18 | 19 | 24 | 25 | 13 | 14 | 18 | 24 |

^aEquivalent pressure is based on water loading.

^bFor addition of corrosion allowance, see 5.7.5.2.

^cCover Plate and Flange thickness given can be used on Manholes dimensioned to ID or OD.

Note: See Figure 5-7A.

ANEXO 1.4

Norma API 650 cálculos del espesor del cuello del MANHOL [5]

Table 5-4a (SI)—Dimensions for Shell Manhole Neck Thickness

| Thickness of Shell and Manhole Reinforcing Plate ^a <i>t</i> and <i>T</i> | Minimum Neck Thickness ^{b,c} <i>t_n</i> mm | | | |
|---|---|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | For Manhole Diameter 500 mm | For Manhole Diameter 600 mm | For Manhole Diameter 750 mm | For Manhole Diameter 900 mm |
| 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 8 | 6 | 6 | 8 | 8 |
| 10 | 6 | 6 | 8 | 10 |
| 11 | 6 | 6 | 8 | 10 |
| 12.5 | 6 | 6 | 8 | 10 |
| 14 | 6 | 6 | 8 | 10 |
| 16 | 6 | 6 | 8 | 10 |
| 18 | 6 | 6 | 8 | 10 |
| 19 | 6 | 6 | 8 | 10 |
| 21 | 8 | 6 | 8 | 10 |
| 22 | 10 | 8 | 8 | 10 |
| 24 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| 25 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| 27 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| 28 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| 30 | 14 | 14 | 14 | 14 |
| 32 | 16 | 14 | 14 | 14 |
| 33 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 35 | 17 | 16 | 16 | 16 |
| 36 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| 38 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 40 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 41 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 43 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 45 | 22 | 22 | 22 | 22 |

ANEXO 1.5

Norma API 650 diámetros del eje del círculo del agujero [5].

Table 5-5a—(SI) Dimensions for Bolt Circle Diameter D_b and Cover Plate Diameter D_c for Shell Manholes

| Column 1 | Column 2 | Column 3 |
|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Manhole Diameter OD mm | Bolt Circle Diameter D_b mm | Cover Plate Diameter D_c mm |
| 500 | 667 | 730 |
| 600 | 768 | 832 |
| 750 | 921 | 984 |
| 900 | 1073 | 1137 |

Note: See Figure 5-7A.

ANEXO 1.6

Norma API 650 diámetro exterior del tubo y espesor [5]

Table 5-6b—(USC) Dimensions for Shell Nozzles (in.)

| Column 1 | Column 2 | Column 3 | Column 4 | Column 5 | Column 6 | Column 7 | Column 8 | Column 9 ^e |
|----------------------------|--------------------------------------|--|---|--|---|--|---|--------------------------------|
| NPS (Size of Nozzle) | Outside Diameter of Pipe OD | Nominal Thickness of Flanged Nozzle Pipe Wall ^a t_n | Diameter of Hole in Reinforcing Plate D_R | Length of Side of Reinforcing Plate ^b or Diameter $L = D_b$ | Width of Reinforcing Plate W | Minimum Distance from Shell-to-Flange Face J | Minimum Distance from Bottom of Tank to Center of Nozzle Regular Type ^d H_N | Low Type C |
| Flanged Fittings | | | | | | | | |
| 60 | 60 | e | 60 ¹ / ₈ | 120 ³ / ₄ | 145 ³ / ₄ | 16 | 64 ⁵ / ₈ | 60 ³ / ₈ |
| 54 | 54 | e | 54 ¹ / ₈ | 108 ³ / ₄ | 131 ¹ / ₂ | 16 | 58 ⁵ / ₈ | 54 ³ / ₈ |
| 52 | 52 | e | 52 ¹ / ₈ | 104 ³ / ₄ | 126 ¹ / ₂ | 16 | 56 ⁵ / ₈ | 52 ³ / ₈ |
| 50 | 50 | e | 50 ¹ / ₈ | 100 ³ / ₄ | 121 ³ / ₄ | 16 | 54 ⁵ / ₈ | 50 ³ / ₈ |
| 48 | 48 | e | 48 ¹ / ₈ | 96 ³ / ₄ | 117 | 16 | 52 ⁵ / ₈ | 48 ³ / ₈ |
| 46 | 46 | e | 46 ¹ / ₈ | 92 ³ / ₄ | 112 | 16 | 50 ⁵ / ₈ | 46 ³ / ₈ |
| 44 | 44 | e | 44 ¹ / ₈ | 88 ³ / ₄ | 107 ¹ / ₄ | 15 | 48 ⁵ / ₈ | 44 ³ / ₈ |
| 42 | 42 | e | 42 ¹ / ₈ | 84 ³ / ₄ | 102 ¹ / ₂ | 15 | 46 ⁵ / ₈ | 42 ³ / ₈ |
| 40 | 40 | e | 40 ¹ / ₈ | 80 ³ / ₄ | 97 ³ / ₄ | 15 | 44 ⁵ / ₈ | 40 ³ / ₈ |
| 38 | 38 | e | 38 ¹ / ₈ | 76 ³ / ₄ | 92 ³ / ₄ | 14 | 42 ⁵ / ₈ | 38 ³ / ₈ |
| 36 | 36 | e | 36 ¹ / ₈ | 72 ³ / ₄ | 88 | 14 | 40 ⁵ / ₈ | 36 ³ / ₈ |
| 34 | 34 | e | 34 ¹ / ₈ | 68 ³ / ₄ | 83 ¹ / ₄ | 13 | 38 ⁵ / ₈ | 34 ³ / ₈ |
| 32 | 32 | e | 32 ¹ / ₈ | 64 ³ / ₄ | 78 ¹ / ₂ | 13 | 36 ⁵ / ₈ | 32 ³ / ₈ |
| 30 | 30 | e | 30 ¹ / ₈ | 60 ³ / ₄ | 73 ¹ / ₂ | 12 | 34 ⁵ / ₈ | 30 ³ / ₈ |
| 28 | 28 | e | 28 ¹ / ₈ | 56 ³ / ₄ | 68 ³ / ₄ | 12 | 32 ⁵ / ₈ | 28 ³ / ₈ |
| 26 | 26 | e | 26 ¹ / ₈ | 52 ³ / ₄ | 64 | 12 | 30 ⁵ / ₈ | 26 ³ / ₈ |
| 24 | 24 | 0.50 | 24 ¹ / ₈ | 49 ¹ / ₂ | 60 | 12 | 29 | 24 ³ / ₄ |
| 22 | 22 | 0.50 | 22 ¹ / ₈ | 45 ¹ / ₂ | 55 ¹ / ₄ | 11 | 27 | 22 ³ / ₄ |
| 20 | 20 | 0.50 | 20 ¹ / ₈ | 41 ¹ / ₂ | 50 ¹ / ₂ | 11 | 25 | 20 ³ / ₄ |
| 18 | 18 | 0.50 | 18 ¹ / ₈ | 37 ¹ / ₂ | 45 ³ / ₄ | 10 | 23 | 18 ³ / ₄ |
| 16 | 16 | 0.50 | 16 ¹ / ₈ | 33 ¹ / ₂ | 40 ³ / ₄ | 10 | 21 | 16 ³ / ₄ |
| 14 | 14 | 0.50 | 14 ¹ / ₈ | 29 ¹ / ₂ | 36 | 10 | 19 | 14 ³ / ₄ |
| 12 | 12 ³ / ₄ | 0.50 | 12 ⁷ / ₈ | 27 | 33 | 9 | 17 ³ / ₄ | 13 ¹ / ₂ |
| 10 | 10 ³ / ₄ | 0.50 | 10 ⁷ / ₈ | 23 | 28 ¹ / ₄ | 9 | 15 ³ / ₄ | 11 ¹ / ₂ |
| 8 | 8 ⁵ / ₈ | 0.50 | 8 ³ / ₄ | 19 | 23 ¹ / ₄ | 8 | 13 ³ / ₄ | 9 ¹ / ₂ |
| 6 | 6 ⁵ / ₈ | 0.432 | 6 ³ / ₄ | 15 ³ / ₄ | 19 ¹ / ₂ | 8 | 12 ¹ / ₈ | 7 ⁷ / ₈ |
| 4 | 4 ¹ / ₂ | 0.337 | 4 ⁵ / ₈ | 12 | 15 ¹ / ₄ | 7 | 10 ¹ / ₄ | 6 |
| 3 | 3 ¹ / ₂ | 0.300 | 3 ⁵ / ₈ | 10 ¹ / ₂ | 13 ¹ / ₂ | 7 | 9 ¹ / ₂ | 5 ¹ / ₄ |
| 2 ^f | 2 ³ / ₈ | 0.218 | 2 ¹ / ₅ | — | — | 6 | 7 | h |

ANEXO 1.7

Norma API 650 mínimo espesor del tubo de la boquilla [5].

Table 5-7a—(SI) Dimensions for Shell Nozzles: Pipe, Plate, and Welding Schedules (mm)

| Column 1 | Column 2 | Column 3 | Column 4 | Column 5 | Column 6 |
|--|---|---|------------------------------|------------------------------|----------------------|
| Thickness of Shell and Reinforcing Plate ^a <i>t</i> and <i>T</i> | Minimum Pipe Wall Thickness of Flanged Nozzles ^b <i>t_n</i> | Maximum Diameter of Hole in Shell Plate (<i>D_n</i>) Equals Outside Diameter of Pipe Plus | Size of Fillet Weld <i>B</i> | Size of Fillet Weld <i>A</i> | |
| | | | | Nozzles Larger Than NPS 2 | NPS 3/4 to 2 Nozzles |
| 5 | 12.7 | 16 | 5 | 6 | 6 |
| 6 | 12.7 | 16 | 6 | 6 | 6 |
| 8 | 12.7 | 16 | 8 | 6 | 6 |
| 10 | 12.7 | 16 | 10 | 6 | 6 |
| 11 | 12.7 | 16 | 11 | 6 | 6 |
| 13 | 12.7 | 16 | 13 | 6 | 8 |
| 14 | 12.7 | 20 | 14 | 6 | 8 |
| 16 | 12.7 | 20 | 16 | 8 | 8 |
| 17 | 12.7 | 20 | 18 | 8 | 8 |
| 20 | 12.7 | 20 | 20 | 8 | 8 |
| 21 | 12.7 | 20 | 21 | 10 | 8 |
| 22 | 12.7 | 20 | 22 | 10 | 8 |
| 24 | 12.7 | 20 | 24 | 10 | 8 |
| 25 | 12.7 | 20 | 25 | 11 | 8 |
| 27 | 14 | 20 | 27 | 11 | 8 |
| 28 | 14 | 20 | 28 | 11 | 8 |
| 30 | 16 | 20 | 30 | 13 | 8 |
| 32 | 16 | 20 | 32 | 13 | 8 |
| 33 | 18 | 20 | 33 | 13 | 8 |
| 35 | 18 | 20 | 35 | 14 | 8 |
| 36 | 20 | 20 | 36 | 14 | 8 |
| 38 | 20 | 20 | 38 | 14 | 8 |
| 40 | 21 | 20 | 40 | 14 | 8 |
| 41 | 21 | 20 | 40 | 16 | 8 |
| 43 | 22 | 20 | 40 | 16 | 8 |
| 45 | 22 | 20 | 40 | 16 | 8 |

ANEXO 1.8

Tabla para MANHOL de techo [5]

Table 5-13a—(SI) Dimensions for Roof Manholes (mm)

| Column 1 | Column 2 | Column 3 | Column 4 | Column 5 | Column 6 | Column 7 | Column 8 | Column 9 |
|-----------------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------|--------------------|----------|--|--|
| Size of Manhole | Diameter of Neck D_N | Diameter of Cover Plate D_C | Diameter of Bolt Circle D_B | Number of Bolts | Diameter of Gasket | | Diameter of Hole in Roof Plate or Reinforcing Plate D_P | Outside Diameter of Reinforcing Plate D_R |
| | | | | | Inside | Outside | | |
| 500 | 500 | 660 | 597 | 16 | 500 | 660 | 524 | 1050 |
| 600 | 600 | 762 | 699 | 20 | 600 | 762 | 625 | 1150 |

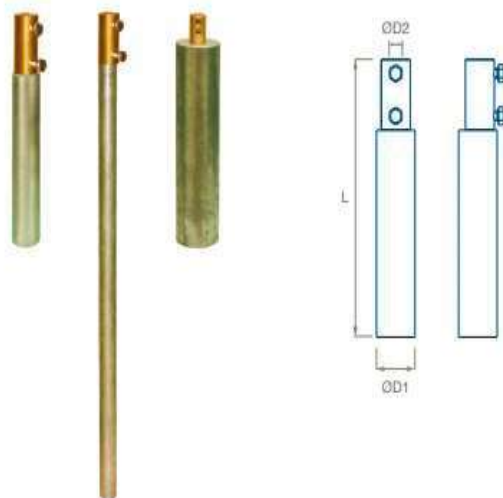
^aPipe may be used for neck, providing the minimum nominal wall thickness is 6 mm (D_N and D_P shall be adjusted accordingly.)
Note: See Figure 5-18.

Table 5-13b—(USC) Dimensions for Roof Manholes (in.)

| Column 1 | Column 2 | Column 3 | Column 4 | Column 5 | Column 6 | Column 7 | Column 8 | Column 9 |
|-----------------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------|--------------------|----------|--|--|
| Size of Manhole | Diameter of Neck D_N | Diameter of Cover Plate D_C | Diameter of Bolt Circle D_B | Number of Bolts | Diameter of Gasket | | Diameter of Hole in Roof Plate or Reinforcing Plate D_P | Outside Diameter of Reinforcing Plate D_R |
| | | | | | Inside | Outside | | |
| 20 | 20 | 26 | 23½ | 16 | 20 | 26 | 20 ⁵ / ₈ | 42 |
| 24 | 24 | 30 | 27½ | 20 | 24 | 30 | 24 ⁵ / ₈ | 46 |

ANEXO 1.9

Ánodos de sacrificio y su resistividad según el terreno [16]



» ÁNODOS DE SACRIFICIO

Ánodos para la protección catódica de electrodos de tierra o masas metálicas.

► aplicaciones

El ánodo de sacrificio es un elemento que protege de la corrosión a otro material conectado a éste. Los ánodos de sacrificio INGESCO proveen a la instalación de puesta a tierra de una protección catódica, proporcionando una mayor durabilidad de los electrodos enterrados y evitando un envejecimiento prematuro debido a los efectos de la corrosión.

La protección catódica por ánodos de sacrificio es uno de los métodos más utilizados para minimizar los efectos de la corrosión de electrodos.

Se recomienda su instalación en terrenos de baja resistividad, para la protección de elementos metálicos conectados a un sistema de puesta a tierra (depósitos, tuberías, etc.).

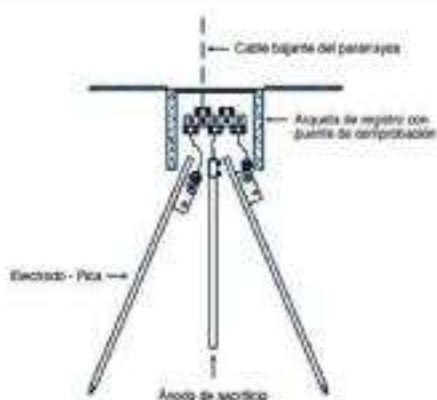
También se aconseja su instalación en puestas a tierra cercanas a tramos ferroviarios o líneas de alta tensión, evitando así que se produzca un rápido deterioro a causa de las corrientes erráticas.

- Modelo HC (High conductivity) se utiliza para terrenos de baja resistividad, $\rho \leq 50 \Omega\text{m}$
- Modelo MC (Medium conductivity) se utiliza para terrenos de resistividad media, $50 < \rho \leq 200 \Omega\text{m}$
- Modelo LC (Low conductivity) se utiliza para terrenos de resistividad alta, $200 < \rho \leq 500 \Omega\text{m}$

ANEXO 1.10

Especificaciones técnicas de los ánodos galvánicos.

► esquema de montaje



► normativas y ensayos

- IEC 62305 - IEC 62561

► especificaciones técnicas

| Descripción | Ref. | Mat. | D1 (mm) | D2 (mm) | L (mm) | Peso (g) |
|---------------------------------|--------|----------|---------|---------|--------|----------|
| Modelo HC de 200 mm de longitud | 251017 | Zinc | 40 | 12,5 | 260 | 2420 |
| Modelo MC de 600 mm de longitud | 251018 | Zinc | 25 | 12,5 | 660 | 2790 |
| Modelo LC de 280 mm de longitud | 251019 | Magnesio | 66 | 12,5 | 330 | 920 |

ANEXO 2

Resistividades

Resistividad del terreno de VILLA EL SALVADOR

| Ubicación (Calle) | Calicata de Referencia | Tipo de Suelos | Profundidad del Tubo (mts) | Distancia Electrodo (m) | Lectura Aparato Ohmio | Temperatura del Suelo °C | Resistividad del Suelo Ohmio-cm | Humedad del Suelo | | |
|---------------------|------------------------|----------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------|---------------|
| | | | | | | | | Buena Permeabilidad | Drenaje Suave | Drenaje Pobre |
| AV. Mateo Pumacahua | C-2 | Arenas | 2.50 | 2.50 | 4.50 | 20 | 7363.11 | X | | |
| | | | | | | | | | | |
| - | * | Arenas | 2.00 | 2.00 | 2.50 | 20 | 3272.49 | X | | |
| - | * | | 2.50 | 2.50 | 2.40 | 20 | 3926.99 | X | | |
| - | * | Arenas | 4.00 | 4.00 | 1.30 | 20 | 3403.39 | X | | |
| | | | | | | | | | | |

ANEXO 2.1

Campo de acción de los ánodos de magnesio

Campo de Acción de los Ánodos de Magnesio

- No son recomendables para su utilización en agua de mar, ya que su elevada auto corrosión hace que los rendimientos sean muy bajos.
- Se usan en agua cuando la resistividad es mayor a 500 ohm-cm.
- Su mejor campo de aplicación es en medios de resistividad elevada (entre 5 000 y 20 000 ohm-cm).

| Material | Medio | Resistividad Ohm-cm |
|-------------------------|-------|---------------------|
| Al | Agua | hasta 150 |
| Zn | | hasta 500 |
| Mg (-1.5V) | | mayor de 500 |
| Zn con backfill | Suelo | hasta 1 500 |
| Me (-1.5V) con backfill | | hasta 4 000 |
| Mg (-1.7V) con backfill | | 4 000-6 000 |

TECNOLOGÍA TOTAL

ANEXO 3

Presupuestos

3.1 Presupuesto de tanque API 650 de 10.00 m de diámetro y 9.65 m de altura.



Lima, 26 de Mayo del 2016

Ppto. N° 110 MAYO 2016 REV.2

Señores
DURO FELGUERA SA
Secursal del Perú

Presente

Atención: Sr. Andrés Alvarez-Castellón.
Dpto. de compras.

Ref. : Proyecto villa Salvador - Lima. Power Plant - ENERSUR.
Obra : Ingeniería, Suministro de materiales, fabricación, pintura y transporte de un Tanque de Agua Desmineralizada.

Propuesta Técnica - Económica

Por medio de la presente propuesta les presentamos nuestra mejor oferta técnica - económica "Por la Elaboración de Cálculo, diseño, planos de taller, Suministro de materiales, fabricación, pintura y transporte de un Tanque de combustible diesel"

ANTECEDENTES

- Su invitación realizada vía E-mail
- Documento CHIP-UDF-00-GHC-ME-1159, Rev 0 Especificaciones técnicas.
- Documento CHIP-UDF-00-YYY-ME-1162-00_C, Protective coating and painting technical specification.
- Documento CHIP-UDF-00-YYY-QP-20023_Req Q Sum. Tanque atmosférico.
- OFFER COMMENTS / CLARIFICATIONS.
- Nuestro Plano P3-0850 Rev.2

CÓDIGO Y/O NORMAS APLICADOS

API-650, ASTM, AWS, SSPC

CONSIDERACIONES DEL LUGAR

Localidad : villa Salvador - Lima.
Lugar : villa Salvador
Altura : 36 m.s.n.m.
Presión : 1.007 bar

Avenida Manuel Ojeda N° 533 Of. 402 - Santiago de Surco
Teléfonos: 4374258

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

| | |
|---------------------------------|--|
| Estándar de diseño | : API 650 , API 2000. |
| Tipo | : AUTOSOPORTADO |
| Capacidad bruta | : 757,91 m ³ : 200,000 GLS |
| Capacidad neta | : 744,22 m ³ . |
| Diámetro interno | : 10,00 m |
| Altura | : 9,65m |
| Flujo de llenado | : 20 m ³ /h |
| Flujo de salida | : 10 m ³ /h |
| Freeboard de tanque | : 217 m ³ 1,1 |
| Producto | : diesel |
| Gravedad específica | : 0,88(Promedio) |
| Parámetros sísmicos | : Los cálculos mecánicos a realizar en el tanque Cumplirán con las condiciones de carga más restrictiva entre E.030 y UBC 1997. |
| Parámetros de viento | : Según código Perú E.020 |
| Velocidad del viento | : 75 KPH a 10 m sobre suelo circundante. |
| Parámetro por nieve | : Según código Perú E.020 |
| Factor diseño por nieve | : 40 kg/m ² |
| Factor de diseño carga viva | : 300 kg/m ² escaleras, peldaños y accesos. 200 kg/m ² para techo. |
| Max. Temperatura operación | : 35°C. |
| Min. Temperatura operación | : 5°C. |
| Humedad relativa diseño | : 79.0% |
| Soldaduras Envolvente | : a tope |
| Fondo | : a backing |
| Techo | : Conico |
| Espesor adicional por corrosión | : 1.6 mm |

MATERIALES A UTILIZAR

- Planchas de acero de la calidad ASTM A-283 Grado C, Equivalente A-36.
- Perfiles de acero de la calidad ASTM A-283 Grado C, Equivalente A-36.
- Anillos de refuerzos perimetrales, A-283 Grado C, Equivalente A-36.
- Barras de acero de la calidad SAE 1020
- Tubos de barandas acero calidad SCH40 ASTM A-53.
- Brida de venteo de 6" dia. ANSI B 16.5 RF.
- Brida conexión de llenado de 8" dia. ANSI B 16.5 RF.
- El Manhole de casco será suministrado con su pescante 24"
- Pernos de la calidad A-193 Gr.87 / A 307. Galvanizados en caliente.
- Pernos de anclaje calidad ASTM SAE 1045

El tanque estará compuesto por los siguientes elementos:

- Fondo.- Ligeramente cónico fabricado a base de plancha de 8.0 mm de espesor.
- Anillo perimetral en el fondo de 9.0 mm.
- Cilindro.-Fabricado planchas de 2.40 m de alto. (1Anillo de 8.0 mm x2.40 m alto)
- Techo.- Tipo cónico AUTOSOPORTADO Fabricado a base de planchas de 8 mm. con viguetas radiales de C plegados. Pendiente de techo = 1/6 (Ver Plano P3-0850 Rev.2)
- Anillo de refuerzo en la parte superior a base de L5x5x 1/2"

- Conexiones del tanque SO, 150 #, ANSI B16.5, indicado las especificaciones técnicas
- Tubo buzo para la tobera de entrada de agua desmineralizada (1 1/2") y para la tobera de recirculación (3/4") con sus respectivos soportes intermedios. Material AISI 304 , respectivamente.
- Nivel visual tipo regleta y contrapeso en lado exterior con su respectivo venteo en la parte superior.
- Soportes externos tipo sillitas de anclajes.
- Baranda perimetral en techo y en escalera en tubo A.53 Gr. B
- Escalera tipo helicoidal con plataforma intermedia.
- Peldaños y plataforma intermedia de escalera galvanizado en caliente
- Placa de identificación de acuerdo a normas API 650. (H.A36).
- Pernos de anclajes.

ABSORBEDOR DE CO2.

- Para la capacidad neta del tanque se incluye un Absorbedor de CO2, Modelo **CS-CO2 T8F08 VONEN** con un set inicial de Células de Absorbente, de Pre- y Postfiltros, Válvulas de Alivio ,Indicador de presión diferencial local. Equipo fabricado en acero Inoxidable AISI 316L.
Prestaciones-Condiciónes según Estándar API 2000/2009 ANNEX A.
-Tiempo de residencia: 1,3 segundos a 323,7 m3/h inhalación
-Eficacia de filtración de CO2: hasta 100% a 323.7 m3/h inhalación
-Pérdida de carga del filtro con conexión 6".
Prefiltro y Postfiltro limpios: < 200 Pa a 323.7 m3/h inhalación.
Prefiltro y Postfiltro Sucios : < 360Pa a 323.7 m3/h inhalación.
Prefiltro y Postfiltro limpios: < 230Pa a 354.7 m3/h exhalación.
Prefiltro y Postfiltro Sucios : <420Pa a 354.7 m3/h exhalación.
- Soportes al techo del tanque en Material A36.
- El equipo Absorbedor de CO2 será pintado exteriormente de acuerdo a la especificaciones técnicas CH3P-UDF-00-YYY-ME-1162-00 Protective coating and Painting Technical Specification.
- El equipo Absorbedor de CO2 será suministrado con su respectivo indicador local de diferencia de presión.



INGENIERÍA - FABRICACIÓN - MONTAJE

- Tuerca de la calidad A-194 - 2H
- Empaquetadura Flexible para Manholes (Jebe natural)
- Electrodo de acero de la calidad E-6011, E7018.
- Pintura de acuerdo a sus especificaciones.

CONSIDERACIONES GENERALES

A) ASIRUSA.- suministrará y/o ejecutará lo siguiente:

- Diseño y cálculo de los espesores de planchas a usar para el tanque.
- Cálculo mecánico sísmico según norma E 0.30 y de estabilidad de vuelco según API 650.
- Los cálculos mecánicos a realizar en el tanque cumplirán con las condiciones de carga más restrictiva entre E-030 y UBC 1997.
- Cálculo de los anclajes necesarios y Diseño de las silletas de sujeción de los mismos.
- Elaboración de la Ingeniería de Taller. (Plano de arreglo general y de detalles de fabricación).
- Elaboración de plano de cargas que servirán para que DURO FELGUERA S.A. elabore los cálculos, diseño y planos de las obras civiles.
- Todos los materiales básicos, soldadura y consumibles.
- Trazado en general de todas las planchas.
- Habilitado del material según planos.
- Preparación de biselés donde corresponda.
- Rolado de planchas del casco.
- Fabricación de componentes del tanque.
- Fabricación de orejetas en el anillo exterior perimetral de fondo para la puesta a tierra y para los electrodos de protección catódica del fondo.
- Fabricación de pernos de anclajes.
- Limpieza mecánica en general.
- La pintura, solventes para el sistema propuesto
- Arenado y aplicación de la primera capa de pintura base en taller
- Los pernos, empaquetadura y conexiones
- Preparación de los procedimientos de soldadura.
- La mano de obra calificada tanto para la fabricación y montaje, donde se encuentran nuestros soldadores homologados.
- Dirección técnica de primer nivel en el control del desarrollo del trabajo al mando de un Ingeniero Residente, Ing. Seguridad, Un Ing. Control de calidad.
- Movilización de los materiales fabricados con destino a la obra.
- Movilización y movilización de nuestros equipos con destino a la obra y viceversa.
- Movilización y desmovilización de nuestro personal que trabajará en Chilca.
- Procedimientos de pintado en sitio. Resane de base, segunda capa y acabado.
- El personal contará con el seguro respectivo. (SCTR: SALUD + PENSIÓN)
- El personal contará con el equipo de protección individual básico, lentes, guantes, zapatos de seguridad, casco. Los soldadores contarán con mandil, guantes, y escarpines de cuero.

Av Manuel Olgüín N° 533 Of. 402 - Santiago de Surco

Teléfonos: 4374256

E-mail: ventas@asirusa.com / www.asirusa.com

SISTEMA DE PINTURA A UTILIZAR: Especificación CHIP-UDF-00-YYY-ME-1162

Área EXTERIOR : CORROSIVITY (ISO 12944-2, C5) lado de techo, casco, fondo y accesorios a considerar.

Preparación de la superficie SSPC-SP10

Primera aplicación : Pintura Jet Zinc 1-850-Pintura Primer zinc rich 3.2 mils eps

Segunda aplicación: Pintura Jet 85 MP-Pintura Intermedia poliamida 8.0 mils eps

Tercera aplicación : Pintura Jet Shield - Pintura de acabado Aliphatic poliuretano 4 mils eps.

Total : 15.2 mils eps.

Área INTERIOR: CORROSIVITY (ISO 12944-2, Im1) lado techo, cuerpo cilíndrico y fondo.

Preparación de la superficie SSPC-SP10

Primera aplicación : Pintura Jet Pox high resistant , Pintura Primer epoxi coating 6.0 mils eps

Segunda aplicación : Pintura Jet Pox high resistant , Pintura Primer epoxi coating 6.0 mils eps

Total : 12.0 mils eps.

| | | |
|--|-----------------|-------|
| Valor venta Ingeniería..... | US\$ 11,475.00 | 5.00 |
| Valor venta Suministro y Transporte a sitio..... | US\$ 135,341.29 | 59.39 |
| Valor venta Absorbador de CO2 VONEN..... | US\$ 28,895.40 | 12.25 |
| Valor venta Pintura (material y aplicación)..... | US\$ 52,170.51 | 22.39 |

VALOR VENTA DEL PTE. PRESUPUESTO.....US\$ 227,882.20

No incluye el I.G.V.

Condiciones Comerciales

Lugar de entrega : En las instalaciones de Empresa **ASIRUSA**

Forma de Pago : 20% de adelanto contra Carta Fianza, Valorizaciones Mensuales contra avance

ANEXO 3.2

Cotización de granallado y pintura echo por la empresa CONSORCIO GRANALLADO AZOLER SAC

CONSORCIO GRANALLADO AZOLER SAC

Carr. Panamericana Sur KM 18.5 Mz E Lt A-4 Asoc. La Concordia VES, Lima-Perú
www.azoler.com / granallado@azoler.com



GRANALLADO Y PINTADO INDUSTRIAL

COTIZACIÓN N° : INST. 234

Fecha : Villa El Salvador, 16 de mayo de 2016.

Cliente : NEXOS COMERCIALES S.A.C

Atención : Juan Portales.

PARTE INTERIOR

| CANTIDAD | UNIDAD DE MEDIDA | SISTEMA 1 PLATAFORMA | PRECIO UNIT. S/. | PRECIO TOTAL S/. |
|----------|------------------|---|------------------|------------------|
| 1.00 | m ² | Por servicio de granallado según norma SSPC-SP5. | 11.50 | 11.50 |
| 1.00 | m ² | Por servicio de aplicación de SIGMAFAST 205 a 5 mils. (*) | 2.50 | 2.50 |
| | | SUBTOTAL | | 14.00 |
| | | MAS 18% IGV | | 2.52 |
| | | TOTAL SOLES | | 16.52 |

Forma de Pago: **Contraentrega.**

(*) En la cotización no se incluye la pintura, ni insumos.

*La estructura tiene que llegar a la planta de GRANALLADO AZOLER libre de grasa y contaminantes. En caso el material llegue contaminado GRANALLADO AZOLER procederá a lavar las estructuras por lo cual se adicionará a la cotización.

*Todo el trabajo de preparación y transformación de las estructuras se realizará en la planta de Granallado Azoler (Carr. Panamericana Sur Km 18.5 VES)

* Azoler no se responsabiliza por la limpieza mecánica o desperfectos de fabricación de las estructuras. Las rectificaciones posteriores al trabajo no serán reparadas por Azoler.

* El cliente tendrá que liberar las estructuras en la planta de Azoler, para arreglar o salvar cualquier desperfecto por la aplicación. Azoler no asume ninguna responsabilidad con el trabajo una vez que este sale de su planta.

* Azoler no considera en la cotización el embalaje ni transporte de las estructuras.

Zandra Ledesma Curo
AZOLER SAC
Telef. 713-0208 Cel. 955148651

ANEXO 3.3

1 CAPA DE ZINC CLAD 60 BR SHERWIN WILLIAMS [17]



**Industrial
&
Marine
Coatings**

6.2

ZINC CLAD 60 BR
ZINC INORGÁNICO DE ETIL SILICATO

| INFORMACION DEL PRODUCTO | |
|---|---|
| SISTEMAS RECOMENDADOS | PREPARACION DE LA SUPERFICIE |
| <p>Acero :</p> <p>1 capa de Zinc Clad 60 BR 3 - 4 mils eps. 1 capa diluida de Macropoxy 646 (Mist - coat) 1ó 2 capas de Macropoxy 646 5 - 10 mils eps./capa</p> <p>Acero :</p> <p>1 capa de Zinc Clad 60 BR 3 - 4 mils eps. 1 capa diluida de Sher Tile Enamel (mist-coat) 2 capas de Sher Tile HS Enamel - 4 mils eps./capa</p> <p>Acero :</p> <p>1 capa de Zinc Clad 60 BR 3 - 4 mils eps. 1 capa diluida de Macropoxy 646 (mist-coat) 1 capa de Macropoxy 646 5 - 10 mils eps. 1 capa de Sumatane HS Brillante - 2 mils eps.</p> <p>Acero :</p> <p>1 capa de Zinc Clad 60 BR 3 - 4 mils eps. 1 capa diluida de Macropoxy 850 (mist-coat) 1ó 2 capas de Macropoxy 850 5 - 12 mils eps/capa</p> <p>Acero alta temperatura :</p> <p>1 capa de Zinc Clad 60 BR 3 mils eps. 1 capa de Sumatarn 3917 1 mils eps.</p> | <p>La superficie debe de estar limpia, seca y en condiciones firmes. Remueva todo el aceite, polvo, grasa, suciedad, óxido suelto, y demás material extraño, para asegurar una buena adherencia. Para información detallada de preparación de superficie referirse al boletín de aplicación del producto. Minima preparación de superficie recomendada para superficies en inmersión; es limpieza con chorro abrasivo a metal blanco según SSPC SP5. Patrón visual SSPC-VIS 1-01 ó ISO 8501-01 Perfil de rugosidad: 1.5 a 2.5 mils. Para superficies no inmersas La preparación de superficie mínima necesaria es limpieza con chorro abrasivo a metal casi blanco de acuerdo a Norma SSPC-SP 10. Patrón visual Patrón visual SSPC-VIS 1-01</p> |
| DISPONIBILIDAD DE COLOR / ENTINTADO | |
| <p>No se entinta. Color : Gris.</p> | |
| CONDICIONES DE APLICACION | |
| <p>Temperatura : 10°C mínimo, 43°C máximo. (aire, superficie y material) Al menos 3 °C sobre el punto de rocío.</p> <p>Humedad relativa: 85% máximo</p> <p>Para información detallada de aplicación referirse al boletín de aplicación del producto.</p> | |
| INFORMACION PARA PEDIDOS | |
| <p>Envases: Parte A : envase de 1 galón base líquida Parte B : envase de 1 galón. polvo de zinc</p> | |

Los sistemas detallados son representativos y pueden servir como guía de uso del producto. Otros sistemas pueden también ser apropiados, para cualquier consulta de sistemas dirigirse al departamento técnico de Sherwin Williams

ANEXO 3.4

2 CAPA DE RECUBRIMIENTO ZINC CLAD 60BR SHERWIN WILLIAMS

[18]



**Industrial
&
Marine
Coatings**

3.5

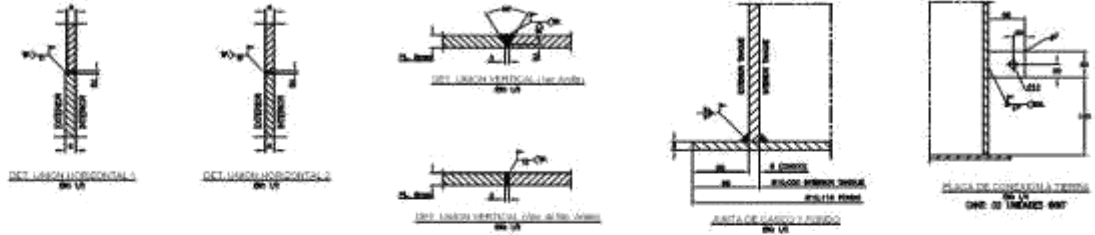
MACROPOXY 850

EPOXY AUTOIMPRIMANTE HS

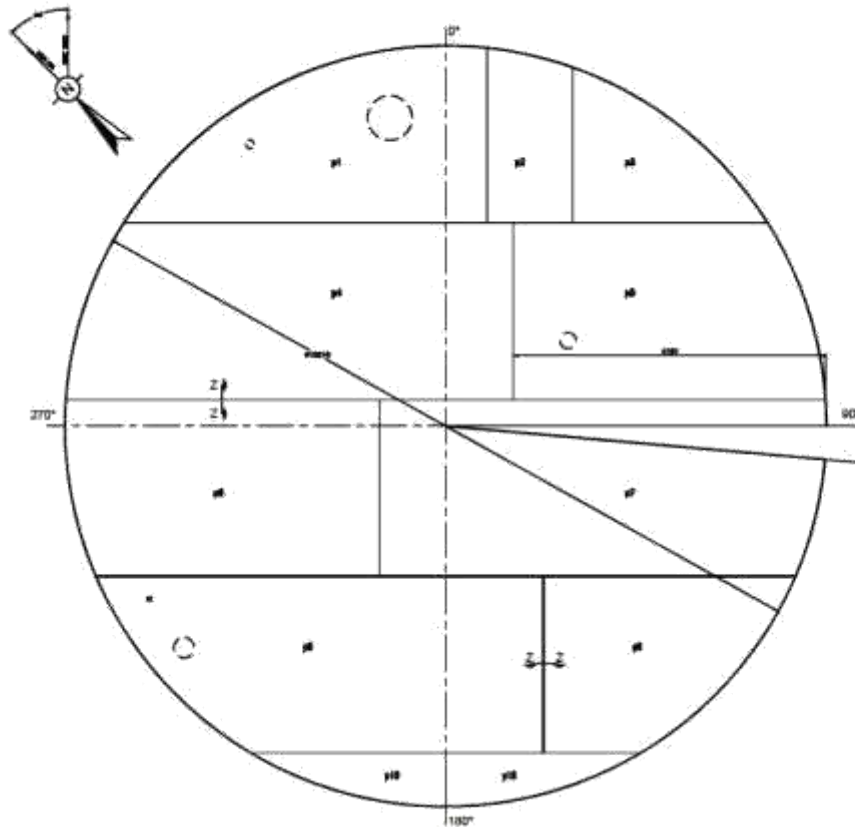
| INFORMACION DEL PRODUCTO | |
|---|---|
| SISTEMAS RECOMENDADOS | PREPARACION DE LA SUPERFICIE |
| <p>Inmersión o Atmosférico: Acero / Concreto 2 capas Macropoxy 850 de 5.0 - 10.0 mils eps / capa.</p> <p>Atmosférico: Acero / Concreto 1 capa Macropoxy 850 de 5.0 - 6.0 mils 1-2 capas Sumatane HS 2.0 - 3.0 mils eps por capa</p> <p>Acero 1 capa Zinc Clad 60 BR de 3.0- 4.0 mils eps 1 capa Macropoxy 850 de 5.0 - 10.0 mils eps 1 capa Sumatane HS 2.0 mils eps por capa</p> <p>Acero 1 capa Zinc Clad II de 3.0 mils eps 1 capa Macropoxy 850 de 5.0 - 10.0 mils eps 1 a 2 capas Acrolon 218 HS de 3.0 - 6 mils eps p/capa</p> <p>Galvanizado 1 a 2 capas Macropoxy 850 de 5.0 - 10.0 mils eps</p> <p><i>*Para ambientes exteriores se recomienda seleccionar los sistemas que llevan como acabado poliuretano Sumatane HS por la óptima retención de color y brillo. Los epóxicos se "tizan" cuando son expuestos a los rayos UV del sol</i></p> <p>Concreto hormigón : 1 capa Kem Coat HS Epoxy Filler / Sealer 10.0 - 30.0 mils eps para relleno de cavidades y dejar el sustrato parejo. 1-2 capas Macropoxy 850 a 4.0-10.0 mils eps por capa.</p> <p>Los sistemas detallados anteriormente son representativos del uso del producto. Otros sistemas pueden ser también apropiados.</p> | <p>La superficie debe de estar limpia, seca y en condiciones firmes. Remueva todo el aceite, polvo, grasa, suciedad, óxido suelto, y demás material extraño, para asegurar una buena adherencia. Para información detallada de preparación de superficie referirse al boletín de aplicación del producto.</p> <p>Mínima preparación de superficie recomendada: Acero y fierro: Atmosférico SSPC-SP2/3 Inmersión SSPC-SP10 2-3 mils de perfil Aluminio: SSPC-SP1 Galvanizado: SSPC-SP1 Concreto/albañilería: Atmosférico: SSPC-SP13 NACE 6 Inmersión SSPC-SP13 NACE 6-4.3.1 ó 4.3.2</p> |
| | DISPONIBILIDAD DE COLOR / ENTINTADO |
| | <p>Entintado con sistema de bases y colorantes industriales en máquina dosificadora. Se requiere un mínimo de 5 minutos de mezclado en agitador mecánico para completar la homogenización del color.</p> <p>Colores: Blanco, negro y amplio rango de colores. El entintado no es recomendable para servicio de inmersión.</p> |
| | CONDICIONES DE APLICACION |
| | <p>Temperatura : 10°C mínimo, 43°C máximo. (aire, superficie y material) Al menos 3 °C sobre el punto de rocío.</p> <p>Humedad relativa: 85% máximo</p> <p>Para información detallada de aplicación referirse al boletín de aplicación del producto.</p> |
| | INFORMACION PARA PEDIDOS |
| | <p>Envases: Parte A : 6.32 Kg / Gal Parte B : 6.70 Kg / Gal</p> |

ANEXO 4

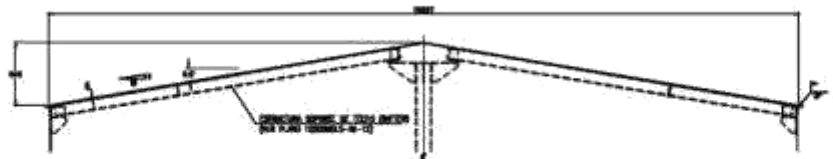
Planos del tanque API 650 de 10m de diámetro y 9.65m de altura.



| LISTA DE MATERIALES | | | | | | | | | |
|---------------------|-------------|-------|-------|---------|-----|-------|---------|-----|-------|
| NO. | DESCRIPCIÓN | CANT. | UNID. | REMARKS | NO. | UNID. | REMARKS | NO. | UNID. |
| 1 | ALUMINIO | 1 | M2 | | 2 | M2 | | 3 | M2 |
| 4 | VIDRIO | 1 | M2 | | 5 | M2 | | 6 | M2 |
| 7 | ... | ... | ... | ... | 8 | ... | ... | 9 | ... |
| 10 | ... | ... | ... | ... | 11 | ... | ... | 12 | ... |
| 13 | ... | ... | ... | ... | 14 | ... | ... | 15 | ... |
| 16 | ... | ... | ... | ... | 17 | ... | ... | 18 | ... |
| 19 | ... | ... | ... | ... | 20 | ... | ... | 21 | ... |
| 22 | ... | ... | ... | ... | 23 | ... | ... | 24 | ... |
| 25 | ... | ... | ... | ... | 26 | ... | ... | 27 | ... |
| 28 | ... | ... | ... | ... | 29 | ... | ... | 30 | ... |
| 31 | ... | ... | ... | ... | 32 | ... | ... | 33 | ... |
| 34 | ... | ... | ... | ... | 35 | ... | ... | 36 | ... |
| 37 | ... | ... | ... | ... | 38 | ... | ... | 39 | ... |
| 40 | ... | ... | ... | ... | 41 | ... | ... | 42 | ... |
| 43 | ... | ... | ... | ... | 44 | ... | ... | 45 | ... |
| 46 | ... | ... | ... | ... | 47 | ... | ... | 48 | ... |
| 49 | ... | ... | ... | ... | 50 | ... | ... | 51 | ... |
| 52 | ... | ... | ... | ... | 53 | ... | ... | 54 | ... |
| 55 | ... | ... | ... | ... | 56 | ... | ... | 57 | ... |
| 58 | ... | ... | ... | ... | 59 | ... | ... | 60 | ... |
| 61 | ... | ... | ... | ... | 62 | ... | ... | 63 | ... |
| 64 | ... | ... | ... | ... | 65 | ... | ... | 66 | ... |
| 67 | ... | ... | ... | ... | 68 | ... | ... | 69 | ... |
| 70 | ... | ... | ... | ... | 71 | ... | ... | 72 | ... |
| 73 | ... | ... | ... | ... | 74 | ... | ... | 75 | ... |
| 76 | ... | ... | ... | ... | 77 | ... | ... | 78 | ... |
| 79 | ... | ... | ... | ... | 80 | ... | ... | 81 | ... |
| 82 | ... | ... | ... | ... | 83 | ... | ... | 84 | ... |
| 85 | ... | ... | ... | ... | 86 | ... | ... | 87 | ... |
| 88 | ... | ... | ... | ... | 89 | ... | ... | 90 | ... |
| 91 | ... | ... | ... | ... | 92 | ... | ... | 93 | ... |
| 94 | ... | ... | ... | ... | 95 | ... | ... | 96 | ... |
| 97 | ... | ... | ... | ... | 98 | ... | ... | 99 | ... |
| 100 | ... | ... | ... | ... | 101 | ... | ... | 102 | ... |
| 103 | ... | ... | ... | ... | 104 | ... | ... | 105 | ... |
| 106 | ... | ... | ... | ... | 107 | ... | ... | 108 | ... |
| 109 | ... | ... | ... | ... | 110 | ... | ... | 111 | ... |
| 112 | ... | ... | ... | ... | 113 | ... | ... | 114 | ... |
| 115 | ... | ... | ... | ... | 116 | ... | ... | 117 | ... |
| 118 | ... | ... | ... | ... | 119 | ... | ... | 120 | ... |
| 121 | ... | ... | ... | ... | 122 | ... | ... | 123 | ... |
| 124 | ... | ... | ... | ... | 125 | ... | ... | 126 | ... |
| 127 | ... | ... | ... | ... | 128 | ... | ... | 129 | ... |
| 130 | ... | ... | ... | ... | 131 | ... | ... | 132 | ... |
| 133 | ... | ... | ... | ... | 134 | ... | ... | 135 | ... |
| 136 | ... | ... | ... | ... | 137 | ... | ... | 138 | ... |
| 139 | ... | ... | ... | ... | 140 | ... | ... | 141 | ... |
| 142 | ... | ... | ... | ... | 143 | ... | ... | 144 | ... |
| 145 | ... | ... | ... | ... | 146 | ... | ... | 147 | ... |
| 148 | ... | ... | ... | ... | 149 | ... | ... | 150 | ... |
| 151 | ... | ... | ... | ... | 152 | ... | ... | 153 | ... |
| 154 | ... | ... | ... | ... | 155 | ... | ... | 156 | ... |
| 157 | ... | ... | ... | ... | 158 | ... | ... | 159 | ... |
| 160 | ... | ... | ... | ... | 161 | ... | ... | 162 | ... |
| 163 | ... | ... | ... | ... | 164 | ... | ... | 165 | ... |
| 166 | ... | ... | ... | ... | 167 | ... | ... | 168 | ... |
| 169 | ... | ... | ... | ... | 170 | ... | ... | 171 | ... |
| 172 | ... | ... | ... | ... | 173 | ... | ... | 174 | ... |
| 175 | ... | ... | ... | ... | 176 | ... | ... | 177 | ... |
| 178 | ... | ... | ... | ... | 179 | ... | ... | 180 | ... |
| 181 | ... | ... | ... | ... | 182 | ... | ... | 183 | ... |
| 184 | ... | ... | ... | ... | 185 | ... | ... | 186 | ... |
| 187 | ... | ... | ... | ... | 188 | ... | ... | 189 | ... |
| 190 | ... | ... | ... | ... | 191 | ... | ... | 192 | ... |
| 193 | ... | ... | ... | ... | 194 | ... | ... | 195 | ... |
| 196 | ... | ... | ... | ... | 197 | ... | ... | 198 | ... |
| 199 | ... | ... | ... | ... | 200 | ... | ... | 201 | ... |
| 202 | ... | ... | ... | ... | 203 | ... | ... | 204 | ... |
| 205 | ... | ... | ... | ... | 206 | ... | ... | 207 | ... |
| 208 | ... | ... | ... | ... | 209 | ... | ... | 210 | ... |
| 211 | ... | ... | ... | ... | 212 | ... | ... | 213 | ... |
| 214 | ... | ... | ... | ... | 215 | ... | ... | 216 | ... |
| 217 | ... | ... | ... | ... | 218 | ... | ... | 219 | ... |
| 220 | ... | ... | ... | ... | 221 | ... | ... | 222 | ... |
| 223 | ... | ... | ... | ... | 224 | ... | ... | 225 | ... |
| 226 | ... | ... | ... | ... | 227 | ... | ... | 228 | ... |
| 229 | ... | ... | ... | ... | 230 | ... | ... | 231 | ... |
| 232 | ... | ... | ... | ... | 233 | ... | ... | 234 | ... |
| 235 | ... | ... | ... | ... | 236 | ... | ... | 237 | ... |
| 238 | ... | ... | ... | ... | 239 | ... | ... | 240 | ... |
| 241 | ... | ... | ... | ... | 242 | ... | ... | 243 | ... |
| 244 | ... | ... | ... | ... | 245 | ... | ... | 246 | ... |
| 247 | ... | ... | ... | ... | 248 | ... | ... | 249 | ... |
| 250 | ... | ... | ... | ... | 251 | ... | ... | 252 | ... |
| 253 | ... | ... | ... | ... | 254 | ... | ... | 255 | ... |
| 256 | ... | ... | ... | ... | 257 | ... | ... | 258 | ... |
| 259 | ... | ... | ... | ... | 260 | ... | ... | 261 | ... |
| 262 | ... | ... | ... | ... | 263 | ... | ... | 264 | ... |
| 265 | ... | ... | ... | ... | 266 | ... | ... | 267 | ... |
| 268 | ... | ... | ... | ... | 269 | ... | ... | 270 | ... |
| 271 | ... | ... | ... | ... | 272 | ... | ... | 273 | ... |
| 274 | ... | ... | ... | ... | 275 | ... | ... | 276 | ... |
| 277 | ... | ... | ... | ... | 278 | ... | ... | 279 | ... |
| 280 | ... | ... | ... | ... | 281 | ... | ... | 282 | ... |
| 283 | ... | ... | ... | ... | 284 | ... | ... | 285 | ... |
| 286 | ... | ... | ... | ... | 287 | ... | ... | 288 | ... |
| 289 | ... | ... | ... | ... | 290 | ... | ... | 291 | ... |
| 292 | ... | ... | ... | ... | 293 | ... | ... | 294 | ... |
| 295 | ... | ... | ... | ... | 296 | ... | ... | 297 | ... |
| 298 | ... | ... | ... | ... | 299 | ... | ... | 300 | ... |
| 301 | ... | ... | ... | ... | 302 | ... | ... | 303 | ... |
| 304 | ... | ... | ... | ... | 305 | ... | ... | 306 | ... |
| 307 | ... | ... | ... | ... | 308 | ... | ... | 309 | ... |
| 310 | ... | ... | ... | ... | 311 | ... | ... | 312 | ... |
| 313 | ... | ... | ... | ... | 314 | ... | ... | 315 | ... |
| 316 | ... | ... | ... | ... | 317 | ... | ... | 318 | ... |
| 319 | ... | ... | ... | ... | 320 | ... | ... | 321 | ... |
| 322 | ... | ... | ... | ... | 323 | ... | ... | 324 | ... |
| 325 | ... | ... | ... | ... | 326 | ... | ... | 327 | ... |
| 328 | ... | ... | ... | ... | 329 | ... | ... | 330 | ... |
| 331 | ... | ... | ... | ... | 332 | ... | ... | 333 | ... |
| 334 | ... | ... | ... | ... | 335 | ... | ... | 336 | ... |
| 337 | ... | ... | ... | ... | 338 | ... | ... | 339 | ... |
| 340 | ... | ... | ... | ... | 341 | ... | ... | 342 | ... |
| 343 | ... | ... | ... | ... | 344 | ... | ... | 345 | ... |
| 346 | ... | ... | ... | ... | 347 | ... | ... | 348 | ... |
| 349 | ... | ... | ... | ... | 350 | ... | ... | 351 | ... |
| 352 | ... | ... | ... | ... | 353 | ... | ... | 354 | ... |
| 355 | ... | ... | ... | ... | 356 | ... | ... | 357 | ... |
| 358 | ... | ... | ... | ... | 359 | ... | ... | 360 | ... |
| 361 | ... | ... | ... | ... | 362 | ... | ... | 363 | ... |
| 364 | ... | ... | ... | ... | 365 | ... | ... | 366 | ... |
| 367 | ... | ... | ... | ... | 368 | ... | ... | 369 | ... |
| 370 | ... | ... | ... | ... | 371 | ... | ... | 372 | ... |
| 373 | ... | ... | ... | ... | 374 | ... | ... | 375 | ... |
| 376 | ... | ... | ... | ... | 377 | ... | ... | 378 | ... |
| 379 | ... | ... | ... | ... | 380 | ... | ... | 381 | ... |
| 382 | ... | ... | ... | ... | 383 | ... | ... | 384 | ... |
| 385 | ... | ... | ... | ... | 386 | ... | ... | 387 | ... |
| 388 | ... | ... | ... | ... | 389 | ... | ... | 390 | ... |
| 391 | ... | ... | ... | ... | 392 | ... | ... | 393 | ... |
| 394 | ... | ... | ... | ... | 395 | ... | ... | 396 | ... |
| 397 | ... | ... | ... | ... | 398 | ... | ... | 399 | ... |
| 400 | ... | ... | ... | ... | 401 | ... | ... | 402 | ... |
| 403 | ... | ... | ... | ... | 404 | ... | ... | 405 | ... |
| 406 | ... | ... | ... | ... | 407 | ... | ... | 408 | ... |
| 409 | ... | ... | ... | ... | 410 | ... | ... | 411 | ... |
| 412 | ... | ... | ... | ... | 413 | ... | ... | 414 | ... |
| 415 | ... | ... | ... | ... | 416 | ... | ... | 417 | ... |
| 418 | ... | ... | ... | ... | 419 | ... | ... | 420 | ... |
| 421 | ... | ... | ... | ... | 422 | ... | ... | 423 | ... |
| 424 | ... | ... | ... | ... | 425 | ... | ... | 426 | ... |
| 427 | ... | ... | ... | ... | 428 | ... | ... | 429 | ... |
| 430 | ... | ... | ... | ... | 431 | ... | ... | 432 | ... |
| 433 | ... | ... | ... | ... | 434 | ... | ... | 435 | ... |
| 436 | ... | ... | ... | ... | 437 | ... | ... | 438 | ... |
| 439 | ... | ... | ... | ... | 440 | ... | ... | 441 | ... |
| 442 | ... | ... | ... | ... | 443 | ... | ... | 444 | ... |
| 445 | ... | ... | ... | ... | 446 | ... | ... | 447 | ... |
| 448 | ... | ... | ... | ... | 449 | ... | ... | 450 | ... |
| 451 | ... | ... | ... | ... | 452 | ... | ... | 453 | ... |
| 454 | ... | ... | ... | ... | 455 | ... | ... | 456 | ... |
| 457 | ... | ... | ... | ... | 458 | ... | ... | 459 | ... |
| 460 | ... | ... | ... | ... | 461 | ... | ... | 462 | ... |
| 463 | ... | ... | ... | ... | 464 | ... | ... | 465 | ... |
| 466 | ... | ... | ... | ... | 467 | ... | ... | 468 | ... |
| 469 | ... | ... | ... | ... | 470 | ... | ... | 471 | ... |
| 472 | ... | ... | ... | ... | 473 | ... | ... | 474 | ... |
| 475 | ... | ... | ... | ... | 476 | ... | ... | 477 | ... |
| 478 | ... | ... | ... | ... | 479 | ... | ... | 480 | ... |
| 481 | | | | | | | | | |



DESARROLLO DE TECHO Y DISPOSICIÓN DE RANCHO
M 1/8



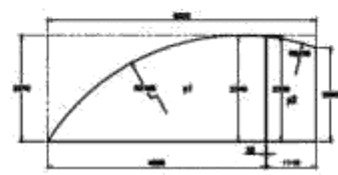
SECCION TRANSVERSAL DE TECHO
M 1/8



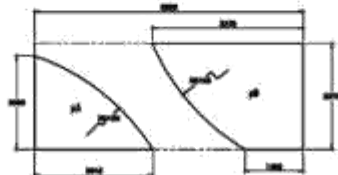
JUNTA HORIZONTAL SING
SECCION
M 1/8

LISTA DE MATERIALES

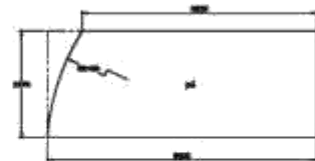
| ITEM | DESCRIPCION | UNID. | CANT. | VALOR UNIT. | VALOR TOTAL |
|------|-------------|-------|-------|-------------|-------------|
| 1 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 3 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 4 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 5 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 6 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 7 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 8 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 9 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 10 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 11 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 12 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 13 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 14 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 15 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 16 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 17 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 18 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 19 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 20 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 21 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 22 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 23 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 24 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 25 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 26 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 27 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 28 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 29 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 30 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 31 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 32 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 33 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 34 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 35 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 36 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 37 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 38 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 39 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 40 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 41 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 42 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 43 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 44 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 45 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 46 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 47 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 48 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 49 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 50 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 51 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 52 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 53 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 54 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 55 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 56 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 57 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 58 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 59 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 60 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 61 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 62 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 63 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 64 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 65 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 66 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 67 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 68 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 69 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 70 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 71 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 72 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 73 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 74 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 75 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 76 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 77 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 78 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 79 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 80 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 81 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 82 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 83 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 84 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 85 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 86 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 87 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 88 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 89 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 90 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 91 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 92 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 93 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 94 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 95 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 96 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 97 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 98 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 99 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 100 | ... | ... | ... | ... | ... |



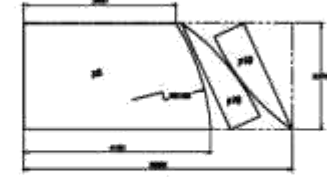
RANCHO N°1
M 1/8



RANCHO N°2
M 1/8



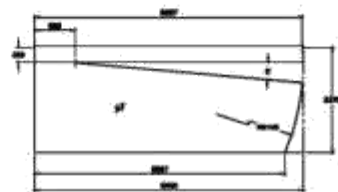
RANCHO N°3
M 1/8



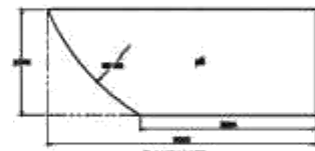
RANCHO N°4
M 1/8



RANCHO N°5
M 1/8



RANCHO N°6
M 1/8



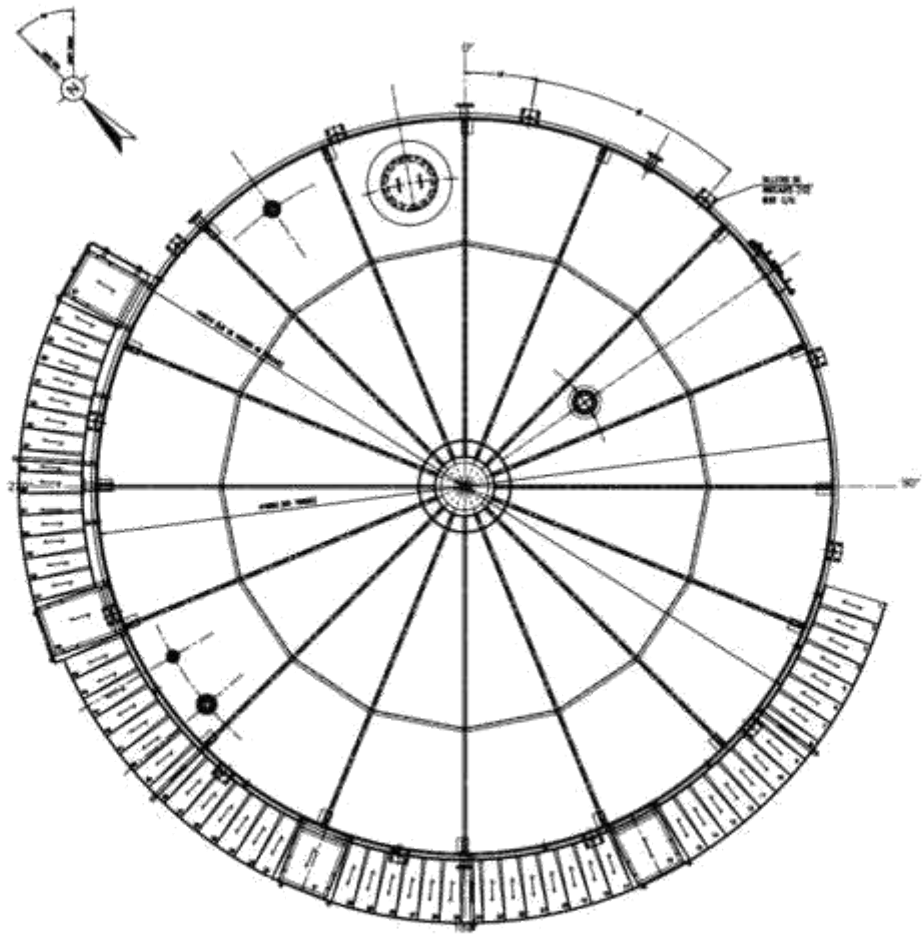
RANCHO N°7
M 1/8



DETALLE N°1
M 1/8

UNIDAD DE RANCHO
M 1/8

| NO. | DESCRIPCION | UNID. | CANT. | VALOR UNIT. | VALOR TOTAL | REMARKS |
|-----|-------------|-------|-------|-------------|-------------|---------|
| 1 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 3 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 4 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 5 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 6 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 7 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 8 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 9 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 10 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 11 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 12 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 13 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 14 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 15 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 16 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 17 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 18 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 19 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 20 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 21 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 22 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 23 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 24 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 25 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 26 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 27 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 28 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 29 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 30 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 31 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 32 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 33 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 34 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 35 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 36 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 37 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 38 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 39 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 40 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 41 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 42 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 43 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 44 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 45 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 46 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 47 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 48 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 49 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 50 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 51 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 52 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 53 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 54 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 55 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 56 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 57 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 58 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 59 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 60 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 61 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 62 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 63 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 64 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 65 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 66 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 67 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 68 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 69 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 70 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 71 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 72 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 73 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 74 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 75 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 76 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 77 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 78 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 79 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 80 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 81 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 82 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 83 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 84 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 85 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 86 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 87 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 88 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 89 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 90 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 91 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 92 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 93 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 94 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 95 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 96 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 97 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 98 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 99 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 100 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |



DISTRIBUCION DE BASINOS DE AGUA PLANTA

