



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“APLICACIÓN DEL TANATO DE ZINC AL RECUBRIMIENTO EN TUBERÍAS DE ACERO PARA INCREMENTAR LA VIDA ÚTIL EN UNA PLANTA CONCENTRADORA, CAJAMARCA 2019”

Tesis para optar el título profesional de:

**INGENIERO DE MINAS**

Autores:

Quiroz Chatilan Jerli Alexander

José Alcibiades Chávez Ortiz

Asesor:

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán

Cajamarca - Perú

2019

## **DEDICATORIA**

A Dios, por darnos salud, sabiduría y la oportunidad de concluir una etapa más en nuestras vidas profesionales.

A nuestros Padres y Hermanos, por haberme apoyado en todo momento y brindarme una carrera profesional para nuestro futuro. Depositando su entera confianza en cada meta trazada sin dudar en ningún momento de nuestra capacidad.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a nuestros familiares quienes a lo largo de nuestras vidas nos apoyaron incondicionalmente, y nos brindaron una carrera profesional, los mismos que depositaron su confianza y no dudaron en ningún momento de nuestra capacidad, y al Ingeniero Daniel Alejandro Alva Huamán y Richard Figueroa, a quien le agradecemos mucho por compartir sus conocimientos, gracias a su paciencia, enseñanza y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa Universidad por abrirme las puertas y formarnos para el futuro profesional.

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADEIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>INDICE DE TABLAS.....</b>	<b>4</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>6</b>
<b>INDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>1. REALIDAD PROBLEMÁTICA.....</b>	<b>10</b>
<b>2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>15</b>
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
<b>4. HIPÓTESIS.....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA (MATERIALES, INSTRUMENTOS Y MÉTODOS).....</b>	<b>16</b>
<b>2.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3.1.- OBSERVACIÓN.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3.2.- ADHERENCIA POR CORTE.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.3.-MÉTODO DE PRUEBA DE ADHERENCIA.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.4.- INSTRUMENTOS Y MATERIALES.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.5.- PREPARACIÓN DE SUPERFICIE.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.6.- MÉTODOS DE PREPARACIÓN DE SUPERFICIE.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.7. SISTEMA DE RECUBRIMIENTO.....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.8.- APLICACIÓN DE LA PINTURA.....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.9.- ÁREA DE TRABAJO.....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.10.- PROCEDIMIENTO.....</b>	<b>25</b>

2.3.11.- PREPARACIÓN DEL TANATO.....	27
2.3.12.- EQUIPAMIENTO.....	29
2.3.13.- LIMPIEZA Y DESENGRASE.....	29
2.3.14.- SIGLAS Y ABREVIATURAS.....	31
<b>CAPITULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>32</b>
3.1 EVALUACIÓN DE ADHERENCIA POR CORTE.....	32
3.2 RECUBRIMIENTO SUPERFICIAL.....	33
3.4 VIDA ÚTIL DESPUÉS DE UN AÑO.....	35
<b>CAPITULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>36</b>
4.1. DISCUSIÓN.....	36
4.2. CONCLUSIONES.....	38
4.3. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	40
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>41</b>

**ANEXOS..... 43**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Sistema de recubrimiento.....	21
<b>Tabla 2.</b> EL espesor mínimo requerido del recubrimiento de la tubería.....	32
<b>Tabla 3.</b> Reacción del recubrimiento con tanato de zinc capa 01 y 02. ....	33
<b>Tabla 4.</b> Adherencia por corte.....	34
<b>Tabla 5.</b> Mano de obra directa.....	40
<b>Tabla 6.</b> Maquinaria y materiales.....	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Prueba de adherencia establecida por la norma ASTM D3359 método A.....	17
<b>Figura 2.</b> Preparación de superficie de acuerdo al requerimiento ISO 12944.....	20
<b>Figura 3.</b> Aspecto y color de los pigmentos sintetizados de tanato de zinc. ....	28
<b>Imagen 4.</b> Equipo Elcometer, medidor de espesor de pintura.....	29
<b>Grafico 5.</b> Espesores de los recubrimientos por capas.....	32
<b>Grafico 6.</b> Vida útil después de un periodo de un año. ....	35

## RESUMEN

La presente investigación tiene por objetivo aplicar el tanato de zinc para incrementar la vida útil de las tuberías que transportan soluciones peligrosas. Para lo cual se propone utilizar tanato de zinc como aditivo para alargarla vida útil de la tubería. El tanato de zinc, un producto o pigmento anticorrosivo obtenido a partir del polvo de tara (*Caesalpinia Spinosa*), sobre el acero. Es por ello que la tesis está enfocada, en la interacción del tanato de zinc con la superficie del acero con presencia de óxido, y formación de capas sedimentadas en las tuberías de Flotación de las plantas de concentración de mineral, para incrementar la vida útil de estas mismas. Para llevar a cabo este proceso aplicaremos una clasificación de métodos de limpieza o preparación de superficie abrasiva, debemos aplicar según las normas: SSPC-SP1, SSPC-SP10, SSPC-SP11, SSPC-SP3, SSPC-SP2. Esta investigación demostró que el método de recubrimiento de protección especial aplicando el tanato de zinc, se aplicó a lo largo de los 92m de la tubería de lechada de cal, en este proceso se obtuvo como resultado que la capa protectora proteja completamente a la superficie, aplicando la norma AST MD 3359 tipo A, en la prueba de adherencia del recubrimiento nos da como resultado el valor de 5A (No se pela ni se remueve), también se realizó medición de espesores en diferentes puntos a lo largo de la unidad de estudio en el cual se pudo determinar que por cada 5 Spot se obtiene un promedio de 12.1 mils de espesores donde podemos concluir que la vida útil de la tubería desde el año 2015 al 2018 se incrementó en un 50% este procedimiento es una forma viable para aislar a la tubería de cualquier agente destructivo como lo es la corrosión o desgaste, de esta manera se demuestra que esta aplicación nos brinda resultados reales para el cuidado de estas tuberías y así podremos alargar la vida útil de la misma, sin generar aspectos al medio ambiente y económicos.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1. Realidad problemática.

Se estima que la corrosión de las superficies metálicas generan un costo total de 2,5 trillones, equivalente a 3,4% del producto bruto interno (PBI), en el año 2013 (NACE, 2016). Tales pérdidas económicas se clasifican en pérdidas directas e indirectas. Las pérdidas directas son aquellos costos necesarios para la reparación o reemplazo de estructuras, maquinarias o equipos que son afectados por la corrosión, mientras que los costos indirectos son más difíciles de establecer y podemos ejemplificar como: pérdidas por parada de producción, pérdidas de productos o por contaminación de los mismos, pérdidas por accidentes, lesiones y hasta las muertes, entre otros (E. Otero, 2001). La compañía petrolera AGUAYTIA ENERGY, compañía encargada de la extracción de gas natural en la región peruana, en la cual se detectó diversos mecanismos de daño como impactos ambientales (contaminación suelo agua) esto se produjo por la ruptura de la tubería del pozo N° 06 (Escajadillo Agapito & Reyna Barandiran, 2016). Minera Yanacocha S.R.L utiliza dentro de los procesos de recuperación del mineral, compuestos químicos altamente nocivos para la salud y medio ambiente, presentando un caso de fuga en una línea de 4" la cual transportaba solución cianuradas dentro de planta, esta fuga se generó por corrosión externa en una zona de acceso limitado mediante las técnicas de inspección con elementos convencionales, dificultando su detección y por lo tanto su mitigación (Rehkoff Díaz & Céspedes Corrales, 2017).

La corrosión, de acuerdo a la DIN EN ISO 8044, es definida como: “la interacción física entre un metal y su entorno, dando como resultado cambios en las propiedades de dicho material y que puede dar lugar a significativos deterioros del metal, del medio ambiente o el sistema el cual ellos forman parte”. Desde un punto de vista químico, es posible definir la corrosión como la transición de un metal a su forma combinada formando óxidos, sulfuros, hidróxidos, etc., compuestos termodinámicamente más estables (Z. Ahmad, 2006).

Por su parte, el acero es un material muy utilizado en la industria de la construcción y edificaciones, debido a su alta resistencia y durabilidad (S. Shibli, 2015). Según reporta en el año 2016 la “Asociación Internacional del Acero” la producción del acero alcanzó en el año anterior (2015) los 1623 millones de toneladas anuales, cifra que ha ido en incremento durante la última década. No obstante, este material es altamente susceptible a la corrosión cuando está sometido a diferentes ambientes como las atmosferas marinas, industriales y urbanas. (S. Shibli, 2015).

Es por ello que la búsqueda de métodos de protección del acero frente a la corrosión atmosférica se ha vuelto un asunto de suma importancia. Por ende, los recubrimientos metálicos y orgánicos son los métodos de protección más utilizados, los cuales tienen la finalidad de retrasar y/o reducir el deterioro de estructuras fabricadas con acero (B. Del Amo, 2004). Entre ellos, los recubrimientos de zinc son, probablemente, los más efectivos para la protección del acero contra la corrosión. (A. Pritzel dos Santos, 2015).

El zinc y aleaciones base zinc han sido utilizados desde tiempos remotos como revestimientos protectores contra la corrosión para productos de hierro y acero (AGA, 2015). Su efectividad se debe a que este metal actúa como una capa barrera muy adherente y, además, proporciona una protección galvánica; es decir, actúa como ánodo de sacrificio (A. Pritzel dos Santos, 2015).

Durante los últimos años se ha registrado una producción anual de más de 13 millones de toneladas de zinc en el mundo, utilizándose más del 50% en la industria del acero galvanizado (AGA, 2015).

Existen diversas técnicas para aplicar un recubrimiento de zinc, entre los cuales se encuentran: el galvanizado por inmersión en caliente (Hot-dip galvanizing), el electrozincado, la metalización de zinc (Hot spray zinc), el cincado mecánico y las pinturas ricas en zinc (S. Shibli, 2015). De todas las técnicas mencionadas, el galvanizado por inmersión en caliente es considerado como uno de los más efectivos métodos de aplicación del zinc (B. Lin, 2008)

El galvanizado por inmersión en caliente se obtiene por inmersión de las piezas a proteger en un baño de zinc fundido. En este proceso tiene lugar la interdifusión de ambos elementos, formándose varias capas aleadas y una capa externa de zinc de la misma composición que el baño de galvanizado. (J. Eijnsvergen, 1994). La figura 3 muestra una micrografía de las capas formadas al solidificar el recubrimiento de galvanizado, mientras que la tabla 1 nos brinda las características más relevantes de cada capa.

Los parámetros que van a caracterizar el recubrimiento del galvanizado son: la temperatura del baño del zinc fundido, el tiempo de inmersión, la velocidad con la que se retira el material y la composición del baño (S. Shibli, 2015). Por otro lado, el galvanizado en continuo o en línea, es un proceso derivado del galvanizado por inmersión en caliente. Este proceso es aplicado generalmente para láminas de acero, las cuales son continuamente inmersas en el baño fundido. La diferencia metalúrgica de ambos procesos es que en el galvanizado en continuo hay poca presencia de aleación hierro/zinc (C. Munger, 1999).

El acero galvanizado es el método de protección principalmente utilizado en el sector de construcción (A. Nazarov, 2012). También es usado en la industria automovilística, y para la protección de puentes, oleoductos, torres de refrigeración, así como para aumentar la vida útil de electrodomésticos, ferrocarriles, obras de electrificación, entre otros (A. Simões, 2011). Esta técnica genera una alta demanda mundial, ya que brinda una excelente resistencia a la corrosión y puede ser aplicado a distintas formas de piezas. Además, posee una baja densidad, bajo costo y puede ser reciclado (S. Shibli, 2015).

Escajadillo Agapito & Reyna Barandiarán, A., (2016) informe técnico de inspección de la tubería forzada de la central hidroeléctrica Peuchen. Publicado por Oro azul Energy – Chile. Donde la empresa Oro azul Energy detecto corrosión generalizada en sus tuberías de flujo de gas, por lo que solicito a la empresa Adechile realizar la inspección al 100% de sus líneas.

Reyna Barandiarán, A & Mendoza., (2015) Reporte de inspección N° ADRINDT-001 línea isopentano 6”-PL-A01-1B-10420/0 Senda de esferas. Refinación Gualberto Villarroel S.A. Cochabamba, Bolivia.

La empresa de refinería necesita evaluar la integridad mecánica de la línea de Isopentano porque no cuenta con registro de inspección e historial de espesores de línea base para realizar cálculos de vida remanente con mayor precisión; solo cuenta con valores operacionales como la presión, temperatura y el tiempo de operación de la línea (38 años aproximadamente).

La empresa Ademinbol propone la aplicación de ensayos no destructivos tales como: inspección visual, medición de espesores por ultra sonido y ondas guiadas.

Se identificó los mecanismos de adelgazamiento – corrosión atmosférica y corrosión por hendiduras (corrosión externa). La interacción de fluido isopentano con el material de la tubería es muy leve, razón por la cual la tasa de corrosión interna calculada tiende a ser muy baja con los parámetros de operación actuales.

La presente nos muestra que la técnica de ondas guiadas se puede realizar en tuberías que transportan cualquier tipo de solución.

Castello Esquerdo, A., (2012) Estudio de mercado para el programa de inspecciones por ultrasonido de largo alcance de la empresa Areva. Alemania, ansbach. La empresa Areva tuvo problemas con la integridad de circuitos de tuberías en las plantas nucleares, ya que estas presentaban muy a menudo fugas ante roturas por, la antigüedad del circuito de tuberías y tuberías enterradas.

## 2. Formulación del problema.

¿En qué medida al aplicar tanato de zinc a la pintura de recubrimiento, se incrementará la vida útil de las tuberías de lechada de cal de una planta concentradora en Cajamarca?

## 3. Objetivos.

### 3.1. Objetivo general.

Aplicar tanato de zinc a la pintura de recubrimiento para incrementar la vida útil de las tuberías de lechada de cal de una planta Concentradora en Cajamarca.

### 3.2. Objetivos específicos.

- Determinar el espesor mínimo requerido del recubrimiento de la tubería.
- Identificar la reacción de la pintura de recubrimiento con tanato de zinc con la superficie de la tubería.
- Comparar la resistencia del recubrimiento antiguo con el nuevo recubrimiento después de un periodo de un año.

## 4. Hipótesis:

### 4.1. Hipótesis general.

Al aplicar tanato de zinc a la pintura de recubrimiento se incrementará la vida útil de las tuberías de una planta Concentradora Cajamarca 2019.

### 4.2. Hipótesis específicas.

- Al aplicar tanato de zinc se podrá determinar el espesor mínimo requerido de la pintura de recubrimiento de las tuberías de flotación y remolienda.
- Se podrá identificar la reacción de la pintura de recubrimiento con tanato de zinc con la superficie de la tubería.
- Al aplicar tanato de zinc, se podrá comparar la resistencia del recubrimiento antes y después de un periodo de un año.

## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA**

### **2.1. Tipo de investigación.**

Diseño Experimental, cuasi-experimental: Difieren de los experimentos “puros” en el grado de confiabilidad que pueda tenerse sobre la equivalencia inicial de los grupos. Los sujetos no se asignan al azar a los grupos ni se emparejan (grupos intactos).

### **2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).**

Esta investigación tiene como población, todas las tuberías de la planta de flotación de una mina en Cajamarca.

La muestra viene a ser la tubería de lechada de cal de una planta de flotación en Cajamarca.

### **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.**

Los métodos para obtener información y la metodología usada para elaborar la presente tesis son.

- Información secundaria: obtenida de diversas fuentes, entre las que se destaca las tesis para la obtención de títulos de diferentes universidades, informes especializados, anuarios de empresas, entre otros.
- Planta de procesos de minería donde se ha evaluado planos de ubicación.

#### **2.3.1. Observación.**

Técnica que consiste en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos y situaciones observables. Se ha utilizado esta técnica para conocer las localizaciones de discontinuidades presentes en la línea de tuberías que transporta lechada de cal, a su vez reconocer el grado de corrosión y protección de las mismas.

### 2.3.2. Adherencia por corte.

Se utilizó la norma ASTM D3359, método A (cross-cut test). El método consistió en realizar un corte del tipo x sobre la película de pintura antigua, luego se cubrió dicha área con una cinta adhesiva, la cual después de aproximadamente 90 segundos se retiró, por último se clasifico el grado de adherencia según el área removida de pintura.

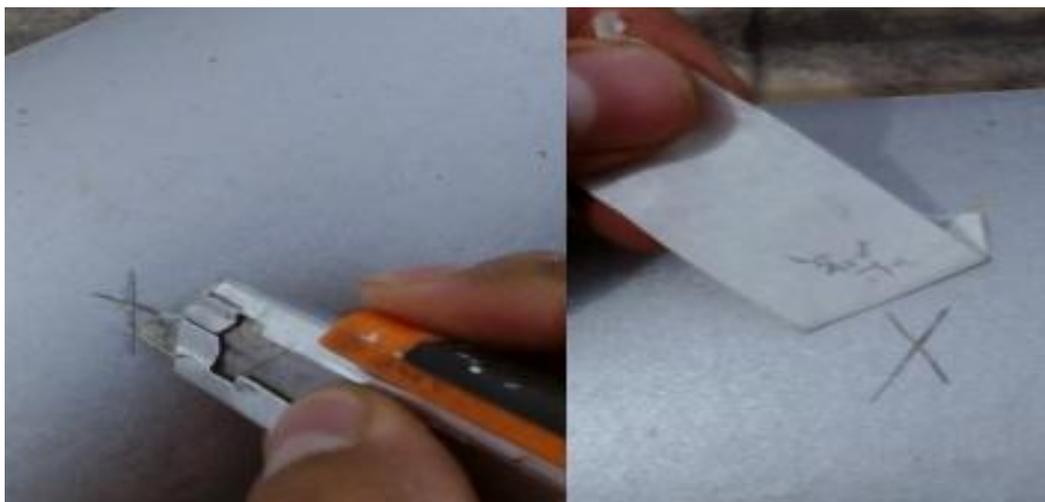
### 2.3.3. Método de prueba de adherencia.

La aplicación de los métodos de prueba está determinada por el espesor de la película.

- Espesores mayores o iguales a 5 mills; Método de prueba A. (sistema de corte en X).
- Espesores menores a 5 mills: método de prueba B. (Sistema de cuadrículas).

### 2.3.4.- Instrumentos y materiales.

- Bisturí, navaja u otro elemento de corte.
- Cinta con ancho de 1 in y adherencia de 40 + - 2.5 Oz/in.



**Imagen 1.** Prueba de adherencia establecida por la norma ASTM D3359 método A.

### **2.3.5. Preparación de superficie.**

- a.** Todas las superficies externas deben cumplir con los requerimientos de ISO 12944 permitiéndose solamente un acabado del tipo “Aceptable”.
- b.** Antes de iniciar los trabajos de preparación superficial y aplicación de pintura, el Constructor deberá obtener la aprobación de la Supervisión de acuerdo a los procedimientos de inspección basados en este procedimiento.
- c.** Cada sistema de pintura especificado debe estar descrito en términos de requerimientos de preparación de superficie, tipo de pintura y espesor requerido.
- d.** El personal encargado de los trabajos de preparación de superficie y aplicación de pinturas, deberán tener una experiencia mínima comprobada no menor a 03 años y homologados la empresa fabricante de los productos y/o equipos a emplear.

### **2.3.6. Métodos De Preparación De Superficie.**

El procedimiento de preparación superficial aplicará de acuerdo al tipo de daño o defecto existente. Se recomienda realizar una inspección por personal calificado y determinar 1 o 5 áreas donde se necesite realizar reparaciones puntuales, retirar el sistema de pintado en su totalidad, repintado general, como también evaluar qué tipo de preparación superficial se puede realizar (chorro abrasivo o limpieza mecánica motriz) dentro de planta,

La preparación de superficies de las tuberías de acero antes de pintado se llevara acabo de acuerdo con el estándar ISO 8501-1 o SSPC haciendo uso de los métodos de escritos en el “Sistema de Pintado” apropiado, y de acuerdo con los estándares mínimos descritos líneas abajo para cada método.

En todos los casos, el Contratista deberá garantizar que el método y acabado adoptado es el adecuado para asegurar la adherencia del sistema de pintado seleccionado para las condiciones particulares de aplicación y servicio de la obra.

Los equipos de suministro de electricidad, aire, agua, así como los equipos y herramienta de preparación de superficie, sus accesorios, dispositivos de control y componentes de seguridad, deberán estar en óptimas condiciones de operación, debiéndose inspeccionar a diario, a fin de determinar su grado de desgaste o deterioro para su mantenimiento o reemplazo preventivo después de cada jornada de trabajo. Asimismo el personal que manipulara los equipos y/o realizara el trabajo de preparación de superficie, deberá contar con el entrenamiento y experiencia adecuado.

Para el caso de equipos que utilicen aire comprimido este debe estar seco y limpio, para ello las líneas de aire deberán tener filtros de humedad y aceite, trampas u otros equipos necesarios para superar este requerimiento. (Método de Prueba ASTM D 4285).

La presión deseable para las operaciones de limpieza superficial por abrasivo deberá ser de 100 psi en la boquilla de salida.

Después de la limpieza con abrasivo, deberá medirse la presencia de sales contaminantes en la superficie preparada (Método similar), la cual deberá tener una concentración menor a 50 ppm de iones-cloruros para superficies que estarán expuestas al medio ambiente y de 30 ppm de iones-cloruros para superficies que estarán en inmersión.

Las condiciones ambientales al inicio y durante la preparación de superficie deberán ser óptimas proyectando también el tiempo adicional para recubrir con pintura el área preparada en Inch, de no tener que paralizar por esta causa, con las correspondientes perdidas. (Método de Prueba ASTM E 337).



**Imagen 2.** *Preparación de superficie de acuerdo al requerimiento ISO 12944.*

### **2.3.7. Sistema de recubrimiento.**

Estas áreas se definen como aquellas que se encuentren protegidas de forma razonable de los elementos mediante un revestimiento u otros medios, pero pueden tener exposición al agua de forma frecuente durante los procedimientos de lavado o de condensación leve.

Áreas húmedas altamente corrosivas ( $\text{Ph} < 6$  / ácido / alto contenido de cloruros).

Estas áreas se definen como aquellas áreas de la planta expuestas a condiciones extremadamente agresivas incluyendo la acumulación de sulfuros y polvo, luz solar directa, lluvia, condensación, agua con contenido de sulfuros y cloruros y/o derrame potencial de ácido sulfúrico, gases químicos, alto contenido de cloruros, derrames potenciales de pulpa ácida de procesos y arena. Estas áreas se encuentran sujetas a salpicaduras continuas y exposición de derrames, donde la superficie recubierta permanece constantemente seca.

Salvo que se especifique lo contrario en las hojas de datos de los equipos o en los planos, el sistema de pintado que se aplicara deberá estar de acuerdo a los tipos de recubrimiento con pintura que se proporciona en la tabla siguiente.

**Tabla 01.** Sistemas de recubrimiento.

Sistema de pintado	Condición después de la inspección	Descripción	Área de aplicación
CS1	Corrosión generalizada	Tuberías y soportes para tuberías	
CS2	Corrosión Puntual	Tuberías y soportes para tuberías	
CS3	Repintado general	Tuberías y soportes para tuberías	

### 2.3.8. Aplicación de la pintura.

- a. Los recubrimientos especificados deben ser aplicados de acuerdo a las recomendaciones del fabricante y a los requerimientos de esta especificación.
- b. Las superficies preparadas deberán ser cubiertas con primera capa de pintura (imprimante) tan pronto como sea posible.

- c. Si se deteriora la superficie preparada, esta debe ser nuevamente repasada con chorro abrasivo según el estándar requerido, indicado en esta especificación.
- d. Los equipos de suministro de electricidad, aire, agua, así como los equipos de aplicación de pintura, sus accesorios, dispositivos de control y componentes de seguridad, deberán estar en óptimas condiciones de operación, debiéndose inspeccionar a diario, determinar su grado de desgaste o deterioro para su mantenimiento o reemplazo preventivo después de cada jornada de trabajo. Asimismo el personal que manipulará los equipos y/o realizara el trabajo de aplicación de pintura, deberá contar con el entrenamiento y experiencia adecuado.
- e. Para el caso de equipos que utilicen aire comprimido este debe estar seco y limpio, para ello las líneas de aire deberán tener filtros de humedad y aceite, trampas u otros equipos necesarios para superar este requerimiento. (Método de prueba ASTM D 4285).
- f. Para el caso de herramientas manuales de aplicación, brochas, rodillos, mitones, etc. Estos deberán ser resistentes a los solventes de la pintura a usar, y del tipo y medida adecuados a la geometría del elemento a pintar.
- g. Verificar que los productos seleccionados están almacenados correctamente, en cantidad necesaria, las etiquetas de los envases estén visibles y de fácil acceso, estando el personal encargado, en capacidad de reconocer los tipos, macas y componentes de cada producto indicado para la preparación y mezcla adecuadas.

- h.** Verificar que los lotes de fabricación del producto no tengan una antigüedad mayor a 1 año, de lo contrario o consultar al asesor técnico para que evalúe la utilización del producto o en todo caso lo reemplace con anticipación.
- i.** La aplicación de pintura se realizará sobre una superficie correctamente preparada de acuerdo a lo indicado en esta especificación.
- j.** El operario aplicador deberá conocer y tener la habilidad aplicar la pintura en traslapes uniformes adecuados y controlar los espesores de película húmeda de pintura (EPH) hasta ajustar su velocidad de aplicación. (Ver e interpretar correctamente el sistema de pintado).
- k.** Respetar los tiempos de repintado mínimo y máximo para cada pintura indicado en sus hojas técnicas, para evitar problemas de adherencia entre capas.
- l.** Todos los filos, bordes, cordones de soldadura, pernos, tuercas, intersticios y similares, se deberán reforzar con una capa de pintura (strip-coat) aplicada con brocha, previamente a la aplicación de la capa intermedia o final.
- m.** Las condiciones ambientales al inicio y durante la preparación y aplicación de pintura deberán ser las óptimas, debiendo contar de manera opcional con pronósticos proyectados del clima al inicio de la jornada de trabajo. (Referencia Método de prueba ASTM E337).

**n.** Los recubrimientos no deben ser aplicados en casos de:

- Temperatura de ambiente menor a 10 °C o mayor a 40 °C (o según especificación del fabricante).
- Temperatura de superficie 3 °C por sobre la temperatura de punto de rocío.
- Humedad relativa ambiental no mayor al 85% (ver indicación del fabricante).
- Temperatura de superficie excede los 50 °C.
- Velocidad de viento > 15 km/h.

### **2.3.9. Área de trabajo.**

El área de trabajo debería cumplir con las siguientes condiciones:

- Para lograr el secado y curado de las pinturas adecuadamente, es importante una adecuada ventilación en la zona de pintado para lograr evacuar los vapores orgánicos, esto se logrará en ambientes cerrados usando ventiladores y extractores industriales,
- La luz artificial para trabajos de pintura en taller debe tener una luminosidad mínima de 50 lumen/pie<sup>2</sup> (530 lumen/m<sup>2</sup>] proporcionada por luz blanca.

### 2.3.10. Procedimiento.

Los tanatos de zinc que se utilizaran en el presente estudio fueron sintetizados por A. Hadzich. Estos pigmentos se prepararon a partir de tara (*Caesalpinia spinoasa*), una fuente de taninos hidrolizables, y una sal de iones zinc. (A. Hadzich 2016).

Hadzich comparo su comportamiento inhibitor con dos pigmentos comerciales: fosfato de zinc modificado con molibdeno y cromato de zinc, mediante ensayos electroquímicos y de corrosión acelerada (pinturas preparadas con los tanatos de zinc). Dicho estudio demostró que el comportamiento es similar al de un fosfato de zinc comercial, y que, además, la presencia de estos pigmentos anticorrosivos en pinturas alquídicas y wash primers aplicadas sobre acero mejora la adhesión de la película protectora. Los recubrimientos orgánicos (las pinturas) son ampliamente usados para proteger superficies metálicas de la corrosión. Se estima que alrededor de un 85% de estructuras expuestas a medios corrosivos son protegidos con un recubrimiento orgánico. (M.Bethencourt, 2003).

Según la norma DIN 55945 (1996) las pinturas se definen como: “Materiales de revestimiento líquido, pastoso o en polvo que permiten producir recubrimientos ópticamente opacos con propiedades decorativas, protectoras y propiedades técnicas específicas”. Otros autores definen las pinturas como mezclas líquidas que se esparcen sobre una superficie formando una capa fina, húmeda y uniforme que al secarse forma una película dura y adherente (V. Mannari, 2015).

Los tanatos de zinc que se utilizaran en el presente estudio fueron sintetizados por A. Hdzich.

Estos pigmentos se prepararon a partir de tara (*Caesalpinia spinoasa*), una fuente de taninos hidrolizables, y una sal de iones zinc. (A. Hadzich 2016).

Hadzich comparo su comportamiento inhibitor con dos pigmentos comerciales: fosfato de zinc modificado con molibdeno y cromato de zinc, mediante ensayos electroquímicos y de corrosión acelerada (pinturas preparadas con los tanatos de zinc).

Dicho estudio demostró que el comportamiento es similar al de un fosfato de zinc comercial, y que, además, la presencia de estos pigmentos anticorrosivos en pinturas alquídicas y wash primers aplicadas sobre acero mejora la adhesión de la película protectora. Los recubrimientos orgánicos (las pinturas) son ampliamente usados para proteger superficies metálicas de la corrosión. Se estima que alrededor de un 85% de estructuras expuestas a medios corrosivos son protegidos con un recubrimiento orgánico. (M.Bethencourt, 2003).

Según la norma DIN 55945 (1996) las pinturas se definen como: “Materiales de revestimiento líquido, pastoso o en polvo que permiten producir recubrimientos ópticamente opacos con propiedades decorativas, protectoras y propiedades técnicas específicas”. Otros autores definen las pinturas como mezclas líquidas que se esparcen sobre una superficie formando una capa fina, húmeda y uniforme que al secarse forma una película dura y adherente (V. Mannari, 2015).

Los recubrimientos orgánicos son métodos de protección económicos y brindan versatilidad (R. Naderi, 2009).

Entre ellas destacan la resistencia a la corrosión y al desgaste; además, las pinturas otorgan buena apariencia estética (E. Huttunen-Saarivirta, 2011).

Las pinturas son consideradas productos semiterminados (intermedios), ya que no pueden ser utilizadas de manera aislada. Estos medios de protección siempre son aplicados sobre superficies para mejorar su durabilidad, volverlas más atractivas, seguras y elevar su precio final.

En pocas palabras, las pinturas aportan un valor agregado a los productos (V. Mannari, 2015).

Los recubrimientos orgánicos son mezclas complejas de sustancias químicas, las cuales son agrupadas en 4 categorías: (1) resinas, (2) componentes volátiles (solventes), (3) pigmentos, y (4) aditivos. (Z. Wicks, 2007).

#### **2.3.11. Preparación del Tanato.**

Se recolecta la vaina de tara que es la materia, a partir de la tara se obtiene el polvo, Se realiza un proceso químico de síntesis mediante la adición de zinc, se obtiene el pigmento natural y anticorrosivo.

Se obtuvieron los pigmentos tanato de zinc (A, B), los cuales fueron tamizados por malla 325 (45  $\mu\text{m}$ ), como método de control de calidad, ya que tamaño de partículas mayor a 45  $\mu\text{m}$  dificulta el proceso de dispersión de la pintura (ASTM D185). El pigmento B pasó totalmente por malla 325, lo que indica partículas pequeñas (menores a 45  $\mu\text{m}$ ) y probablemente uniformes. Por otro lado, el pigmento A, retuvo un 25% de partículas (por encima de 45  $\mu\text{m}$ ). El residuo fue molido con la ayuda de un mortero para luego ser nuevamente tamizado y lograr un máximo porcentaje de partículas menores a 45  $\mu\text{m}$ .

El aspecto y clasificación de los pigmentos conforme a la escala de colores “MUNSELL”, fue determinado visualmente conforme la norma ASTM D1535; en donde el B es más claro que el A, debido a que el primero fue sintetizado con mayor cantidad de óxido de zinc (blanco).

Posterior a la formulación de los recubrimientos, los resultados del grado de finura revelaron que entre los wash primers, los pigmentados con cromato de zinc (WP-Cr) alcanzaron el mejor grado de finura (5,0 escala Hegman), mientras que el valor promedio de finura de los demás wash primers fue de aproximadamente 4,0 (escala Hegman).



**Figura 3.** *Aspecto y color de los pigmentos sintetizados de tanato de zinc.*

### 2.3.12. Equipamiento.

El método de recubrimiento de las tuberías utilizando tanato de zinc tiene como herramienta principal el equipo Elcometer el cual nos permitirá inspeccionar espesores del recubrimiento.



**Imagen 4.** *Equipo Elcometer, medidor de espesor de pintura.*

### 2.3.13. Limpieza y desengrase.

El objetivo de la limpieza, previo al pintado, de una superficie galvanizada consiste en retirar contaminantes como polvo, grasas, aceites, depósitos de sales, entre otros. No obstante, se debe tener cuidado de no dañar la superficie metálica (T. Langill, 2016).

Entre los agentes desengrasantes, usualmente se utilizan soluciones alcalinas como el hidróxido de sodio, metasilicato de sodio, entre otros. Estos permiten retirar aceite, grasa o suciedad, pero difícilmente pueden retirar los óxidos de zinc (J. Eijnsvergen, 1994).

Se recomienda que la solución deba tener una alcalinidad de pH entre 11 a 12, (no debe exceder a 13) y puede ser aplicada mediante inmersión, rociado o cepillado con cepillo de cerdas suaves, usualmente de nylon (ASTM D 6386). Adicionalmente, a los agentes alcalinos se hace uso de solventes orgánicos como como aguarrás, tolueno, xilol (ASTM D 6386) y emulsiones desengrasantes (B. Bieganska, 1982).

Los procedimientos especificados en el SSPC, Surface Preparation Specification 1, recomiendan trapos o cepillos adecuados que se debe utilizar para limpiar las piezas galvanizadas (ASTM D 6386).

El acero recientemente galvanizado requiere de poca limpieza superficial, generalmente un lijado ligero (K. Dunham, 2002). Por otro lado, para retirar los óxidos e hidróxidos de la superficie parcialmente galvanizada el chorreado con abrasivos, es uno de los métodos más utilizados. Entre los abrasivos que han dado mejores resultados está el Vasilgrit Z. Dicho material está compuesto por finas partículas con diámetros entre 200- 500  $\mu\text{m}$ , de óxidos de silicio, aluminio, hierro, calcio y trazas de óxidos de magnesio y potasio, con una dureza de 7 mohs (J. Eijnsvergen, 1994).

Por último, para superficies totalmente envejecidas, se usa frecuentemente el lavado con agua a presión no mayor a 10 MPa, con la finalidad de no dañar la capa protectora de zinc (ASTM D 6386). Adicionalmente, para retirar cualquier contaminante perceptible a la vista tales como protuberancias de zinc, productos de corrosión de zinc formados, remantes de recubrimiento de superficies ya pintadas, se hace uso de herramientas manuales o eléctricas (ASTM D 6386).

#### 2.3.14. Siglas y abreviaturas.

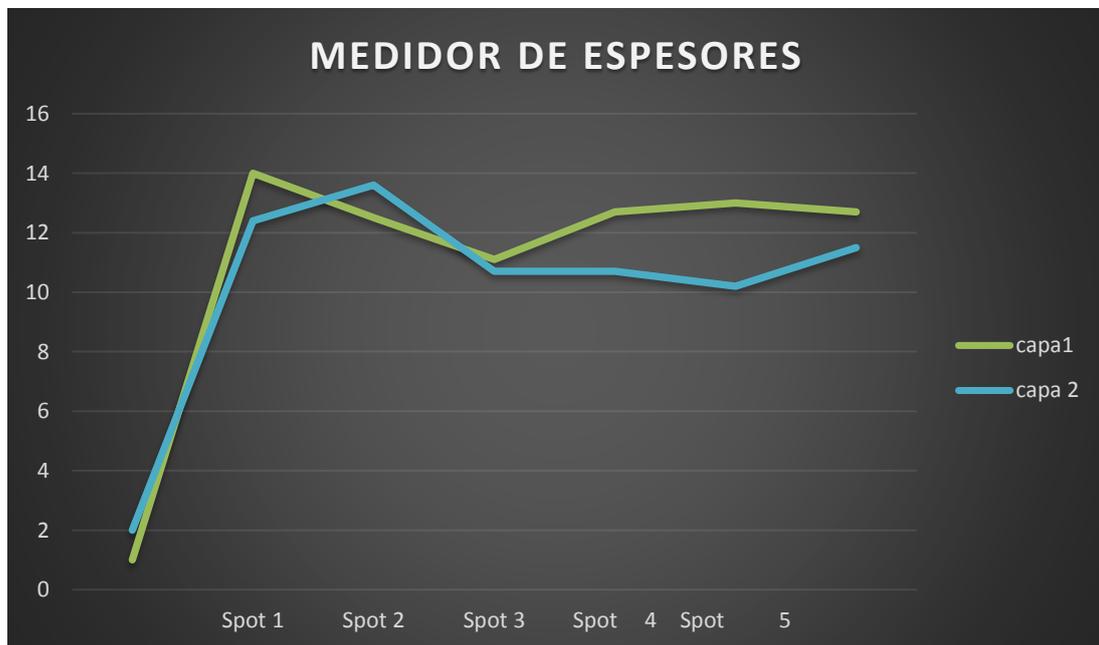
AGA	American Galvanizers Association
COV	Compuestos orgánicos volátiles
Cr	Pigmento: Cromato de Zinc
AST MD 3359	Norma de Adherencia
EP	Primer epóxico
EPA	Primer epóxico con adición de promotor de adherencia (Aditivo)
PVC	Pigment volume concentration (concentración de pigmento en volumen)
SPOT	Punto de medidor de espesores
EPS	Medidor de espesores
SEM	Scanning electron microscopy (microscopio electrónico de barrido).
WP	Pre tratamiento denominado wash primer
WP/AQ	Sistema de pintura de 2 capas: Esmalte Alquídico sobre wash primer.

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

**Tabla 2.** *EL espesor mínimo requerido del recubrimiento de la tubería.*

Descripción	Capa	Nro. de Spots	Spot 1	Spot 2	Spot 3	Spot 4	Spot 5	Prom.(mils)
Línea de Lechada de cal de 10 inches ASTM A53	Acabado	1	14	12.5	11.1	12.7	13.0	12.7
	Acabado	2	12.4	13.6	10.7	10.7	10.2	11.5
	Acabado	3	11.6	10.9	12.9	12.5	12.0	12.0
							<b>TOTAL</b>	<b>12.1</b>

**Fuente:** *Elaboración propia.*



**Grafico 5.** *Espesores de los recubrimientos por capas.*

En la tabla 02, se aprecia los valores de espesores (EPS), de la tubería de línea de lechada de cal de cada acabado, en este resultado se tomó muestra con el medidor de espesores Elcometer, como referencia se tomó un total de 5 spot por cada acabado en los cuales nos arroja un valor diferente, el rango de espesor mínimo que se requiere es de 10 a 15 mils dentro de este rango se mantendrá un recubrimiento bueno para la superficie de la tubería.

El valor total de la capa final del recubrimiento que se realizó en la superficie de la tubería es de 12.1, este valor nos indica que está dentro del rango requerido por lo que nos podemos dar cuenta que la protección de la tubería es buena, y que el aditivo utilizado como lo es el tanato de zinc queda completamente adherido para alargar la vida útil de esta superficie metálica.

**Tabla 03.** *Reacción del recubrimiento con tanato de zinc capa 01 y 02.*

Esesor de Película seca Requerida (mils)	13	Equipo de medición EPS	POSITECTOR - 6000
Esesor de Película seca Obtenido (mils)	12.1	Calibrado en Superficie Rugosa	No aplica, no se realiza trabajos de alta presión

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Tabla 04.** *Adherencia por corte.*

CORTE EN X	
	No se pela ni se remueve
5A	
4A	Poco pelado y/o remoción en incisión o intersección.
3A	Levantamiento en las incisiones hasta 1.6 mm. En ambos lados.
2A	Levantamiento en las incisiones hasta 3.2 mm. En ambos lados.
1A	Remoción de la mayor parte bajo el corte en X
grado de adherencia	descripción
5A	No se pela ni se remueve

**Fuente:** *Elaboración propia.*

En la tabla 04 se observa la reacción del recubrimiento con tanato de zinc con la superficie de la tubería capa 01 y 02, Espesor de Película seca Requerida es de 13 mils Espesor de Película seca Obtenido es de 12.1 mils estos datos nos indica que no se realizó trabajos de alta presión

En la tabla tenemos la evaluación por adherencia este método se aplica realizando un corte en la superficie de la tubería donde podemos ver que nos da como resultando observando el desprendimiento 5 A (No se pela ni se remueve).



**Grafico 6.** *Vida útil después de un periodo de un año.*

En la imagen se observa la vida útil de la tubería por año, se puede ver que en los años 2015, 2016, y 2017 la depreciación de la tubería mala, esto es posible porque no cuenta con un recubrimiento con falta de inhibidores, caso contrario ocurre con la aplicación del tanato de zinc como aditivo en el año 2018 el porcentaje de la vida útil aumenta en un 50% lo cual nos indica que el recubrimiento es muy buena.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión.

Se Aplica tanato de zinc a la pintura de recubrimiento para incrementar la vida útil de las tuberías de lechada de cal de una planta de flotación en Cajamarca, dando resultados favorables para el análisis de calidad. La prueba de adherencia según a la norma ASTM D 3359 modelo A, nos da como resultado 5A (No se pela ni se remueve), el espesor de la tubería en los primeros 92 m con 5 lecturas por cada lado nos da un promedio de 12.1 mils. Por lo tanto se consideró un espesor homogéneo para toda la tubería.

En las tuberías con el recubrimiento aplicado fue observada una superficie con un brillo característico. En cambio, en las muestras envejecidas, luego de un año de exposición, fue observada una baja resistencia, las cuales evidencian la formación de productos de corrosión (principalmente óxido de zinc e hidróxido de zinc), tal y como lo reporta C. Soriano (2016).

Posterior al lijado y lavado de dichas superficie, se observó una reducción de óxidos de hasta 50 % aproximadamente y una superficie más lisa. La corrosión visible fue un indicador de que el recubrimiento antiguo se consumió dando paso a la corrosión del acero base. (V. Padilla, 2014). Por lo tanto, según la norma ASTM 6386 las superficies pudieron ser catalogadas como acero completamente envejecido. La superficie de las tuberías después del proceso de envejecimiento y desgaste, mostro irregularidades en la referencia a la presencia de óxidos.

El espesor promedio de las tuberías envejecidas fue de 0.4 mils para las muestras expuestas el medio ambiente y proceso industrial, respectivamente, cabe resaltar que la medición se realizó posterior a la etapa de lijado y lavado.

El espesor promedio de las tuberías envejecidas en las pruebas de espesores es mayor en 50%, que los productos de corrosión remates y tanato de zinc y adheridos después del lijado fueron poco solubles en agua (L. Velera, 2009).

Los valores de espesor de la capas de pintura de la tubería en estudio son presentados en la tabla de EPS, muestra el espesor promedio para cada tipo de pintura utilizados para los ensayos de corrosión acelerada. Los resultados muestran que el espesor de los wash primers se aproxima a los valores recomendados, entre 10-15  $\mu\text{m}$  (S. Sathiyarayanan, 2009). De manera general, se pudo observar una aceptable desviación estándar en los espesores de pintura seca, lo que constata la eficiencia de pintar por atomizado convencional, obteniéndose espesores uniformes (C. Munger, 1999).

## 4.2 Conclusiones:

Se caracterizó la capa del recubrimiento del acero, según lo cual se confirmó que el recubrimiento fue obtenido mediante el proceso espesor en mils.

Se analizó 92m con diferentes puntos de superficie del acero para contrastar el comportamiento de los recubrimientos orgánicos sobre ellos. La tubería en análisis se encontraba en una etapa inicial muy desgastada y con presencia de óxido, este material expuesto en atmósferas natural e industrial, respectivamente.

Fueron sintetizados satisfactoriamente, los pigmentos de tanato de zinc, conforme a lo investigado en estudios recientes. Además, se formularon pre tratamientos denominados wash primers e imprimantes epóxicos, preparados con los pigmentos en estudio, tanatos de zinc (A y B) y los pigmentos convencionales de cromato de zinc y fosfato de zinc. Se evaluó el grado de finura de la pintura, como un indicador de calidad, obteniéndose valores aceptables para los recubrimientos formulados con el método de dispersión inicial y separada del pigmento con la resina.

Los recubrimientos fueron pintados exitosamente y uniformemente mediante la técnica de atomizado convencional con aire sobre las superficies galvanizadas previamente acondicionadas. Posterior al curado, se evaluó la fuerza de adherencia de las pinturas sobre los sustratos. Un bajo grado de adherencia fue observado para los wash primers a excepción del pigmentado con cromato de zinc. Por otro lado, los imprimantes epóxicos alcanzaron una mejor adherencia, obteniéndose valores similares para aquellos pigmentados con los tanatos de zinc y fosfato de zinc. Así mismo, la adición de promotor de adherencia a los imprimantes, mejoró la fuerza de adhesión sobre el sustrato de acero.

No obstante, la presencia de óxidos y contaminantes en las superficies envejecidas, redujo el desempeño adherente de la película formada.

El promotor de adherencia mejoró la unión de la pintura con el sustrato envejecido, lo que prolongó la vida útil del sistema dúplex durante los ensayos efectuados.

En los ensayos de recubrimiento, los valores del pigmento A sobre acero galvanizado nuevo y B sobre acero galvanizado envejecido fueron superiores a los obtenidos para los pigmentos antiguos.

Esto podría indicar una mejor eficiencia inhibidora por parte de los tanatos de zinc comparados con el fosfato de zinc comercial. Sin embargo, estos resultados no son congruentes con las medidas de potencial de corrosión y el análisis superficial, según lo cual la tubería de acero en estudio y con el nuevo recubrimiento inhibido con tanato de zinc fue menos atacada.

En conclusión, los pigmentos tanatos de zinc demostraron tener un desempeño equivalente al fosfato de zinc comercial cuando forman parte de recubrimientos (wash primer y epóxicos) aplicados sobre el acero galvanizado nuevo y envejecido. Este comportamiento mejora cuando los tanatos de zinc son utilizados para proteger el acero galvanizado con presencia de condiciones del medio ambiente y productos de corrosión del zinc, presentándose como una alternativa viable y ecológica para operaciones de mantenimiento de estructuras de acero envejecidas en condiciones en servicio.

### 4.3. Análisis Económico.

Con el presente análisis, se busca mostrar los aspectos económicos del mantenimiento de tuberías de una planta concentradora de Cajamarca; determinando así la factibilidad financiera del mismo. Los datos de los costos e inversiones son de referencias de otras plantas ya en funcionamiento. Las cuales las vamos se va a citar correspondientemente.

#### P.U POR MANO DE OBRA DIRECTA

Ítem	Descripción	Monto USD
MO1	Supervisor (01)	1516.76
MO2	Operario (08)	4853.6
MO3	Ayudante (20)	6067
MO4	Ing. Sso (01)	1516.76
MO5	Ing. QA/QC (01)	1516.76
MO6	Andamiero (08)	3640.24
MO7	Op. Pintor (08)	3640.24

#### P.U POR MAQUINARIA Y MATERIALES

Ítem	Descripción	UND
M1	Pintura macropy 646	6.35
M2	Diluyente	6.30
M3	Trapo industrial	33.26
M4	Lija para fierro	27.83
M5	Escobilla de acero circular	25.54
M6	Disco desbaste 4.5"	14.64
M7	Zinc	41.53
M8	Macropoxy 646/851 (A+B)	36.64
M9	Diluyente epoxico P33	35.63
M10	Sumatane HS brillantes (A+B)	746.73
M11	Diluyente Poliuretano P20	64.73
EQ1	Compresora	647.64
EQ2	Amoladora	646.64
EQ3	Herramientas menores	544.79
EQ4	Combi / Camioneta	649.74
EQ5	Equipo de Pintura	649.74
<b>EQ6</b>	<b>TOTAL</b>	<b>26929.09</b>

## REFERENCIAS

- Ipsicom S.R.L. (2016). Tratamiento Superficial y Pintura para Mantenimiento de Tuberías.  
S.A. Cajamarca-Perú.
- Golfielsd S.A (2015). Informe técnico de inspección superficial de tuberías de planta de  
procesos. Cajamarca -Perú
- Castilla, J. (2017). Barrick pudo haber evitado derrame de solución de cianuro en mina  
argentina. Barrick Gold, San Juan - Argentina
- Macalupu Preciado. (2014). Inspección visual nivel II. Lima-Perú.
- Granizo, N., Capacidad anticorrosiva de pinturas formuladas con pigmentos de intercambio  
iónico aplicadas sobre acero al carbono, in Departamento de Química Física.  
2010, Universidad de Alcalá: Madrid. p. 302.
- Morcillo, M. and E. Almeida, Corrosión Atmosférica del Aluminio, en Corrosión y  
Protección de Metales en las Atmósferas de Iberoamérica, M. Morcillo, et al.,  
Editors. 1998, CYTED: Madrid. p. 591.
- Chirinos Martínez, L., & Reyna Otayza, A. (2014). Inspección mediante líquidos  
penetrantes nivel I-II. Ademinsac. Lima-Perú.
- Nieto Gomez, V. (2015). Estudio factibilidad implementación de la técnica de ondas Guiadas  
para los servicios.
- Rehkoff Diaz, J., & Céspedes Corrales, N. (2017). Derrame de solución cianuradas (Mill  
Sand) Ipsicom. Cajamarca –Perú.

- Reyna Barandirán, A., & Mendoza, H (2015). Reporte de Inspección N° AD-RI-NDT-001  
Línea de Isopentano 6-pl-A01-1B-10420/0 senda de esferas. Refinación  
Gualberto Villarroel S.A. Cochabamba – Bolivia
- Ademinbol. (2015). Informe final de inspección de tubería, Corani Empresa Electrica Corani  
S.A. Cochabamba Bolivia.
- Torres Sánchez, T. (2016). Derrame en Loreto y Amazonas, Petroperú, oleoducto  
norperuano. Loreto, Amazonas - Perú
- A. A. Tracton (2007). Coatings materials and surface coatings, Edit.: CRC Press. Florida,  
Estados Unidos.
- A. Bergo, L. Fedrizzi, (2005). Thermal aging of painted galvanized steel after mechanical  
deformation. Progress in Organic Coatings 52: 328-338.
- A. C. Bastos, M.G.S. Ferreira, A.M. Simoes (2005). Comparative electrochemical studies  
of zinc chromate and zinc phosphate as corrosion inhibitors for zinc. Progress  
in Organic Coatings 52: 339-350.
- A. Collazo, C. Pérez, M. Izquierdo, P. Merino (2003). Evaluation of environmentally  
friendly paints over weathering galvanised steel. Progress in Organic  
Coatings 46: 197- 210.
- A. Fernández García, R. Díaz Franco, L. Martinez, J. Wette (2014). Study of the effect of  
acid atmospheres in solar reflectors durability under accelerated aging  
conditions. Energy Procedia 49: 1682 – 1691.
- A. Goldschmidt; H. J. Streitberger (2007). Basics of coating technology, Edit.: Vincentz.  
Hannover, Alemania.

## **ANEXOS:**

### **Anexo 01.** Documentos de referencia.

ASTM D3359: Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test

ASTM 4541: Standard Test Method for Pull- Off Strength of Coatings Using  
Portable Adhesion Testers.

### **Anexo 02.** Ensayos y Muestras no Destructivas:

- a. Medición de perfil de rugosidad (ASTM D 4417 Metodo C) Según aplique.
- b. Medición de espesor seco de pintura por capa (SSPC-PA2, ASTM-C12).
- c. Verificar que la apariencia de la película seca de pintura, sea uniforme visualmente, libre de discontinuidades, burbujas, chorreaduras u otros defectos. (Guía de referencia ASTM D3276).
- d. Según aplique, se debería realizar pruebas de discontinuidad para los elementos que serán expuestos a inmersión y se verificara usando el estándar NACE RP-0188-99.

### **Anexo 03.** Ensayos Destructivos.

- a. Según aplique, se debería realizar evaluación de la adhesión según ASTM D4541-02 en elementos al azar por cada lote de pintado diferentes, debiendo obtener 5 MPa como mínimo, Esta evaluación deberá realizarse cuando el sistema de pintura haya curado Completamente previa verificación del fabricante de recubrimientos,
- b. Para evitar pruebas destructivas sobre el elemento pintado, se debería preparar planchas de prueba completamente pintadas con el sistema especificado, habiéndolas preparado y pintado al mismo tiempo y condiciones iguales.

**Anexo 04.** Evaluación por corte.

<b>EVALUACION DE ADHERENCIA POR CORTE</b>			
<b>PROYECTO</b>	APLICACIÓN DE TANATO DE ZINC A LA PINTURA DE RECUBRIMIENTO PARA INCREMENTAR LA VIDA ÚTIL DE LAS TUBERIAS DE LECHADA DE CAL DE UNA PLANTA DE FLOTACION, CAJAMARCA 2018"		
<b>ZONA / UBICACIÓN</b>	TUBERIAS VERTICALES ENTRE LAS ZONAS DE SEGUNDA Y PRIMERA LIMPIEZA		
<b>FECHA</b>	17-may-18	<b>REGISTRO N° 01</b>	<b>ADH CORT</b>
I. ANTECEDENTES			
<b>EQUIPO / COMPONENTE</b>	LINEA DE LECHADA DE CAL		
<b>CANT METROS LINEALES</b>	92		
<b>DIAMETRO (Inches)</b>	10		
<b>TIPO SUPERFICIE</b>	Superficie circunferencial Metálica Color Violeta		
<b>TIPO SISTEMA APLICAR</b>	CS1		
II. SISTEMA DE PINTURA EVALUADO			
<b>Tipo de superficie:</b>	Acero <input checked="" type="checkbox"/>	Concreto <input type="checkbox"/>	Acero Galvanizado <input type="checkbox"/>
<b>Grado Limpieza SSPC:</b>	SP1 <input checked="" type="checkbox"/>	SP2 <input checked="" type="checkbox"/>	SP3 <input checked="" type="checkbox"/> SP6 <input type="checkbox"/> SP10 <input type="checkbox"/> SP5 <input type="checkbox"/>
	<b>PRODUCTO</b>	<b>EPS (mils)</b>	<b>Color</b>
<b>capa</b>	EPOXYCA	4,6	Violeta
	<b>TOTAL</b>	<b>4.6</b>	
III. EQUIPOS Y RESULTADOS			
<b>NORMA APLICADA:</b>	ASTM D3359		<b>TIPO:</b> A
<b>MATERIAL USADO:</b>	Cinta Adhesiva / Cuchilla Retráctil	<b>MARCA:</b> Truper	<b>MODELO</b> Estándar
	<b>CORTE EN X</b>		
	<b>5A</b>	No se pela ni se remueve	
	<b>4A</b>	Poco pelado y/o remoción en incisión o intersección.	
	<b>3A</b>	Levantamiento en las incisiones hasta 1.6 mm. En ambos lados.	
	<b>2A</b>	Levantamiento en las incisiones hasta 3.2 mm. En ambos lados.	
	<b>1A</b>	Remoción de la mayor parte bajo el corte en X	
<b>RESULTADOS:</b>			
<b>UBICACIÓN DE LA PRUEBA</b>	<b>ESPESOR (mils)</b>	<b>GRADO DE ADHERENCIA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Tubería de 10 inchs, Lechada de cal.	4.6	5A	No se pela ni se remueve
IV. OBSERVACIONES			
El corte de la prueba, se realiza hasta llegar al metal.			
Tubería con contaminantes visibles de concentrado, se realiza Limpieza de superficies para la prueba.			
PANEL FOTOGRAFICO			
			
<b>NO SE OBSERVA DESPRENDIMIENTO EN LAS INCISIONES</b>			

**Anexo 05. Medicino de Espesores.**

<b>REPORTE DE ESPESOR DE PELICULA SECA EN RECUBRIMIENTO SUPERFICIAL</b>									
<b>PROYECTO</b>		APLICACIÓN DE TANATO DE ZINC A LA PINTURA DE RECUBRIMIENTO PARA INCREMENTAR LA VIDA ÚTIL DE LAS TUBERIAS DE LECHADA DE CAL DE UNA PLANTA DE FLOTACION, CAJAMARCA 2018"							
<b>ZONA / UBICACIÓN</b>		TUBERIAS VERTICALES ENTRE LAS ZONAS DE SEGUNDA Y PRIMERA LIMPIEZA							
<b>FECHA</b>		25-may-18			<b>REGISTRO N° 01</b>			<b>REPS</b>	
I. ANTECEDENTES									
<b>EQUIPO / COMPONENTE</b>		LECHADA DE CAL							
<b>CANT METROS LINEALES</b>		92							
<b>DIAMETRO</b>		10							
<b>TIPO SUPERFICIE</b>		Superficie circunferencial Metálica Color Violeta							
<b>TIPO SISTEMA APLICAR</b>		CS1							
II. SISTEMAS DE PINTURA A EVALUAR									
SISTEMA 1		CAPA		PINTURA (SHERWIN WILLIAM)		EPS(mils)		(COLOR)	
		CAPA		PINTURA (SHERWIN WILLIAM)		EPS(mils)		(COLOR)	
		RAL (COLOR)							
Base		Base		EPOXICA		0.4		VIOLETA	
Intermedio		Intermedia		EPOXICA TANATO DE SINC		9.6		VERDE	
Acabado		Acabado		EPOXICA TANATO DE SINC		6.5		VERDE	
<b>TOTAL</b>						<b>TOTAL</b>		<b>16.5</b>	
<b>EPS: Espesor de película seca (mils)</b>									
III. MEDICION DE ESPESORES DE PELICULA SECA SSPC - PA2									
Ítems	Descripción	Capa	Nro. de Spots	Spot 1	Spot 2	Spot 3	Spot 4	Spot 5	Prom.(mils)
1	Línea de Lechada de cal de 10 inches ASTM A53	Base	1	0	0	0	0	0	0
		Base	2	0	0	0	0	0	0
		Base	3	0	0	0	0	0	0
			<b>SUB-TOTAL</b>						<b>0.0</b>
2	Línea de Lechada de cal de 10 inches ASTM A53	Intermedia	1	9.8	9.3	9.1	9.9	9.4	9.5
		Intermedia	2	9.6	9.1	9.9	8.9	9.3	9.36
		Intermedia	3	10.1	9.9	10	9.6	9.4	9.85
			<b>SUB-TOTAL</b>						<b>9.6</b>
3	Línea de Lechada de cal de 10 inches ASTM A53	Acabado	1	14	12.5	11.1	12.7	13.0	12.7
		Acabado	2	12.4	13.6	10.7	10.7	10.2	11.5
		Acabado	3	11.6	10.9	12.9	12.5	12.0	12.0
			<b>TOTAL</b>						<b>12.1</b>
IV. OBSERVACIONES Y/O NOTAS									
La primera capa de recubrimiento no presenta un control EPS por ser recubrimiento en corrosiones puntuales.									
La segunda capa de recubrimiento presento un espesor promedio de 9.6 mils									
La tercera capa de recubrimiento presento un espesor de película seca de 12.1 mils									

**Anexo 06.** Limpieza de la tubería con presión de agua (carcher).



**Anexo 07.** Presentación del Cromato de la pintura Macropoxica.



**Anexo 08.** Medidor de espesores Elcometer.



**Anexo 9.** Mezcla del tanato de zinc con pintura epóxica.



**Anexo 10.** Aplicación del recubrimiento a la superficie de la tubería.



**Anexo 11.** Limpieza y preparación de superficie.



