



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE PINTURAS ALQUÍDICAS Y EPÓXICAS APLICADAS
A TANQUES CONSTRUIDOS BAJO NORMA API 650, EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

Luis Fernando García Sosa

Asesorado por el Ing. Edgar Antonio Díaz García

Guatemala, noviembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE PINTURAS ALQUÍDICAS Y EPÓXICAS APLICADAS
A TANQUES CONSTRUIDOS BAJO NORMA API 650, EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

LUIS FERNANDO GARCÍA SOSA

ASESORADO POR ING. EDGAR ANTONIO DÍAZ GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabella Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Linares Cruz
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE PINTURAS ALQUÍDICAS Y EPÓXICAS APLICADAS A TANQUES CONSTRUIDOS BAJO NORMA API 650, EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 21 de agosto de 2017.



Luis Fernando García Sosa

Edgar Antonio Díaz García
Ingeniero Civil
Ingeniero Sanitario
Av. Petapa 7-23 Zona 12
Tel. 2472-0866

Guatemala 26 de septiembre de 2019

Ingeniero Juan Carlos Linares Cruz
Jefe del Departamento de Planeamiento
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente.

Estimado Ingeniero Linares:

Por este medio me dirijo a usted para informarle que habiendo asesorado al estudiante Luis Fernando García Sosa con carné No. 1999-19622, en el trabajo de graduación "COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE PINTURAS ALQUÍDICAS Y EPÓXICAS APLICADAS A TANQUES CONSTRUIDOS BAJO NORMA API 650, EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA." He revisado el trabajo y considero que llena los requisitos exigidos por la Escuela de Ingeniería Civil

En tal virtud, LO DOY POR APROBADO, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme

Atentamente,



Edgar Antonio Díaz García
Ingeniero Civil colegiado 0681
ASESOR

ING. EDGAR ANTONIO DIAZ G.
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO 681



Guatemala, 27 de septiembre de 2019
EIC-JP-004-2019/jcl

Ingeniero
Pedro Antonio Aguilar Polanco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Ingeniero Aguilar:

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE PINTURAS ALQUÍDICAS Y EPÓXICAS APLICADAS A TANQUES CONSTRUIDOS BAJO NORMA API 650, EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Luis Fernando García Sosa, quien contó con la asesoría del Ing. Edgar Antonio Díaz García.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la Ingeniería nacional y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Civil Juan Carlos Linares Cruz
Jefe Del Departamento de Planeamiento

FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
PLANEAMIENTO
U S A C

Cc: Estudiante Luis Fernando García Sosa
Archivo





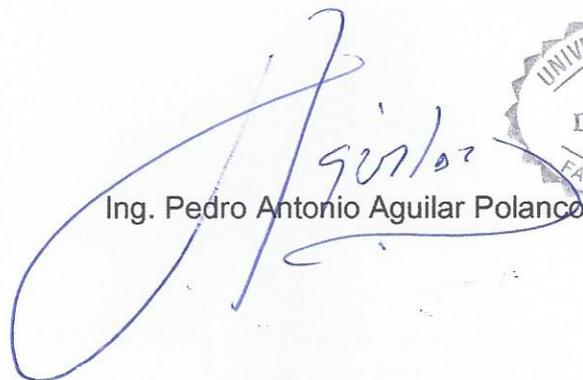
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Edgar Antonio Díaz García y Coordinador del Departamento de Planeamiento Ing. Juan Carlos Linares Cruz al trabajo de graduación del estudiante Luis Fernando García Sosa **COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE PINTURAS ALQUÍDICAS Y EPÓXICAS APLICADAS A TANQUES CONSTRUIDOS BAJO NORMA API 650, EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco



Guatemala, noviembre 2019

/mmm.

Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
24189102 - 24189103

DTG. 545.2019

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE PINTURAS ALQUÍDICAS Y EPÓXICAS APLICADAS A TANQUES CONSTRUIDOS BAJO NORMA API 650, EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Fernando García Sosa**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Arabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, noviembre de 2019



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Quien me dio la vida, me ha bendecido en cada paso en mi carrera y ha hecho de mi vida un sueño hecho realidad, sobre todo por estar siempre a mi lado.

Mis padres

Julio César García y Elba Leticia Sosa, no solo por traerme al mundo, sino también por darme una vida llena de felicidad, apoyo, comprensión y amor. Gracias por haber puesto en mí su fe y amor.

Mis abuelos

Carlos Humberto Sosa (q.e.p.d.) y Rosa Octavila Álvarez de Sosa (q.e.p.d.), por haberme dado todo el amor que se le puede dar a un hijo. Espero algún día disfrutar al lado de ustedes en el Reino de Dios.

Mi esposa

María José Morales, por tu amor y comprensión, pero sobre todo por estar siempre a mi lado apoyándome incondicionalmente.

Mis hijos

Juan Pablo García y José Andrés García por ser la bendición más grande que tengo. Los amo con toda mi alma.

Mis tíos

Hugo Eduardo García y Aura Beatriz Sosa por haberse convertido en figura y modelo de la clase de persona que quiero ser, por estar siempre a mi lado para apoyarme en cada circunstancia.

Mis hermanos.

Danilo García, Alejandro García, Hugo García, Diana García y Ana García.

Mis cuñados

Alejandra Morales, Jimena Morales y Jose Armando Morales

Mis suegros

Armando Morales y Mirza Monzón, por su amor y apoyo incondicional.

Ing. Edgar Díaz

Por su asesoría y consejos para este trabajo y la vida.

Mis amigos

Lionel Corzo y Erika Azurdia, por la amistad, ayuda y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por acogerme en sus aulas y enseñarme lo necesario para convertirme en profesional.
Mis amigos de la Facultad	Raúl Calancho, Lionel Corzo y Bernardo García por estar siempre a mi lado y ayudarme a estudiar y aprender.
Todos y cada uno de mis catedráticos	Por su dedicación y esfuerzo en enseñarme y transmitir sus conocimientos.

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
TABLAS.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. GENERALIDADES Y CONCEPTOS BÁSICOS DE PINTURAS Y PROTECCIÓN DE ACERO AL CARBONO.....	1
1.1. Antecedentes históricos del surgimiento de las pinturas.....	1
1.2. Normas y entes reguladores de aplicación y procedimientos....	4
1.2.1. Normas ASTM para aplicación de pintura en tanques de acero.....	5
1.2.2. Densidad.....	5
1.2.3. Viscosidad.....	5
1.2.4. Brillo.....	5
1.2.5. Compuestos orgánicos volátiles (COV).....	6
1.2.6. Escurrimiento.....	6
1.2.7. Sólidos por peso.....	6
1.2.8. Espesor.....	6
1.3. Exposición de la problemática de la diferencia entre rendimientos teóricos y prácticos.....	7
1.4. Tipología de los tanques.....	11
1.4.1. Tanques API 650 sin techo.....	11

1.4.1.1.	Tanques con <i>Wind-Girder</i>	12
1.4.1.2.	Tanques con angular perimetral de refuerzo	12
1.4.2.	Tanques API 650 con techo de acero	12
1.4.2.1.	Tanques API 650 con techo geodésico.....	13
1.4.2.2.	Tanques API 650 con columna central y <i>rafters</i>	13
1.4.2.3.	Tanques API 650 sin columna central.....	13
1.4.2.4.	Tanques API 650 con techo de aluminio	13
2.	EQUIPOS NECESARIOS PARA LA CORRECTA PROTECCIÓN DE TANQUES DE ACERO AL CARBÓN	15
2.1.	Equipos de chorro de arena	15
2.2.	Arena.....	17
2.3.	Granalla de acero.....	19
2.4.	Aplicación por aspersion con aire	20
2.5.	Aplicación por aspersion sin aire.....	20
2.6.	Equipo de seguridad en la aplicaci3n de pinturas y recubrimientos.....	21
3.	RENDIMIENTOS TE3RICOS Y PR3CTICOS DE DIFERENTES CLASES DE PINTURA	25
3.1.	Rendimientos te3ricos.....	26
3.1.1.	Determinaci3n de m3todos te3ricos de rendimiento.....	26

	3.1.1.1.	Factores por considerar en el rendimiento teórico	27
3.1.2.		Rendimientos de diferentes tipos de aplicación de pintura.....	28
	3.1.2.1.	Rendimientos de pintura aplicada con brocha	28
	3.1.2.2.	Rendimientos de pintura aplicada con rodillo	28
	3.1.2.3.	Rendimientos de pintura aplicada por aspersión con aire	29
	3.1.2.4.	Rendimientos de pintura aplicada por aspersión sin aire	30
	3.1.2.5.	Rendimientos de pintura aplicada por cargas electrostáticas	31
3.2.		Rendimientos prácticos	31
	3.2.1.	Toma de muestras de rendimiento de pintura	31
	3.2.2.	Factores por considerar en el rendimiento práctico	32
	3.2.3.	Determinación de factores de desperdicio para tanques.....	32
	3.2.4.	Seguridad en su aplicación.....	33
		3.2.4.1. Aplicación con brocha o rodillo	33
		3.2.4.2. Aplicación por aspersión con o sin aire.....	34
		3.2.4.3. Manejo de pinturas industriales	34
		3.2.4.4. Protección al personal operativo.....	36
4.		DETERMINACIÓN DEL COSTO DE LA MANO DE OBRA.....	39
	4.1.	Integración de costos	39

4.1.1.	Costo de la pintura	39
4.1.2.	Costo de mano de obra	41
4.1.2.1.	Costo de mano de obra de operador a destajo.....	43
4.2.	Factores por considerar en costo de la aplicación	45
4.2.1.	Factores humanos.....	45
4.2.2.	Desperdicios por obrero	45
4.2.2.1.	Costos por mal manejo del material y pintura	46
4.2.2.2.	Factores de maquinaria y equipo	46
4.2.2.3.	Desperdicios por equipo.....	47
4.2.2.4.	Costos de mal manejo del equipo	47
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	49
5.1.	Análisis estadístico de los rendimientos.....	49
5.1.1.	Tabulación de datos	49
5.1.2.	Análisis de resultados	53
5.1.3.	Comparación de rendimientos teóricos-prácticos....	55
5.2.	Recomendaciones para el costeo	57
5.2.1.	Fórmulas para realizar el costo	58
5.2.2.	Factores de desperdicio	59
6.	GUÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE PINTURAS Y RECUBRIMIENTOS PARA TANQUES BAJO LA NORMA API 650	61
6.1.	Métodos empleados.....	61
6.2.	Determinación del área del tanque	61
6.3.	Aplicación de factores de desperdicio	68
6.4.	Costo de la pintura	69
6.5.	Costo de la mano de obra	69

6.6.	Presentación cotización u oferta.....	69
	CONCLUSIONES	71
	RECOMENDACIONES.....	73
	BIBLIOGRAFÍA.....	75

INDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Muestras de pinturas rupestres en una cueva	2
2.	Peine o tarjeta para medir el EPH	8
3.	Limpieza de tanques por medio del equipo de chorro de arena	17
4.	Arena para <i>sand blast</i>	18
5.	Granalla de acero	19
6.	Guantes que se deben usar durante la aplicación de pintura	22
7.	Equipo de protección en la aplicación de pintura.....	23
8.	Careta para aplicación de pintura	24
9.	Composición de las pinturas.....	26
10.	Pintura aplicada con rodillo	29
11.	Aplicación de pintura por aspersion con aire.....	30
12.	Comparación de costos entre aplicación de pintura póxica y alquídica .	53
13.	Fórmula rendimiento práctico.....	59
14.	Tamaño de placas y localización de cortes.....	64

TABLAS

I.	Factor de volumen muerto factor de volumen muerto	9
II.	Precio de la pintura en diferentes presentaciones.....	40
III.	Tiempo de aplicación en horas hombre	41
IV.	Análisis Estadístico del espesor de la pintura en distintos tanques API 650....	50
V.	Comparación por costo y rendimiento de pintura epóxica y alquídica ..	51
VI.	Costo total de pintura de los tanques.....	52

VII.	Costo de pintura en los tanques, solo exterior	52
VIII.	Comparación de rendimientos	56
IX.	Factores de desperdicio	60
X.	Espesor de pared mínimo	65

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
\$	Dólar
EPH	Espesor de película húmeda
EPS	Espesor de película seca
HH	Horas hombre
L	Litro
m	Metro
mils	Milésima parte de una pulgada
mm	Milímetro
P	Perímetro
Π	Pi, de valor 3,14159265359
%	Porcentaje
PSI	Libra sobre pulgada cuadrada (<i>Pound Square Inch</i>)
Q	Quetzales

GLOSARIO

Ácido canfórico	Sustancia cristalizable blanca obtenida de la oxidación del alcanfor. Es estimulante respiratorio.
Ácido ftálico	Sustancia incolora, soluble en agua y en alcohol. Uso industrial.
Ácido monobásico	Ácido con un solo átomo de hidrógeno sustituible.
Ácido tártrico	Compuesto orgánico polifuncional. Es un acidificante y conservante natural.
Aglutinante	Elemento que sirve para cohesionar pigmentos.
Anhídrido ftálico	Sustancia que se utiliza ampliamente en la industria para la producción de ciertos colorantes.
Corrosión	Proceso químico por el cual un metal es oxidado por sustancias de su entorno.
Curado	Proceso por el cual una pintura o recubrimiento se endurece y adquiere sus características de resistencia definitiva.
Disolventes	Sustancia utilizada para dispersar los componentes que se usan en la formulación de la pintura, para que

esta tenga la consistencia deseada durante la aplicación.

Dispersión

Proceso productivo en el cual se disminuye el tamaño de partícula de los pigmentos mediante el uso de energía mecánica, de modo que los agregados de pigmento sean rotos y las partículas queden suspendidas dentro del vehículo de la pintura.

Éster polimerizado

La polimerización consiste en un proceso químico entre reactivos de bajo peso molecular. Los ésteres de los ácidos no saturados son inestables y, por tanto, se polimerizan rápidamente y producen resina.

Glicerina

Componente clave de los barnices que se utilizan para acabados. La glicerina se utiliza como aislante en la elaboración de resinas alquídicas.

Leneta

Hoja de papel contraste, utilizada en la industria de pinturas, con una porción de color blanco y otra de color negro. Al aplicar pintura sobre este tipo de papel, es posible apreciar el poder cubriente de la misma.

Micra

Unidad de longitud equivalente a una milésima parte de un milímetro.

Mil	Unidad de longitud inglesa equivalente a la milésima parte de una pulgada.
Silicosis	Enfermedad crónica del aparato respiratorio que se produce por haber aspirado polvo de sílice en gran cantidad.
Solubles	Capacidad de una sustancia de disolverse en otra llamada solvente, o en la que se encuentra en mayor cantidad.
Sustrato	Superficie en la cual se aplicará la pintura o resina.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación se llevó a cabo para establecer una comparación entre los costos de aplicación de la pintura epóxica y alquídica. Se comenzó con la investigación acerca de los tanques construidos bajo la norma API 650 y la aplicación de pintura; se realizó la mención de normas internacionales que regulan el proceso de preparación de superficies. Se describe el método de chorro de arena o *Sand Blast* como la técnica más utilizada en la limpieza y preparación de los tanques. Posteriormente se obtuvieron cuatro muestras de distintos tanques con techo cónico y se llevó a cabo la limpieza por medio de *sand blast* y la aplicación de pintura (Catacoat, como epóxica y Ultra Rápido II, como alquídica) por medio de la técnica de aspersión sin aire. Se realizaron entre 54 y 102 mediciones para indicar el espesor apropiado de la pintura (5 mils para epóxica y 4 mils para alquídica).

Con los datos obtenidos, se procedió a analizar los resultados de la aplicación de pinturas en los tanques por medio de tendencia lineal. Se obtuvo que la aplicación de pintura epóxica era más costoso que el de pintura alquídica, sobre todo por la necesidad de otra pintura extra para su aplicación exterior. Para el análisis únicamente se discutió la aplicación de pintura en el área externa de los tanques.

Así mismo, para mayor facilidad de comprensión de los costos de la aplicación de pintura se describió de la metodología como forma de cotización u oferta.

OBJETIVOS

General

Determinar los costos de la protección con pinturas para cubrir las piezas metálicas que se desea proteger en tanques bajo la norma de construcción API 650.

Específicos

1. Establecer cuáles son los métodos de preparación de las superficies que se van a proteger.
2. Establecer los procedimientos para la aplicación de pinturas y recubrimientos.
3. Establecer las cantidades de materia prima que se utilizará.
4. Establecer el costo de la mano de obra.
5. Comparar las diferencias entre ambos sistemas.

INTRODUCCIÓN

En la construcción, cuando se utiliza elementos de acero al carbono expuestos al ambiente, se debe aplicar una capa de pintura que proteja el elemento de la corrosión. En el caso de estar en ambientes hostiles o en contacto con sustancias corrosivas, se deberá emplear pinturas o recubrimientos apropiados que lo protejan.

La investigación se enfoca en los tanques de almacenamiento que se rigen bajo la norma API 650, protegidos con pinturas alquídicas y epóxicas.

El desarrollo de la investigación consta de seis (6) capítulos. El primer capítulo trata de los antecedentes de la aplicación de pinturas y las normas que rigen a la industria. En el segundo se explica qué equipos son necesarios para la aplicación de las pinturas, para qué sirven, cuál es su función y cuáles son los métodos de aplicación. En el tercer capítulo se explica cuáles son los rendimientos teóricos y prácticos de las diferentes clases de pintura, se informa acerca de los factores de desperdicio y los distintos métodos de aplicación.

El cuarto capítulo tiene como eje central el costo de la mano de obra y cómo integrarla al costo. El quinto capítulo expone los datos recopilados y se comparan. En el sexto capítulo se propone una guía práctica con un ejemplo de cómo cuantificar el costo de la aplicación de la pintura en tanques bajo norma API 650; también se presentan las conclusiones y recomendaciones.

1. GENERALIDADES Y CONCEPTOS BÁSICOS DE PINTURAS Y PROTECCIÓN DE ACERO AL CARBONO

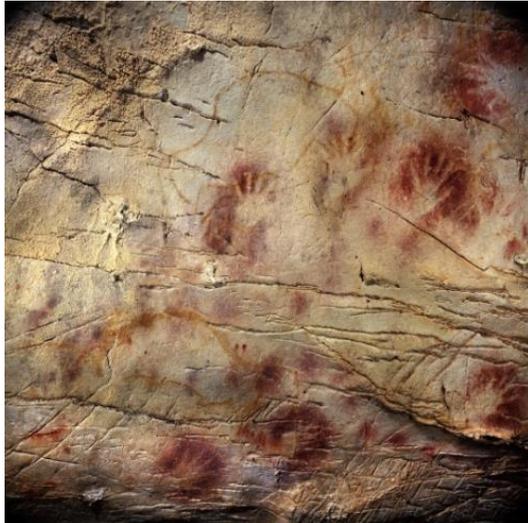
1.1. Antecedentes históricos del surgimiento de las pinturas

Las pinturas surgen a partir del descubrimiento, por parte del ser humano, que ciertas sustancias y su combinación, producían un tinte o color. Con este descubrimiento, el humano primitivo obtuvo la capacidad de comunicarse a través de las pinturas para dejar mensajes que incluso llegaron a futuras generaciones, muestra de ello son las pinturas rupestres encontradas en cuevas de África, Europa y América.

“Antes del desarrollo de la escritura, las sociedades humanas posiblemente registraban ya, mediante la pintura y el grabado en piedras, una gran parte de sus vivencias, pensamientos y creencias.”¹

¹ CELIS y Botiva. *Arte rupestre*. <https://www.rupestreweb.info/introduccion.html>. Consulta: 9 de junio 2018

Figura 1. **Muestras de pinturas rupestres en una cueva**



Fuente: CORBELLA, Josep *La cueva de El Castillo* [en línea] <https://www.lavanguardia.com/ciencia/20120614/54311323192.html> 2012 [Consulta: 14 de junio de 2016]

“En las pinturas rupestres generalmente se usaban uno o dos colores, incluyendo algunos negros, rojos, amarillos y ocre. Los colores también llamados pigmentos eran de origen vegetal como el carbón vegetal, de fluidos y desechos corporales como las heces, compuestos minerales como la hematita, la arcilla y el óxido de manganeso, mezclados con un aglutinante orgánico: resina o grasa.”² El objetivo principal de estas pinturas era plasmar hechos importantes de la vida cotidiana; se exploraron combinaciones y elementos de tal manera que sus pinturas perduraran a través del tiempo. Posteriormente, la pintura fue utilizada para usos decorativos y de protección como el camuflaje.

El desarrollo de las pinturas dio como resultado que se exploraran más propiedades; algunos compuestos, además de agregar color a las cosas, las protegían de los agentes externos como la humedad. Un ejemplo es la laca,

² *Pintura Rupestre*. https://es.wikipedia.org/wiki/Pintura_rupestre. Consulta: junio de 2018

resina segregada por insectos de la misma familia de la cochinilla. El nombre de estos insectos es *Laccifer lacca*.³

Durante muchos siglos la producción de pinturas fue baja debido a que las materias primas eran difíciles de encontrar, por lo cual sus precios eran altos. Así mismo, cada persona debía realizar sus compuestos, por lo cual sólo las personas ricas podían sufragar el aprendizaje de esta disciplina.

A partir de la revolución industrial los procesos para la fabricación de pintura se volvieron más eficientes. Las pinturas creadas desde ese entonces se utilizaron en publicidad y como recubrimiento de piezas de metal, a los cuales se buscaba proteger de los elementos climáticos y ambientales.

Tal como se manifiesta en el documento “Origen de la industria de la pintura” de Pozo: el primer éster polimerizado fue descubierto accidentalmente por Jöns Jacob von Berzelius en 1847, calentando glicerina y ácido tártrico. Posteriormente, en 1853 Marcellin Pierre Eugene Berthelot preparó glicerina con ácido canfórico. En 1901 se descubrió que al hacer reaccionar ácido ftálico con glicerina, formando el ftalato de glicérico que dio paso a las primeras resinas alquídicas, pero estas no eran solubles en disolventes.

La General Electric investigó sobre dichas resinas alquídicas y fue la que patentó varias de ellas en los años 1914 y 1915; se trataba de reacciones de anhídrido ftálico y glicerina. En algunas se sustituyó parte de dicho anhídrido ftálico por un ácido monobásico, como por ejemplo ácido butírico, ácido oleico, etc. para obtener resinas más flexibles.

³ WIKIPEDIA. *Kerria Lacca*. [en línea] https://es.wikipedia.org/wiki/Kerria_lacca. [Consulta: junio de 2018]

En cambio, las pinturas epóxicas comenzaron su desarrollo a principios del siglo pasado. Se considera al Dr. Pierre Castalan de Suiza y el Dr. S. O. Greenlee, de los Estados Unidos, como los creadores de la primera resina epoxi basada bisfenol.⁴

1.2. Normas y entes reguladores de aplicación y procedimientos

En la industria hay una variedad de entes que regulan y establecen normas al respecto de la pintura. Varían según región geográfica y tipo de industria en donde se especializan, y regulan desde la preparación de las superficies hasta los equipos y los métodos de aplicación. Sin embargo, el caso de estudio presente se enfocará en las normativas que tienen que ver con la aplicación de pinturas en tanques de acero al carbón construidos con las especificaciones de API 650.

Para la aplicación de pintura en tanques, las entidades con mayor aceptación en el medio son:

- NACE (National Association of Corrosion Engineers)
- SSPC (The Society for Protective Coatings)
- ASTM (American Society for Testing Materials)
- ISO (International Organization for Standardization)

Entre las normas más conocidas se encuentra la ASTM. Algunas de sus especificaciones se describen a continuación.

⁴ POZO, Grace. *Origen de la industria de la pintura*. www.academia.edu/37122025/ORIGEN_DE_LA_INDUSTRIA_DE_LA_PINTURA. Consulta: junio 2018

1.2.1. Normas ASTM para aplicación de pintura en tanques de acero

La ASTM International, conocida como la *American Society for Testing and Materials*, se dedica al desarrollo y distribución de estándares internacionales. Estos se utilizan en todo el mundo para mejorar la calidad y seguridad de los productos, facilitar el acceso al mercado y al comercio, y fortalecer la confianza de los consumidores. Hoy, ASTM International tiene cientos de normas para la industria de pinturas. Entre ellas, existen algunas útiles para la evaluación de recubrimientos.

1.2.2. Densidad

La norma ASTM D 1475 permite determinar la densidad a una temperatura definida, para ello utiliza un picnómetro para pinturas. Este es conocido comúnmente como copa de peso por galón.

1.2.3. Viscosidad

La norma ASTM D 562 permite expresar la consistencia de las pinturas en unidades Krebs. El equipo de medición es un viscosímetro tipo *Stormer*.

1.2.4. Brillo

La norma ASTM D 523 establece el uso de un brillómetro, el cual consiste en una lámpara incandescente que proyecta un haz de luz. Se mide la reflectancia luminosa de la pintura mediante la comparación con un estándar de vidrio negro. El método se realiza con un ángulo geométrico de 60°.

1.2.5. Compuestos orgánicos volátiles (COV)

La norma ASTM D 3960 acepta determinar el contenido de compuestos orgánicos volátiles (COV) de las pinturas; este tipo de compuestos participan en reacciones atmosféricas fotoquímicas. El COV se determina en función de la cantidad de agua y de compuestos sólidos orgánicos que no participan en las reacciones fotoquímicas, de la cantidad de sólidos o material no volátil.

1.2.6. Esgurrimiento

La norma ASTM D 4400 permite determinar el grado de escurrimiento de una pintura mediante la utilización de un aplicador con varias muescas. A través de aplicaciones en lenetas, se obtiene un patrón de escurrimiento que puede relacionarse con una escala para cuantificar el índice de antiescurrimiento.

1.2.7. Sólidos por peso

La norma ASTM D 2369 permite determinar el contenido de materia no volátil de un recubrimiento, con respecto a la masa total. Para ello, se hace uso de una charola de aluminio, en donde se pesa una cantidad conocida de muestra de pintura; luego se procede a calentar la en el mismo equipo en donde se pesa. Después de transcurrido el tiempo estipulado para el calentamiento, se obtiene el valor porcentual del contenido de no volátiles (el contenido de componentes volátiles se calcula por diferencias).

1.2.8. Espesor

La norma ASTM D 1005 permite establecer el espesor de la película seca de pintura. Para ello se utilizan micrómetros y se hace serie de lecturas.

1.3. Exposición de la problemática de la diferencia entre rendimientos teóricos y prácticos

En la fase de planificación de cada proyecto se cuantifican materiales, equipos, mano de obra, entre otros. Lo que representa un grave problema es el hecho de que en las hojas técnicas de las pinturas se establece un rendimiento teórico, el cual dista mucho de ser verdadero debido a que se ha obtenido con base en condiciones ideales en un laboratorio. No toma en cuenta variables como la rugosidad del sustrato, el perfil de anclaje, los desperdicios que hay en la aplicación, entre otros.

Según Samaniego en su tesis “Principios y procedimientos para la aplicación de recubrimientos industriales en la construcción”⁵ para hacer una estimación del consumo de materiales en cualquier recubrimiento se debe conocer la base de los cálculos, nomenclaturas y ecuaciones. Estas son:

- Volumen de sólidos. Un recubrimiento está formado por una mezcla de químicos en estado sólido y líquido; los sólidos serán los que conforman la película protectora y los líquidos se volatilizan después de aplicar el recubrimiento al cumplir su función de solvente y aglutinante. El volumen de los sólidos contenidos da el espesor de la película protectora y nos dicta el rendimiento del producto.
- Espesor de la película. Su especificación puede darse en micras o en milésimas de pulgada a elección del fabricante. Debe determinarse si la película es húmeda o seca.

⁵SAMANIEGO, Vladimiro. *Principios y procedimientos para la aplicación de recubrimientos*. Sonora, 2000. p. 38.

- Espesor de la película húmeda (EPH). Este se conoce al momento de aplicar el recubrimiento, para que cumpla con el espesor de la película seca (EPS).

Para medirlo son utilizados dispositivos de dos tipos principales; de rueda y de peine o tarjeta. El más usual y confiable es el último; contiene un par de dientes exteriores al mismo nivel y los interiores son cada vez más cortos y presentan una distancia predeterminada entre la punta y el nivel de marcado por los dos laterales. Cuando se aplica sobre la superficie recién pintada, el diente del peine que está tocando o que está más próximo a la superficie del recubrimiento da el espesor.

Figura 2. **Peine o tarjeta para medir el EPH**



Fuente: elaboración propia.

- Espesor de la película seca (EPS). “Se refiere al espesor último que tendrá la capa de recubrimiento cuando haya secado y es la base de formulación de los sistemas de recubrimientos”⁶.

Para medir los espesores secos son usados los principios de electromagnetismo, los cuales aprovecha la reducción del flujo electromagnético debido a la presencia de una capa no magnética (espesor de la película seca) o de la presencia de aire o vacío.

- *Aumento de la superficie y formación del volumen muerto.* El aumento de la superficie se forma a causa de las irregularidades del sustrato; a esto se le denomina rugosidad superficial. Esta origina un factor llamado volumen muerto, el cual debe tomarse en cuenta para su recubrimiento.

La rugosidad o perfil de anclaje señala el factor de volumen muerto, este puede obtenerse de la siguiente tabla:

Tabla I. **Factor de volumen muerto factor de volumen muerto**

Rugosidad en micras	Aumento de la superficie %	“Volumen muerto” cm ³ /m ² @ 1 micra pintura húmeda
30	26	25
40	36	31
50	46	38
60	54	45
70	61	51

Fuente: SAMANDIEGO, Vladimiro. *Principios y procedimientos para la aplicación de recubrimientos*. Sonora, 2000. p. 43.

⁶ SAMANIEGO, Vladimiro. *Principios y procedimientos para la aplicación de recubrimientos*. Sonora, 2000. p. 43

La rugosidad se podrá obtener dependiendo del sistema de limpieza que se aplique.

- Consumo de recubrimientos y volumen muerto. El consumo para obtener un espesor de película determinado pueda calcularse si se conoce el volumen de sólidos o proporción de sólidos en volumen (PSV) de un recubrimiento con la siguiente ecuación:

$$\frac{EPS \text{ micras}}{\text{proporción de Sólidos en Volumen } \%} * (10) = \text{Consumo} \left(\frac{\text{Litros}}{100m^2} \right)$$

Lo anterior indica que cualquier recubrimiento está compuesto de una parte que se quedará en el recubrimiento final, y otra que volatiliza para formar dicho recubrimiento.

El rendimiento teórico se define como la superficie máxima en metros cuadrados que se puede recubrir con un litro de material a 1 milésima de espesor de película seca (EPS). En cambio, el rendimiento práctico se refiere a la superficie en metros cuadrados que se puede recubrir con un litro de material a un espesor de película seca determinado y descontando el volumen de desperdicio de material como consecuencia de la forma geométrica del sustrato y los factores ambientales. Estos se detallan a continuación.

- La rugosidad del sustrato. Se refiere a que los sustratos en muy raras ocasiones son lisos a nivel microscópico. En el caso de los tanques API 650, la mayoría deben limpiarse con Sand-Blast, que crea un perfil de anclaje beneficioso para la pintura debido a que por ser irregular, la superficie tiene un área mayor. Lo anterior se traduce en mayor área de contacto y mayor adherencia al sustrato.

- El porcentaje de pérdidas de producto en la manipulación y aplicación. Cuando se mezclan los distintos componentes y se homogenizan, se cambian de recipientes; por lo tanto, se pierde buena parte de materia prima. En la aplicación se pierde un considerable porcentaje de producto.
- Falta de precisión en la aplicación del espesor requerido. Si se toma como ejemplo que se desea aplicar pintura a 3 mils de espesor, y considera que el grueso de un cabello humano es de 0.085 mm y los 3 mils equivalen a aplicar 0.0762 mm es fácil entender por qué al aplicador le cuesta trabajo calcular el espesor de aplicación.

En fin, cada vez que no se toma en cuenta que el rendimiento teórico no va de la mano con el rendimiento práctico, se tendrá problemas en el presupuesto del proyecto y habrá sobrecostos.

1.4. Tipología de los tanques

Estos varían dependiendo de si poseen o no un techo.

1.4.1. Tanques API 650 sin techo

Los tanques construidos bajo la norma API 650 que han sido construidos para el petróleo y sus derivados principalmente. Esto no limita a contener cualquier otro líquido,⁷ ya que los parámetros de diseño toman en consideración la gravedad específica del producto que contendrá. Esta norma sí se limita exclusivamente a tanques nuevos, por lo que queda descartado el análisis bajo esta norma de cualquier tanque viejo y reparaciones en tanques existentes. En

⁷ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, *Welded tanks for oil storage API Standard 650*. 12^a ed. Washinton D.C., 2013. p. 1-1

esta norma se consideran varias configuraciones de los tanques. A continuación, se detallan las principales.

1.4.1.1. Tanques con *Wind-Girder*

Son los que tienen consideraciones en su diseño de una alta carga por viento. A los que no poseen techo rígido se les debe agregar un refuerzo para que no se deforme por acción de fuerzas externas.

1.4.1.2. Tanques con angular perimetral de refuerzo

Todos los tanques deberán contener un angular perimetral de refuerzo. Este angular es vital para la conformación de la redondez del tanque que es parte esencial en la estructura debido a que la parte superior ayuda a resistir las deformaciones, tanto constructivas como las hechas por acción de los elementos.

Este elemento es indispensable sobre todo en los tanques. Cuando no tienen techo deberán contar con algún elemento que provea la rigidez necesaria.

1.4.2. Tanques API 650 con techo de acero

Los tanques que tienen techo en Guatemala comúnmente tienen forma cónica, lo cual ayuda a la evacuación del agua cuando llueve. Pueden tener varias columnas o ser autosoportados.

La forma cónica y redonda provee bastante rigidez ayuda al tanque a soportar las cargas que interactúan con el mismo. Si la pendiente del cono aumenta, también lo hará su rigidez.

1.4.2.1. Tanques API 650 con techo geodésico

Los techos geodésicos son utilizados cuando el cliente tiene preferencia por un techo sin columnas. Tiene como ventaja que no requiere válvula de alivio debido a que hay un espacio que sirve como ventilación entre el tanque y el techo. Estos techos requieren la instalación de un Wind Girder, el cual da soporte estructural a la parte superior del tanque.

1.4.2.2. Tanques API 650 con columna central y *rafters*

Los que tienen columnas, habitualmente utilizan el espesor mínimo de cubierta, que es 3/16 de pulgada debido a la estructura interna conformada por las columnas y los rafters que le dan rigidez y soporte al techo.

1.4.2.3. Tanques API 650 sin columna central

Aquellos tanques que no tienen columnas deben utilizar espesores mayores y una pendiente mayor para que la forma cónica dé rigidez al techo.

1.4.2.4. Tanques API 650 con techo de aluminio

Los techos de aluminio presentan la ventaja de su bajo peso y que el material no necesita aplicación de pintura ni recubrimientos, lo que reduce los costos de mantenimiento. Estos techos no se fabrican en Guatemala y cuando

son requeridos usualmente se importa de Estados Unidos de Norte América o de China y son ensamblados en sitio.

2. EQUIPOS NECESARIOS PARA LA CORRECTA PROTECCIÓN DE TANQUES DE ACERO AL CARBÓN

2.1. Equipos de chorro de arena

Los equipos que se utilizan en el *Sand Blast* son todos aquellos que sirven para limpiar el acero a través del método de chorro de arena.

Para impulsar la arena se necesita un mecanismo para lanzarla con fuerza contra el sustrato. Para esto se puede utilizar un compresor de aire, el cual expulsa un caudal de aire que impulsará la arena contra el sustrato. Esto causará abrasión en el mismo y lo limpiará de cualquier impureza que tenga en la superficie.

Para esto se hace pasar aire a través del cilindro que contiene la arena. En la parte inferior del cilindro, la arena cae por gravedad y se mezcla con el caudal de aire, luego se traslada por medio de una manguera y finalmente se encauza en una boquilla que es dirigida al sustrato. Los abrasivos son clasificados de la siguiente manera⁸:

- Grado 1. Abrasivos que producen perfiles de superficie de 0,5 a 1,5 mils (13 a 38 micras).
- Grado 2. Abrasivos superficiales que producen pro-files de 1,0 a 2,5 mils (25 a 64 micras).

⁸ RUIZ, Jeannette. *Uso de la escoriade mata de níquel como material abrasivo*. Guatemala, 2012. p. 5

- Grado 3. Abrasivos que producen perfiles de superficie de 2,0 a 3,5 mils (51 a 89 micras).
- Grado 4. Abrasivos que producen perfiles de superficie de 3,0 a 5,0 mils (75 a 127 micras).
- Grado 5. Abrasivos que producen perfiles de superficie de 4,0 a 6,0 mils (102-152 micras).⁹

El ensayo para determinar el grado del abrasivo consiste en obtener una muestra representativa del material de acuerdo con la norma ASTM D 75, que se utilizará para formar un chorro abrasivo dirigido a una placa de acero suave de SSPC-VIS 1. El chorreado se realiza utilizando un 3/8 in (9,5 mm) # 6 boquilla venturi con una presión de boquilla de 95 ± 5 psig (670 ± 35 kilopascales) a una distancia de 24 ± 6 pulgadas (61 ± 15 cm) de la superficie en un ángulo de 75 a 105 grados.

La arena deberá proveer el tamaño y la dureza adecuada; estar tamizada antes de ingresarla en la máquina de *sand blast* y no deberá ser muy fina ni muy gruesa. Muy fina no limpiará y muy gruesa creará un perfil de anclaje muy grande, lo que hará que el precio por metro cuadrado del recubrimiento se eleve.

⁹ RUIZ, Jeannette. *Uso de la escoriade mata de níquel como material abrasivo*. Guatemala, 2012. p. 5

Figura 3. **Limpieza de tanques por medio del equipo de chorro de arena**



Fuente: elaboración propia.

2.2. **Arena**

Es el abrasivo natural de más amplia disponibilidad y muy bajo costo. El tipo de arena que se utiliza para el *sand blast* es la sílice y nunca calcárea. Al ser un abrasivo natural debe ser sometido a análisis. No debe utilizarse a granel sino tamizada, para retirar los finos que no realizan un buen trabajo de arenado sobre la superficie y los gruesos que obturarían el equipo. Puesto que posee la capacidad de absorber humedad, debe ser sometida a proceso de secado.

La especificación SSPC clasifica este abrasivo de acuerdo con su contenido de sílice cristalina en los siguientes tipos:

- Clase A- Sílice cristalina menor que o igual a 1.0 %
- Clase B- Sílice cristalina menor que o igual a 5.0 %

- Clase C- Sílice cristalina sin restricciones (no hay restricciones sobre el contenido de sílice cristalina).¹⁰

Las especificaciones de la distribución del tamaño de partícula se encuentran en ASTM C136. Los tamices estándar son 6, 8, 12, 16, 20, 30, 40, 50, 70, 100, 140, y 200.

Según la hoja de seguridad¹¹, la exposición continua al polvo de sílice y sin cuidado alguno puede producir neumoconiosis, que consiste en un grupo de condiciones debidas al depósito de minerales en el pulmón. La silicosis es la más conocida de las neumoconiosis, la cual se evalúa como una enfermedad profesional.

Figura 4. **Arena para *sand blast***



Fuente: elaboración propia.

¹⁰ RUIZ, Jeannette. *Uso de la escoriade mata de níquel como material abrasivo*. Guatemala, 2012. p. 5

¹¹ ARENA SILICIA & ARQUITECTOS LTDA. *Hoja de seguridad arena silicea*. [en línea] <https://es.scribd.com/document/268336395/hoja-seguridad-arena-silicea-pdf>. [Consulta: junio del 2018]

2.3. Granalla de acero

Son pequeñas partículas de acero que sustituyen la arena. Tienen exactamente la misma función, con la diferencia que es reutilizable. Al ser de acero no se fracturan en la misma proporción que la arena y no producen polvo adicional, lo cual constituye una ayuda para el operador, quien puede ver de mejor manera el material que está limpiando. Así mismo, es beneficioso para la salud ya que ayuda a no contraer silicosis, enfermedad profesional del *sand blast*.

Otra de sus características es que debido a su dureza crea un mayor perfil de anclaje en el acero, lo que ayuda a la adherencia del recubrimiento por aplicar. Se debe estar consciente del costo que conlleva tener un mayor perfil de anclaje, ya que se incrementará.

Figura 5. Granalla de acero



Fuente: elaboración propia.

2.4. Aplicación por aspersión con aire

Para los recubrimientos con un promedio de mediano y bajo de sólidos se recomienda la utilización de este método de aplicación. La aplicación con aspersores de aire se utiliza para recubrimientos de bajo espesor.

Los aspersores con aire aprovechan el impulso de la presión provista por algún compresor de aire, el cual impulsa la pintura hasta la superficie que se desea proteger.

2.5. Aplicación por aspersión sin aire

Para los recubrimientos con un promedio de mediano o alto de sólidos se recomienda la utilización de este sistema. Esta aplicación se utiliza para recubrimientos más durables puesto que tienen un alto porcentaje de sólidos.

Los aspersores sin aire aprovechan el impulso de la presión provista por una bomba, la cual aprovecha la elasticidad de los materiales como la manguera para almacenar la presión con la cual se aplica el recubrimiento sobre el sustrato.

Hay varios tipos de aspersores de recubrimientos sin aire, cada uno está diseñado para distintos tipos de recubrimiento. Los aspersores eléctricos están diseñados para pinturas con un porcentaje mediano de sólidos, pueden alcanzar hasta 3,300 PSI. Los aspersores sin aire duales utilizan un motor eléctrico y uno neumático para alcanzar presiones hasta de 6500 PSI e inclusive más altas.

Los equipos duales usan un motor eléctrico y uno neumático. De esta forma reducen considerablemente el tamaño del motor eléctrico, ya que para elevar la presión hasta estos niveles sería necesario un motor eléctrico demasiado grande.

2.6. Equipo de seguridad en la aplicación de pinturas y recubrimientos

Entre las enfermedades ocupacionales de la aplicación de pinturas y recubrimientos, según la OMS, el pintar representa un gran riesgo para la salud de los aplicadores. Por ejemplo, las personas que realizan la limpieza con *sand-blast* con arena para este fin, progresivamente padecen silicosis, la cual es provocada cuando los pulmones de los trabajadores se llenan de partículas de sílice que está presente en la arena. Esta enfermedad no tiene cura; únicamente se puede prevenir con la utilización de equipo de protección y cambiando el material con el que se hace el *sand blast* por otros que no liberen sílice en el ambiente. Puede ser remplazada por granalla de acero, entre otros. Los vapores volátiles de las pinturas también son responsables de enfermedades como el cáncer. De estos vapores, el peligro más inmediato es la combustión y la explosión.

Los equipos de seguridad que debe utilizar el personal para los trabajos de recubrimiento son:

- Guantes: el personal que limpia las láminas deberá proteger sus manos con guantes adecuados para las tareas que se realizan. En el caso más general cuando se realiza la limpieza y pintura deberá portar guantes de hule resistente a los solventes.

Figura 6. **Guantes que se deben usar durante la aplicación de pintura**



Fuente: elaboración propia

- Escafandra, equipo de respiración y gabacha de protección. Cuando se limpia con *sand blast* el operador deberá portar su equipo de protección completo que incluye escafandra, equipo de respiración y gabacha de protección.

Figura 7. **Equipo de protección en la aplicación de pintura**



Fuente: SIMMA EQUIPOS Y CONSUMIBLES. *Equipos de seguridad Clemco*. [en línea] www.simma.cl/producto/equipos-de-seguridad-clemco/ .[Consulta: junio 2018].

- Máscaras y mascarillas. Cuando se aplica la pintura es muy importante tener un equipo de protección para la respiración. Para esto se utilizan máscaras y mascarillas.

Cada una deberá ser adecuada para el tipo de pintura que se está aplicando. En el caso de los aplicadores, deberá tener una máscara que cubra completamente el rostro para que le proteja los ojos de los vapores de los solventes.

Figura 8. **Careta para aplicación de pintura**



Fuente: elaboración propia.

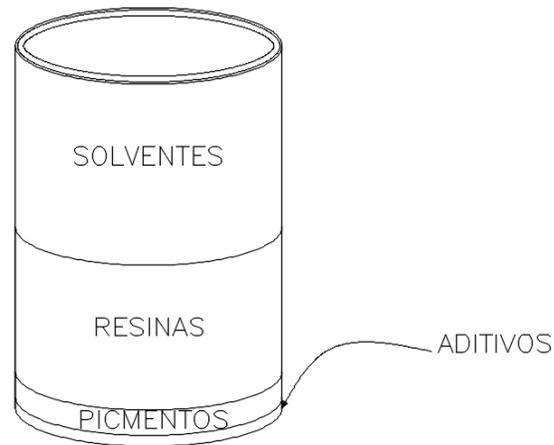
3. RENDIMIENTOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS DE DIFERENTES CLASES DE PINTURA

Los rendimientos de las pinturas están determinados por el porcentaje de sólidos que hay en cada recubrimiento. Como se mencionó, los líquidos solamente se utilizan como un vehículo que ayuda a la aplicación y, posteriormente se evaporan. Por lo tanto, lo que se contabiliza es el espesor seco de la pintura. El rendimiento teórico lo determina el fabricante. Las pruebas son realizadas en un laboratorio en condiciones ideales, a diferencia del rendimiento práctico, que es el que cada usuario determina durante el trabajo.

Por lo definido anteriormente, lo que al final puede ser cuantificado es el espesor de película seca (EPS); es decir, el espesor de las capas de pintura después de su secado y curado.

Las pinturas tienen un porcentaje de solventes, los cuales se evaporan hasta la atmósfera; otra parte la conforman las resinas, pigmentos y aditivos, que son los que en conjunto forman los sólidos de la pintura. Estos son los sólidos que quedan como espesor de película seca (EPS).

Figura 9. **Composición de las pinturas**



Fuente: elaboración propia.

3.1. Rendimientos teóricos

Es aquel que, en condiciones ideales, rinde un determinado recubrimiento o pintura.

3.1.1. Determinación de métodos teóricos de rendimiento

Para determinar el rendimiento teórico se toman muestras estandarizadas en condiciones ideales y controladas. En el laboratorio se comprueba el dato que brindan los fabricantes en las fichas técnicas de los productos. Para esto se utiliza un parámetro ya demostrado, que es:

Una capa¹² “de 1 mils de espesor con un porcentaje de sólidos del 100 % cubre un área de 149 m²”

De acá se puede intuir que una fórmula generalizada sería¹³:

$$R = \frac{149 * S}{EPS}$$

Donde:

R= rendimiento teórico

S= porcentaje de sólidos

EPS= espesor de película seca

3.1.1.1. Factores por considerar en el rendimiento teórico

Los principales factores por considerar son:

- Rugosidad de la superficie: esta hace que las mediciones sean muy diversas a pesar de estar en el mismo sustrato. Existen picos microscópicos en el metal. La rugosidad es medida hasta llegar a lo más alto del pico; a partir de este punto se considera el espesor real.
- Método de aplicación: dependiendo del método de aplicación de pintura habrá desperdicios, estos deben ser considerados.

Es importante resaltar que cada fábrica o taller de pintura es distinto, cada uno deberá tener su propio factor de desperdicio. En este factor actúan muchos factores, por lo cual no es posible generalizar un porcentaje. Sin embargo, sí

¹² SAMANIEGO, Vladimiro. *Principios y procedimientos para la aplicación de recubrimientos*. Sonora, 2000. p. 43

¹³ SAMANIEGO, Vladimiro. *Principios y procedimientos para la aplicación de recubrimientos*. Sonora, 2000. p. 43

puede existir un rango generalizado enmarcado en las buenas costumbres de aplicación.

3.1.2. Rendimientos de diferentes tipos de aplicación de pintura

Cada método de aplicación es distinto y esto conlleva a distintos rendimientos, los cuales están determinados por el porcentaje de pintura que se desperdicia.

3.1.2.1. Rendimientos de pintura aplicada con brocha

La brocha es uno de los métodos de aplicación más conocidos. Es un método utilizado por su comodidad económica. Dentro de los factores por considerar en este método está la pintura que queda en las brochas, las gotas que caen al suelo, el sobreespesor que deja la persona que aplica.

Para este método el factor que más peso tiene es la falta de control en el espesor. Usualmente se trata de compensar aplicando solventes, lo cual termina de aumentar el costo.

3.1.2.2. Rendimientos de pintura aplicada con rodillo

Como en el caso anterior, este es uno de los métodos utilizados en el medio. En este caso, el factor de más importante por considerar es la cantidad de pintura que cae al suelo. Dentro de las ventajas de este método destaca la velocidad para la aplicación y la economía, debido a que el equipo es barato.

Dentro de las desventajas está que la aplicación de acabados finos no se puede utilizar, por las incertezas en el espesor.

Figura 10. **Pintura aplicada con rodillo**



Fuente: elaboración propia.

3.1.2.3. Rendimientos de pintura aplicada por aspersión con aire

Es el método más utilizado por su versatilidad en la aplicación de un gran número de recubrimientos. Aunque no es tan eficiente como el método de aspersión sin aire, con una adecuada combinación de presiones y boquillas, pueden ser aplicados productos de alto peso específico y de diferentes viscosidades. Entre las principales consideraciones al efectuar aplicaciones por este método está la distancia entre la pistola y la superficie, la cual debe oscilar entre 15 y 20 centímetros. La pintura debe ser aplicada a la mínima presión capaz de atomizarla de una manera uniforme. La pistola debe mantenerse

siempre perpendicular a la superficie por pintar. La pérdida de material por aspersión con aire es de 25 a 35 %.

Figura 11. **Aplicación de pintura por aspersión con aire**



Fuente: elaboración propia.

3.1.2.4. Rendimientos de pintura aplicada por aspersión sin aire

Los aspersores sin aire trabajan pulverizando la pintura. Esto lo logran haciendo pasar la pintura a altas presiones por un estrecho orificio.

Las boquillas de los equipos permiten al aplicador jugar con dos variables. La primera es el ancho del abanico de pulverización y la segunda, el caudal de pintura pulverizada. Con estas dos variables y la destreza del aplicador se puede pintar amplias áreas con espesores grandes de manera ágil.

3.1.2.5. Rendimientos de pintura aplicada por cargas electrostáticas

Los rendimientos de la pintura en polvo, la cual se adhiere al sustrato metálico por medio de cargas electrostáticas, depende en gran medida del aplicador que coloque la cantidad necesaria para tener un resultado satisfactorio, y de la capacidad de la cabina de pintura para la recuperación de la pintura no utilizada.

3.2. Rendimientos prácticos

Son aquellos que buscan tomar de referencia los rendimientos teóricos y aplicando un factor de magnificación, se aproxime al volumen real de pintura a utilizar.

3.2.1. Toma de muestras de rendimiento de pintura

Para la toma de muestras del rendimiento de la pintura es importante precisar las unidades con las cuales se podrá hacer un cobro o entrega de producto terminado. Estos factores son área y espesor de película seca (EPS)

Para la obtención de las áreas se utiliza el área teórica de la pieza más un porcentaje de desperdicio, tomando en consideración el tamaño del elemento, el perfil de anclaje y la forma del elemento que se va a pintar.

Cada taller, fábrica y centro de pintura tiene su propio factor de desperdicio. Por tema práctico se toma el área teórica y se utiliza una fórmula para el cálculo del espesor, por el factor de desperdicio que se encuentra en el volumen de pintura que se deberá consumir.

3.2.2. Factores por considerar en el rendimiento práctico

Los factores más relevantes en los rendimientos prácticos son:

- El perfil de anclaje: las lecturas de la medición del espesor de película seca (EPS) se contabilizarán a partir de la cresta más alta del perfil de anclaje hasta donde termina la pintura. Por eso, a mayor perfil de anclaje mayor cantidad de pintura que no se contabiliza como EPS que se considera un desperdicio.
- El porcentaje de sólidos: en toda pintura, todo lo que no es un sólido se evapora. Por esta razón el EPS se incrementa en función del porcentaje de sólidos que tenga la pintura.

3.2.3. Determinación de factores de desperdicio para tanques

Los desperdicios derivados de cada tanque están en función de cada centro de trabajo. Los factores más relevantes que se debe tomar en cuenta son el operario, la rugosidad del sustrato, el método de aplicación. Estos, con otros factores, hacen que exista un porcentaje alto de desperdicio.

Para establecer un porcentaje de desperdicio basta con hacer una medición de algunas obras. Se toma el área contratada, el espesor al que se le indicó al personal que debían de pintar el tanque y el volumen de pintura utilizado. Con estos datos comparados con el rendimiento teórico tenemos el porcentaje de desperdicio.

3.2.4. Seguridad en su aplicación

El manejo de maquinaria y químicos en la aplicación de pinturas es muy importante. Por lo que el personal debe ser capacitado previo al uso tanto de la maquinaria como de las pinturas y solventes a utilizar en cada trabajo, para evitar accidentes potencialmente mortales

3.2.4.1. Aplicación con brocha o rodillo

La pintura puede estar ya diluida o, en caso contrario, la dilución correcta estará indicada en el contenedor.

La persona que aplique la pintura de vestir correctamente los equipos de protección dependiendo el tipo de pintura.

En caso de pinturas base agua, depositar la pintura en un contenedor grande y añadir la cantidad de agua necesaria (normalmente el 20 %). En caso de pinturas base aceite, diluya la cantidad necesaria para la aplicación en el momento. Consulte a los proveedores, ellos poseen información acerca rendimientos típicos de las pinturas por área pintada.

Mezclar cuidadosamente. La brocha se sumerge en la pintura y después se hace pasar por el borde para escurrir.

Para pintar, echar un poco de pintura en un contenedor más pequeño que es más fácil de manejar mientras que el grande va cerrado herméticamente.

3.2.4.2. Aplicación por aspersión con o sin aire

Dadas las características de la operación y el lugar de trabajo se debe estudiar la factibilidad técnico-económica para la instalación de un sistema de extracción localizado que permita la ventilación más eficiente de los vapores orgánicos del área de proceso.

Es recomendable también estudiar la posibilidad de retirar el área de aplicación de pintura a un lugar separado de instalaciones cercanas, para evitar que el personal no involucrado en las tareas de aplicación de pintura no se vea expuesto a los vapores de solventes y las neblinas que se pueden provocar durante la aplicación.

Existen equipos tan sofisticados como se requieran, como los utilizados en la pintura de vehículos, los cuales cuentan con flujo de agua, luces a prueba de explosiones, intercambiador de calor y filtros.

3.2.4.3. Manejo de pinturas industriales

Las pinturas y recubrimientos industriales tienen una cantidad importante de solventes, los cuales tienen como característica su volatilidad e inflamabilidad. Dentro de los solventes orgánicos más usados en esta industria están:

- Xileno
- Metanol
- Etanol
- Acetona
- Tolueno

Del abanico de casos que puede haber con el manejo de estos productos hay 2 a los que hay que ponerle mayor atención debido a que son más frecuentes.

- Intoxicación
- Inflamabilidad

Intoxicación: la pintura tiene un porcentaje considerable de solventes, los que pueden causar intoxicación por inhalación y por contacto, de forma accidental o voluntaria. Se debe prevenir cualquier tipo de intoxicación. Esto se logra capacitando al personal en el manejo de estos productos y dándoles el equipo adecuado para manipular las pinturas y para respirar en los focos de contaminación. Los filtros de las máscaras que le sirven al personal para respirar, deben ser adecuados para el solvente con que se trabaja.

Todos los solventes orgánicos son tóxicos, aunque su toxicidad varía según su composición, la vía más común de intoxicación es por inhalación. Es decir, son absorbidos por los pulmones y posteriormente se trasladan al sistema nervioso central debido a su alta solubilidad en las grasas del cuerpo.

La intoxicación por contacto se da cuando entra en contacto directo el operario y el producto. Existen malas prácticas tales como lavarse las manos con el mismo solvente. Algunos pueden penetrar la piel y causar intoxicación por contacto.

Inflamabilidad: en el momento que se aplica las pinturas se produce una niebla, la cual es inflamable y potencialmente explosiva. Se debe cuidar en todo momento que se aplique en lugares ventilados natural o artificialmente. Se

debe evitar cualquier peligro de chispa, cigarrillos, corto circuito que pueda iniciar el fuego o explosión.

3.2.4.4. Protección al personal operativo

Para ciertos riesgos profesionales, ni la prevención técnica ni las disposiciones administrativas pueden ofrecer un grado suficiente de protección. Por consiguiente, es necesario aplicar un tercer tipo de defensa, este es el equipo de protección personal. Este equipo está justificado en situaciones de emergencia, como un accidente grave, un escape o un incendio, o en circunstancias excepcionales como el trabajo en un lugar confinado. En los demás casos, el suministro y el mantenimiento de dicho equipo suele resultar costoso y es posible que algunos trabajadores se resistan a usarlo. Por lo tanto, es aconsejable que representantes de la dirección y de los trabajadores examinen antes conjuntamente este asunto y recaben la opinión del comité de salud y seguridad, si este existe. Cuando no hay ningún otro medio eficaz de protección, la empresa debe proporcionar una cantidad suficiente de equipo de protección personal adecuado, instruir a los trabajadores sobre su utilización correcta y velar por que se utilice efectivamente. La elección del equipo se debe efectuar con ayuda de especialistas, puesto que es necesario conocer tanto lo que atañe a su eficacia como a sus propiedades ergonómicas; es decir, su adaptación a las características físicas y funcionales del trabajador.

El equipo de protección personal es un conjunto de aparatos y accesorios fabricados para ser utilizados en las diferentes partes del cuerpo, las cuales pueden estar expuestas a riesgos. Estos equipos forman una barrera protectora entre el cuerpo y el peligro. Con el uso apropiado del equipo de protección personal se reduce el riesgo, mas no el peligro, debido a que este siempre está presente. Por lo tanto, el no usar el elemento o el equipo de protección

personal, así como el hecho de utilizar un equipo que no sea el adecuado, o utilizar el adecuado en forma inadecuada, incrementa mucho la probabilidad de sufrir una lesión.

Una de las formas de impedir accidentes es eliminar los riesgos; cuando esto no es posible, es necesario proteger al trabajador, proporcionándole elementos de protección personal. Teniendo en cuenta que estos son la última barrera entre el riesgo y el accidente, se debe prestar especial atención a las bondades, calidad y comodidad los mismos, y asegurarse del uso efectivo por parte del personal afectado. No se debe permitir que el trabajador prescinda del uso de estos elementos por mero capricho o negligencia, pero se tendrán en cuenta planteamientos efectuados por los usuarios con respecto a su eficacia y tolerancia. Debe quedar bien entendido que el equipo de protección personal, no elimina el riesgo existente, sino que es una barrera entre el agente agresor y el cuerpo o una parte de este.

4. DETERMINACIÓN DEL COSTO DE LA MANO DE OBRA

El costo que representa cada técnico en la aplicación de pintura es muy importante para el costo de la obra y es de especial interés su determinación.

4.1. Integración de costos

El tiempo de la mano de obra debe incluir la preparación de equipos, la preparación del sustrato en el cual se aplicará la pintura, la aplicación de pintura y finalmente la limpieza del equipo.

4.1.1. Costo de la pintura

A continuación, se presenta precios unitarios y precio estimado solicitados a los proveedores de pintura industrial, en el tiempo que se realiza el presente trabajo.

Tabla II. **Precio de la pintura en diferentes presentaciones**

Marca	Tipo de producto	Presentación	Precio unitario (Q)	Precio redondeado (Q)
Dupont	primario inorganico de zinc 347	1/4	123,90	123,90
		Galón	455,60	455,60
		Cubeta	1 890,74	1 890,74
Dupont	Epoximastic altos solidos dupont 25P	1/4	136,52	136,52
		Galón	506,08	506,08
		Cubeta	2 100,23	2 100,23
Corona	Anticorrosiva corona	1/4	49,75	49,75
		Galón	159,00	159,00
		Cubeta	659,85	659,85
Dupont	Esmalte de poliuretano imron 326 (10P)	1/4	175,77	175,77
		Galón	663,08	663,08
		Cubeta	2 751,78	2 751,78
Transocean	Transozinc	1/4	298,21	298,21
		Galón	1 152,85	1 152,85
		Cubeta	4 784,33	4 784,33
Transocean	Transoxy masterbond 4.68	1/4	173,10	173,10
		Galón	652,41	652,41
		Cubeta	2 707,50	2 707,50
Transocean	Transurethane finish 3.44	1/4	177,47	177,47
		Galón	669,88	669,88
		Cubeta	2 780,00	2 780,00
Sherwin Williams	Esmalte poliuretano kem enamel	1/4	137,71	137,71
		Galón	510,84	510,84
		Cubeta	2 119,99	2 119,99
Sherwin Williams	Zinc clad II ethyl silicate inorganic zinc-rich coating	1/4	212,25	212,25
		Galón	809,00	809,00
		Cubeta	3 357,35	3 357,35
Sherwin Williams	Macropoxy 646 fast cure epoxy	1/4	141,06	141,06
		Galón	524,25	524,25
		Cubeta	2 175,64	2 175,64
Sherwin Williams	Anticorrosivo cromato de zinc	1/4	67,50	67,50
		Galón	230,00	230,00
		Cubeta	954,50	954,50
Sherwin Williams	Direct to metal estructural 2000 linea E62	1/4	41,25	41,25
		Galón	125,00	125,00
		Cubeta	518,75	518,75
Sherwin Williams	Kem anticorrosivo industrial linea E63	1/4	45,00	45,00
		Galón	140,00	140,00
		Cubeta	581,00	581,00

Fuente: cotizaciones solicitadas a los proveedores vía telefónica 2017.

- Tiempo de aplicación por metro cuadrado

Para la estimación del tiempo de la aplicación de pintura por metro cuadrado se tomó el tiempo de más de 50 proyectos de tanques en donde se ha integrado un tiempo por cada uno de los pasos que se debe realizar para obtener el objetivo, que es un metro cuadrado pintado.

Tabla III. **Tiempo de aplicación en horas hombre**

Tiempo de preparación de equipo para limpieza del sustrato	Tipo de limpieza del sustrato	Tiempo de limpieza del sustrato X m ² (horas)	Tiempo de preparación de equipo de pintura, y mezcla de componente (horas)	Tiempo de aplicación de pintura a 2 mils de película húmeda y un 30% se sólidos	Tiempo de limpieza de equipo de aplicación.	Sumatoria de tiempo total
0.5 HH	SP-2	0,33	0,5	0,050	1	2,383 HH/m ²
1 HH	SP-6	0,25	0,5	0,067	1	2,817 HH/m ²
1 HH	SP-10	0,50	0,5	0,833	1	3,833 HH/m ²
1 HH	SP-5	0,70	0,5	0,833	1	4,033 HH/m ²

Fuente: Demesa.

4.1.2. Costo de mano de obra

El costo de la mano de obra es la cantidad de recursos que la empresa debe destinar para pagar al obrero por una labor específica. En este caso, se busca determinar el costo de la mano de obra por metro cuadrado.

Para esto es esencial cuantificar cuantas horas hombre se utilizan para pintar un metro cuadrado de pintura. Con este costo la empresa puede sumar factores y finalmente poner un precio al trabajo realizado, que incluya una ganancia o utilidad.

Para determinar la cantidad de dinero que se pagará a cada empleado hay varias modalidades. Las comunes en nuestro medio son a destajo y por mes; cada una tiene una serie de cualidades y desventajas que se abordarán más adelante.

Para determinar el costo de la hora hombre se debe tener en cuenta que hay días festivos contemplados en la ley, prestaciones, descansos semanales, que deben estar incluidos en el factor de hora hombre.

El Código de Trabajo, en su artículo 126, establece un día de descanso remunerado después de cada semana de trabajo. En el artículo 127 se establece que los días de asueto son 1 de enero; el jueves, viernes, sábado Santos; el 1 de mayo, el 30 de junio, 15 de septiembre, el 20 de octubre, el 1 de noviembre, el 24 de diciembre medio día, 25 de diciembre, el 31 de diciembre medio día y el día de la festividad local.

Lo anterior se puede resumir de la siguiente manera:

- Días de asueto en el año; 12, equivalente a 1 día promedio por mes.
- Un mes promedio tiene 30 días lo cual equivale a $30/7 = 4,2857$ semanas.
- Los días sábados se trabaja medio día y el domingo se descansa, por lo tanto $4,2857 * 1,5 = 6,4285$ días no laborados y pagados más 1 día de asueto en promedio hace un total de 7,4285 días no laborados pero pagados en el mes, esto se traduce en $7,4285/30 = 0,24762$
- Aguinaldo: $1/12$ del salario promedio
- Bono 14: $1/12$ del salario promedio
- Liquidación: $1/12$ del salario promedio
- Vacaciones anuales: $1/24$ del salario promedio

Aguinaldo, bono 14, liquidación y vacaciones suman 7/24 del salario en prestaciones= 0,291667

Asuetos y descansos de ley	=0,24762
Prestaciones de ley	=0,29167
Igss patronal	=0,1067
Itra	=0,01
Intecap	=0,01
Salario	=1
Total=	<u>1,6659867</u>

A esto se le debe agregar el bono de ley Q 250,00

Así, si una persona gana Q 3 000,00 al mes, a la empresa le costaría $Q\ 3\ 000,00 \times 1,6659867 + Q\ 250,00 = Q\ 5\ 247,96$, si se toma en cuenta que en el mes se trabajan 4,2857 semanas de 44 horas.

El empleado tuvo un costo para la empresa de $Q\ 5\ 247,96 / 188.57\ \text{horas} = Q\ 27,83$ por hora

4.1.2.1. Costo de mano de obra de operador a destajo

El código de trabajo establece que se puede contratar mano de obra a “destajo” o por unidad de producción.

- Diferencias entre sistemas de contratación

Entre las principales ventajas del sistema a destajo esta la velocidad de producción ya que es el mismo empleado al que le interesa una mayor producción.

La principal desventaja que presenta este sistema es que se deben establecer criterios de calidad y aceptabilidad del producto terminado.

- Costo de mano de obra de operador asalariado

Es el salario que se paga con base en el tiempo trabajado, y puede ser por hora o por día.

En este sistema se nulifica la iniciativa del trabajador, dado que no lo estimula, pues el salario que se le paga es el mismo, sin importar el rendimiento que tenga en la producción. No puede precisarse el costo de la mano de obra de la unidad productiva, ya que los costos obtenidos resultan diferentes de un obrero a otro.

- Ventajas y desventajas

La principal ventaja del sistema de pago por planillas es que puede llegar a ser el sistema más rentable para la empresa al tener un bajo costo de mano de obra

Otra ventaja de este sistema es que en el momento de la terminación laboral si todo se ha trabajado en orden y bien documentado ampara a ambas partes en el momento de las disputas legales.

La principal desventaja es que se debe implementar muchos controles y contratar personal adicional para que apresuren la labor de los empleados. Este sistema necesita mucha supervisión y esto también encarece el proceso.

4.2. Factores por considerar en costo de la aplicación

Cada fábrica, taller o lugar de trabajo tiene condiciones distintas de trabajo, por lo cual los factores a considerar son variables y se deben tomar en cuenta para cada caso. Esto dependerá de varios factores como el operario, procedimientos, equipos, tipos de abrasivos, entre otros.

4.2.1. Factores humanos

El factor más difícil de proyectar es el factor humano lo cual hace muy difícil hacer una proyección de este factor. Depende mucho de la forma en que esté capacitado el personal, lo cuidadoso y meticulouso que es cada operario en su trabajo.

Los espesores de película, son muy delgados para que el operario pueda medirlo, por lo cual la aplicación (velocidad de la aplicación y la boquilla por utilizar) dependerá de la experiencia.

Un error en la velocidad de aplicación hará que en vez de aplicar 2 mils aplique 4 mils de película lo que se traduce en un incremento del costo de pintura del cien por ciento.

4.2.2. Desperdicios por obrero

Los desperdicios son el factor más costoso que no se traduce en un beneficio al producto final. Gran parte del desperdicio es causado por la pintura que no llega al sustrato de aplicación; por consiguiente, la calidad de la mano de obra, la presión de los equipos, la distancia desde la boquilla hasta el sustrato y el viento, son factores cruciales para evitar el desperdicio.

Además, se debe considerar que una parte del producto se queda adherida dentro de los equipos de aplicación y dentro de las mangueras. También el cálculo que tenga el operador para saber cuánta pintura deberá colocar en el equipo para cubrir la totalidad del trabajo.

4.2.2.1. Costos por mal manejo del material y pintura

Los costos por el inadecuado manejo del material y de la pintura pueden ser muy elevados.

Respecto a las pinturas, únicamente se debe preparar la pintura que se aplicará en el momento, no para el día ya que las pinturas de componentes binarios tienen una vida útil promedio de 2 horas.

No es aconsejable la práctica de aplicar solventes para utilizar los recubrimientos en otro momento. En el caso de las pinturas catalizadas y los epóxicos, una vez se han mezclado los componentes ya no se puede dar marcha atrás, y el producto debe aplicarse o desecharse después de la ventana de aplicación.

4.2.2.2. Factores de maquinaria y equipo

Se mencionan posibles factores que se debe considerar por el desperdicio de pintura adheridos a estos y el inadecuado uso del equipo.

4.2.2.3. Desperdicios por equipo

Acerca de los equipos, debemos tomar en consideración que en las paredes de los equipos y mangueras se queda un porcentaje del recubrimiento que se está aplicando; de esta cuenta, en la medida que pintemos tramos más grandes de pintura se tendrá menos desperdicios. Adicional a esto, es muy importante tomar en cuenta que la limpieza del equipo tiene un valor económico, no solo en los solventes que servirán para limpiarlo sino el costo hora-hombre para la limpieza del equipo.

4.2.2.4. Costos de mal manejo del equipo

Cuando se aplican pinturas binarias, estas empiezan a curar desde el momento que se mezcla; si no se tiene cuidado y se deja la pintura en el equipo por unos minutos bajo el sol, se pueden arruinar las mangueras y en el peor de los casos, el equipo. Tomando en consideración que un buen equipo *airless* cuesta por lo menos unos US\$ 3 000,00 nos podemos dar una perspectiva de los daños económicos.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con los datos obtenidos se hace la comparación para la posterior interpretación de resultados.

5.1. Análisis estadístico de los rendimientos

Se realiza la tabulación de datos, cálculos estadísticos y de comparación para dos pares de tanques en los cuales se aplicó pintura epóxica y alquídica.

Como lo indica la tabla V, los tanques Xan 1 y Xan 2 corresponden a la pintura epóxica, y los tanques Multiquímica y La Francia, a la pintura alquídica.

5.1.1. Tabulación de datos

Se tomaron datos de diferentes proyectos para establecer el gasto de pintura en cada tanque.

Tabla IV. **Análisis estadístico del espesor de la pintura en distintos tanques API 650**

	Aplicación	Producto (pintura)	Gasto (galones)	Área (M2)	No. de mediciones	Media (mils)	Desviación estándar (mils)	Mínimo (mils)	Máximo (mils)
Tanque 1 Xan	Interna	Bar rust 233 H	288	1273.12	102	12.38	1.35	10.1	15.3
	Externa	Époxico Catacoat, Poliuretano o Devthane	50 y 48	1033.69	54	5.4	1.22	3.8	11.3
Tanque 2 Xan	Interna	bar rust 233 H	140	503.21	102	12.65	1.27	10.2	15.2
	Externa	Époxico Catacoat, Poliuretano o Devthane	26 y 22	621.26	54	5.34	0.68	3.9	7
Multiquímica La Francia	Externa	Ultra Rápido II	18	138.65	60	4.08	1.13	2	7.7
	Externa	Ultra Rápido II	48	333.45	100	3.9	1.57	1.5	7.6

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Comparación por costo y rendimiento de pintura epóxica y alquídica

Muestra	Tipo de Pintura		Nombre del producto	Rendimiento (m ² /L)	Espesor Teórico (mils)	Sólidos en volumen (%)	Espesor recomendado			Medida de Espesor Promedio (mils)		Galones utilizados	
	Epóxica	Alquídica					Seco (mils)	Húmedo (mils)	Interno	Externo	Interno	Externo	
Tanque XAN 1	X		Epóxico Catacoat (externo)	9,9	3	75	2,5-3,5	3,4-4,8		5,4		50	
			Poliuretano Devthane E389 (Externa)	8,9	2,5	56	2-3	3,6-5,4		5,4		48	
Tanque XAN 2	X		Bar Rust 233 H (interna)	6,4	5	68	4-6	5-7,5	12,38			288	
			Epóxico Catacoat (externo)	9,9	3	75	2,5-3,5	3,4-4,8		5,34		26	
Multifuébrica La Francia	X		Poliuretano Devthane E389 (Externa)	8,9	2,5	56	2-3	3,6-5,4		5,34		22	
			Bar Rust 233 H (interna)	6,4	5	68	4-6	5-7,5	12,65			140	
	X		Ultra Rápido II (externo)	14-18	1	38	2	5		4,08		18	
	X		Ultra Rápido II (externo)	14-18	1	38	2	5		3,9		48	

Área cubierta con rendimiento teórico (m ²)	Área cubierta por rendimiento práctico (m ²)	Área cubierta por aspersión (m ²)	Redimiento práctico al espesor promedio (m ² /L)	Porcentaje de desperdicio %	Costo Teórico por Galón		Costo Teórico Total		Perdidas por desperdicio	
					Q	\$	Q	\$	Q	\$
1871,1	785,86	1033,69	4,16	58,00	1175,32	151,85	58765,95	7592,50	34084,25	4403,65
1614,816	678,22	1033,69	3,74	58,00	815,02	105,30	39121,06	5054,40	22690,21	2931,552
6967,296	3413,98	1273,12	3,14	58,00	589,48	76,16	169769,78	21934,08	98466,47	12721,77
972,972	408,65	621,26	4,16	58,00	1175,32	151,85	30558,29	3948,10	17723,81	2289,898
740,124	310,85	621,26	3,74	58,00	815,02	105,30	17930,48	2316,60	10399,68	1343,628
3386,88	1422,49	503,21	2,69	58,00	589,48	76,16	82526,98	10662,40	47865,65	6184,192
952,56	1224,72	400,08	5,88	58,00	286,07	36,96	5149,27	665,28	2986,575	385,8624
2540,16	3265,92	1066,87	5,88	58,00	286,07	36,96	13731,38	1774,08	7964,2	1028,966

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Costo total de pintura de los tanques**

Muestra	Pintura	Área cubierta por aspersión (m2)	Costo	
			Q	\$
Tanque XAN 1	Epóxica y Poliuretano Devthane (exterior e interior)	1745,73	131 015,80	16 927,10
Tanque XAN 2		3340,5	267 656,80	34 580,98
Multiquímica	Ultra Rápido II (Externa)	138,65	5 149,27	665,28
La Francia		333,45	13 731,38	1 774,08

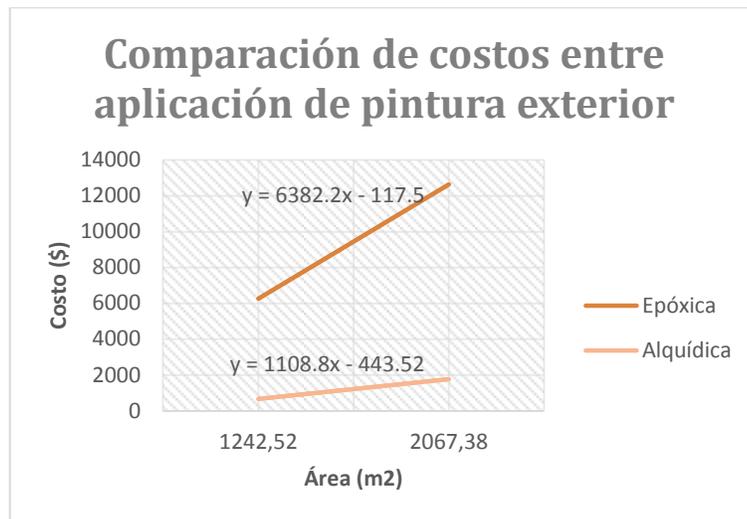
Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Costo de pintura en los tanques, solo exterior**

Muestra	Pintura	Área cubierta por aspersión (m2)	Costo	
			Q	\$
Tanque XAN 1	Epóxica	1242,52	48 488,78	6 264,70
Tanque XAN 2		2067,38	97 887,01	12 646,90
Multiquímica	Ultra Rápido II (alquídica)	138,65	5 149,27	665,28
La Francia		333,45	13 731,38	1 774,08

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Comparación de costos entre aplicación de pintura epóxica y alquídica**



Fuente: elaboración propia.

5.1.2. Análisis de resultados

Como se observa en las anteriores tablas, se obtuvo el costo total por la pintura en los tanques. En la tabla VII, en conjunto con la gráfica 1, es posible observar que la pendiente en los tanques pintados con pintura epóxica es mayor que en la pintura alquídica.

Lo anterior se traduce a un mayor costo al utilizar pintura epóxica, debido a que además necesita otra cubierta para su mejor acabado. Así mismo, según el análisis de los resultados anteriormente expuestos, los costos incrementan al aplicar este tipo de pintura a los tanques que requieren recubrimiento interno, que necesitan de otro tipo de pintura.

En contraste, a pesar de los altos costos de la pintura epóxica, esta es útil para ambientes agresivos. Además es resistente al agua y a derrames químicos; en cambio, la pintura alquídica posee el inconveniente de ser sensible a algunos disolventes y no posee tanta resistencia al exterior como la pintura epóxica.

Por lo tanto, es indudable que el gusto personal del cliente incide en la selección de un material. Hay algunos que son más adeptos a los alquídicos; a otros les gustan los epóxicos y otros prefieren los poliuretanos o caucho clorado. Por tal motivo las fichas técnicas, a través de la formulación de una pintura, permiten posible determinar y calcular diversos parámetros que nos permiten conocer varias características.

Antes de aplicar cualquier pintura, todas las superficies a pintarse deben estar cuidadosamente limpias y preparadas conforme a los requerimientos especificados. Debe eliminarse todo polvo, mugre, grasa, humedad, humo y otros contaminantes. Superficies pintadas previamente deben limpiarse en forma similar para eliminar toda materia extraña y pintura que se haya deteriorado.

La rugosidad de la superficie de metal tiene un efecto significativo en el comportamiento de las pinturas. Si es muy lisa, hay dificultad en la obtención de un anclaje mecánico adecuado, por otra parte, si es muy áspera debido a las irregularidades, no se logra un espesor de capa parejo.

Por el aire atrapado en la rugosidad superficial en el perfil de arenado, la misma evaporación de los solventes cuya velocidad es dependiente de la temperatura, el viento y otros aspectos que inciden, crea un alto riesgo de que la película de pintura quede con poros pasados, que son futuros puntos de

corrosión. En consecuencia, no debería nunca aplicarse una sola mano de pintura sino al menos dos para que las porosidades se trasladen y el riesgo de poros pasados sea mínimo.

5.1.1. Comparación de rendimientos teóricos-prácticos

Con los datos obtenidos en el análisis estadístico del espesores de pintura de distintos tanques y los datos teóricos se hace la comparación del gasto de pintura.

Tabla VIII. Comparación de rendimientos

Muestra	Rendimiento Teórico (m ² /L)	Espesor Rendimiento Teórico (mils)	Sólidos en volumen (%)	Área cubierta con rendimiento teórico (m ²)	Área cubierta por rendimiento práctico (m ²)	Área cubierta por aspersion (m ²)	Rendimiento o práctico al espesor promedio (m ² /L)	Porcentaje de desperdicio %
Tanque XAN 1	9,9	3	75	1 871,1	785,9	1 033,7	4,16	58
	8,9	2,5	56	1 614,8	678,2	1 033,7	3,74	58
	6,4	5	68	6 967,3	3 414,0	1 273,1	3,14	58
Tanque XAN 2	9,9	3	75	973,0	408,6	621,3	4,16	58
	8,9	2,5	56	740,1	310,9	621,3	3,74	58
	6,4	5	68	3 386,9	1 422,5	503,2	2,69	58
Multiquímica	14	1	38	952,6	400,1	138,7	5,88	58
	14	1	38	2 540,2	1 066,9	333,5	5,88	58

Fuente: elaboración propia.

Los rendimientos de cada pintura tienen diferencia en la técnica de pintura utilizada, en este caso por aspersión, por las pérdidas durante la aplicación. Para esta muestra hubo un 58 % de desperdicio de pintura durante la aplicación lo cual indica que más de la mitad de pintura se pierde en ese momento. Cada fábrica tiene su propio porcentaje de desperdicio; según las entrevistas con los fabricantes de pinturas van desde un 35 % hasta un 65 %, dependiendo del recubrimiento aplicado, aplicador, equipo y otros factores.

Cada rendimiento teórico está asociado a un espesor específico determinado por el fabricante en una ficha técnica. Esta ficha contiene las recomendaciones para manipular el producto y obtener los resultados esperados. Para el rendimiento práctico se toma en cuenta la superficie que se va pintar, el contenido de material volátil, el porcentaje de sólidos y los factores externos que determinan los desperdicios que al final del trabajo representan un costo extra.

5.2. Recomendaciones para el costeo

Antes de aplicar cualquier pintura, todas las superficies a pintarse deben estar cuidadosamente limpias y preparadas conforme a los requerimientos especificados. Debe eliminarse todo polvo, mugre, grasa, humedad, humo y todos otros contaminantes. Superficies pintadas previamente deben limpiarse en forma similar para eliminar toda materia extraña y pintura que se haya deteriorado.

Para hacer un buen trabajo es necesario aplicar cada capa a un espesor de película húmeda recomendado por el fabricante. Se recomienda practicar en un sector determinado con el propósito de afinar la mano. Se debe controlar el espesor de película húmeda, a medida que el trabajo avanza, utilizando para

ello un instrumento adecuado. Cuando cada capa seca, verificar el espesor especificado. Este requerimiento es extremadamente importante para el sistema completo.

5.2.1. Fórmulas para realizar el costo

Antes de comenzar cualquier proyecto de pintura es necesario calcular la cantidad de pintura a emplear. Para esto, también es importante considerar el tipo y el estado de las superficies a pintar, pues esto influye en la cantidad.

Superficies porosas o irregulares requieren más cantidad de pintura, ya que absorben más de lo normal. Si el área ya está pintada, requerirá menos.

Para calcular, se multiplica el ancho de la superficie por su alto. El siguiente ejemplo ilustra cómo hacerlo:

Si se tiene un tanque con 5 metros de radio por 2 metros de alto, se multiplica y se tiene una superficie de 157 m².

Luego se calcula los litros necesarios para recubrir dicha superficie:

Se debe considerar el método de aplicación que se va a utilizar, ya que en función del que elijamos, los rendimientos de la pintura, los espesores (en seco y en húmedo) y los números de manos varían.

Para calcular los litros necesitamos los siguientes datos:

- Metros cuadrados de obra viva por recubrir.
- Rendimiento práctico de la pintura elegida (ficha técnica del producto).
- Método de aplicación.
- Espesores de película seca.

- Número de capas.

Figura 13. **Fórmula rendimiento práctico**

$$\text{Rendimiento Práctico} = \text{Rendimiento Teórico} \times fr \times fa$$

Fuente: QUÍMICAS THÁI. *Rendimiento práctico de las pinturas* [en línea]
<https://quimicathai.wordpress.com/2011/09/26/>. [consulta: marzo 2018]

5.2.2. Factores de desperdicio

Los consumos de pintura son siempre inferiores en la práctica debido a:

- Que las superficies no son perfectamente lisas
- Que haya derrames y goteos durante la aplicación
- Los restos de pintura que puedan quedar en los envases, mangueras, entre otros.
- Los espesores de película no uniforme, sobre todo alrededor de tuercas, remaches, cantos vivos, perfiles pequeños.
- Los tipos de superficies con difícil acceso o con dificultades de aplicación.
- Las condiciones atmosféricas durante el pintado. Las aplicaciones al exterior son las que están más influenciadas por las temperaturas extremas de frío o calor
- Los sistemas de aplicación. La brocha y el rodillo son los que comportan menos pérdidas la de pistola. El viento influye en el pintado a pistola *airless*.

Tabla IX. Factores de desperdicio

Tipos de Superficie	Factor de Rugosidad (fr)	
	Primeras capas	Capas intermedias y de acabado
Acero liso	0.95	0.98
Acero nuevo chorreado	0.80	0.95
Acero preparado con limpieza mecánico/manual o chorreado ligeramente picado	0.70	0.85
Acero chorreado altamente picado	0.60	0.75
Rugosidad del hormigón y superficies de albañilería	0.60	0.75
Shop-Primers a espesores muy bajos	0.55	-

Sistemas de Aplicación	Factor de Aplicación (fa)
Brocha y rodillo	0.8 – 0.7
Pistola de interiores sin viento	0.7 – 0.6
Pistola en exteriores con viento	0.6 – 0.5

Fuente: QUÍMICAS THÁI. *Rendimiento práctico de las pinturas*. [en línea] <https://quimicasthai.wordpress.com/2011/09/26/>. [Consulta: marzo 2018].

6. GUÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE PINTURAS Y RECUBRIMIENTOS PARA TANQUES BAJO LA NORMA API 650

6.1. Métodos empleados

El método más adecuado en nuestro medio consiste en determinar el área del tanque por pintar; después se analiza con la fórmula del rendimiento práctico la cantidad de pintura necesaria. Se toma un factor de desperdicio “X” el cual deberá ser analizado para cada área. Se estima el costo de la mano de obra y la utilidad de la empresa, y se le asigna un porcentaje al personal administrativo.

6.2. Determinación del área del tanque

Para el diseño y cálculo de tanques de almacenamiento, el usuario deberá proporcionar los datos y la información necesaria para llevar a cabo el proyecto.

La información mínima requerida (condiciones de operación y de diseño) es: volumen, temperatura, peso específico del líquido, corrosión permisible, velocidad del viento, coeficientes sísmicos de la zona, entre otros. Dado que es él quien conoce con exactitud las características tanto del fluido que desea almacenar y el lugar donde se ha de instalar dicho tanque, el fabricante no deberá suponer estas condiciones y, si así fuera, tiene la obligación de informar al usuario. Él tiene la responsabilidad de autorizar o no las condiciones expuestas por la compañía constructora.

El usuario también establecerá la magnitud y dirección de las cargas externas que pudieran ocasionar deformaciones en el tanque, con el fin de diseñar los elementos involucrados.

El diseño del fondo de los tanques de almacenamiento depende de las siguientes consideraciones:

Los cimientos usados para soportar el tanque, el método que se utilizará para desalojar el producto almacenado, el grado de sedimentación de sólidos en suspensión, la corrosión del fondo y el tamaño del tanque. Esto nos conduce al uso de un fondo plano, donde la resistencia permisible del suelo deberá ser por lo menos de 1 465 Kg / cm² (3 000 lb / pie²).

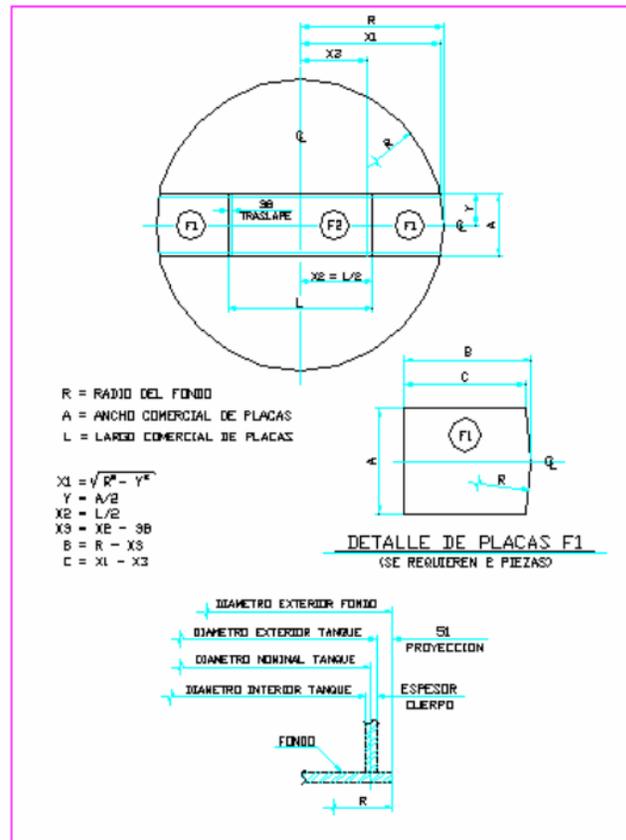
Los fondos de tanques de almacenamiento cilíndricos verticales son generalmente fabricados de placas de acero con un espesor menor al usado en el cuerpo. Esto es posible para el fondo, porque se encuentra sostenido por una base de concreto, arena o asfalto, que soportarán el peso de la columna del producto; además, la función del fondo es lograr la hermeticidad para que el producto no se filtre por la base. El fondo del tanque únicamente funciona como una membrana que traslada la carga al suelo o cimiento.

Teóricamente, una placa delgada de metal calibre 16. (1.52mm) o menor es capaz de soportar la flexión y la carga de compresión que se genera en la periferia del fondo por el peso del cuerpo que descansa sobre esta sección. Sin embargo la norma API 650 edición 12, restringe a un espesor mínimo nominal de 6.mm. (0,236 pulg.)[49,8 Kg/m² (9,6lb/ft²)], excluyendo cualquier corrosión permisible especificada por el usuario, como lo explica la norma en el apartado 5.4.

El fondo tendrá que ser de un diámetro mayor que el diámetro exterior del tanque, por lo menos, 50 mm (2 pulg) más en el ancho del perímetro externo. Las placas con las que se habilite el fondo deberán tener preferentemente un ancho de 1,829 mm (72 pulg) con una longitud comercial que el fabricante obtenga en el mercado, la cual pueda manejar en su taller o en campo sin problemas.

Será conveniente utilizar las placas más largas disponibles en el mercado para construir el fondo, ya que resultan ser las más económicas, cuyas dimensiones son: 1 829 mm o 2 438 mm (6 u 8 pies) de ancho por 6,096 mm o 12,192 mm (20 o 40 pies) de largo. Si las placas del fondo descansan simétricamente en relación con las líneas de centros del tanque, el número de placas empleadas en la fabricación del fondo se reduce al mínimo. Esto es una gran ventaja, porque las placas pueden estar a escuadrada y cortadas en grupos de 4 placas; en cambio, si están simétricas a un solo eje, solo dos placas serán a escuadrada y cortadas al mismo tiempo. Un fondo asimétrico a lo largo de ambas líneas de centros, ocasiona mayor número de placas de diferentes tamaños formando el fondo. El tamaño de las placas y la localización de los cortes de las mismas se determinan mediante el siguiente procedimiento:

Figura 14. Tamaño de placas y localización de cortes



Fuente: INGLESA *Diseño y cálculo de tanques de almacenamiento* p.55

Fórmula para dimensionar las placas

$$C = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - A^2}$$

$$C = C' + E - B$$

Donde:

D = Diámetro exterior del fondo (cm.).

A = Distancia perpendicular desde la línea de centros hasta el punto a localizar (cm).

B = Distancia paralela a la línea de centros hasta el paño de la placa (cm).

C = Dimensión del paño de la placa a cortar al punto de trazo (cm).

E = Traslape entre placas (cm) (si aplica).

Una vez marcados los puntos en la placa se trazará el arco de circunferencia sobre estos con el radio exterior del fondo, sobre el cual tendrá que cortarse la placa.

El espesor de la pared del cuerpo requerido para resistir la carga hidrostática será mayor que el calculado por condiciones de diseño o por condiciones de prueba hidrostática, pero en ningún caso será menor a lo que se muestra en la tabla X.

Tabla X. **Espesor de pared mínimo**

diametro nominal del tanque		Espesor minimo de la pared	
(m)	(pies)	(mm)	(pulg.)
< 15	<50	5	3/16
15 A <36	50 a <120	6	1/4
36 a 60	120 a 200	8	5/16
> 60	>200	10	3/8

Fuente: API 650 edición 13° sección 5.6.1.1

El espesor de la pared por condición de diseño se calcula con base en el nivel del líquido, tomando la densidad relativa del fluido establecido por el usuario.

El espesor por condiciones de prueba hidrostática se obtiene considerando el mismo nivel de diseño, pero ahora utilizando la densidad relativa del agua.

Cuando sea posible, el tanque podrá ser llenado con agua para la prueba hidrostática. Esta deberá llevarse a cabo tanto para verificar la hermeticidad del tanque como la integridad de las soldaduras, de la misma manera se le aplica carga de manera controlada a la cimentación.

El esfuerzo calculado de la carga hidrostática para cada anillo no deberá ser mayor que el permitido por el material y su espesor no será menor que el de los anillos subsecuentes.

Como se mencionó, los tanques de almacenamiento pueden clasificarse por el tipo de cubierta en: de techos fijos, de techos flotantes y sin techo. Dentro de los techos fijos hay tres tipos: cónicos, de domo y de sombrilla, los cuales pueden ser autoportados o soportados por estructura (para el caso de techos cónicos de tanques de gran diámetro).

El techo cónico es una cubierta con la forma y superficie de un cono recto. El tipo domo es un casquete esférico, y el de tipo sombrilla, un polígono regular curvado por el eje vertical. Los techos autoportados, ya sean tipo cónico, domo, o sombrilla, tienen la característica de estar apoyados únicamente en su periferia, calculados y diseñados para que su forma geométrica, en combinación con el espesor mínimo requerido, absorban la carga generada por su propio peso más las cargas vivas, a diferencia de los techos soportados que contarán con una estructura que admita dichas cargas.

Independientemente de la forma o el método de soporte, los techos son diseñados para soportar una carga viva de por lo menos, 1,76 Kg / cm² (25 lb / pie²), más la carga muerta ocasionada por el mismo. Las placas del techo tendrán un espesor mínimo nominal de 5 mm. (3/16 pulg).

Un espesor mayor puede ser requerido para el caso de techos autosoportados; la corrosión permisible puede ser incluida al espesor calculado a menos que el usuario especifique su exclusión, lo que es válido también para los techos soportados.

Todos los miembros estructurales internos y externos de techos soportados tendrán un espesor mínimo nominal de 4,76 mm (3/16 pulg.) en cualquier componente de estos. La inclusión de la corrosión permisible será acordada entre el usuario y el fabricante.

Las placas del techo se sujetarán al ángulo superior del tanque (anillo de coronamiento), con un cordón de soldadura continuo solo por la parte superior, aunque este sea soportado.

El diseño del techo y de sus accesorios deberá permitir al primero llegar al límite superior del nivel del líquido y bajar hasta el nivel inferior del líquido sin dañar el cuerpo del tanque, la tapa o cualquier otro accesorio. El techo debe operar con manejo manual, utilizando el borde del faldón y la pared del cuerpo del tanque para soportar los empaques del techo en el punto más alto del nivel.

Debe proveerse a tanque de dispositivos de alarma que indique al personal que se ha sobrepasado el nivel superior de llenado de líquido, a menos que el tanque esté diseñado para contener una altura de columna de fluido igual al límite superior del tanque. El usuario debe indicar un arreglo

apropiado a sus necesidades con el fin de proveer salidas de emergencia del líquido para evitar daños en el tanque.

6.3. Aplicación de factores de desperdicio

Los porcentajes de desperdicios se aplican a los materiales y mezclas de pintura elaboradas en las distintas etapas del trabajo de recubrimiento de tanques. Los valores de estos porcentajes varían de acuerdo al tipo de material, mano de obra calificada y equipo de instalación. Por lo que son considerados como una norma, ya que cada empresa y proveedor maneja sus propios porcentajes. Sin embargo, el éxito de un adecuado sistema de protección de la superficie descansa en la correcta implementación de algunos principios que revisten gran importancia. Es necesario enfatizar que en la selección del mejor sistema de pintado cobra gran importancia la calidad del producto que se usara, así como también es indispensable la adecuada supervisión durante la preparación de la superficie y la aplicación de las pinturas.

Una correcta preparación de la superficie es un requisito indispensable en un buen trabajo de mantenimiento con pinturas industriales. Esto puede apreciarse mejor desde el punto de vista, la estabilidad del sustrato y la adhesión de la pintura al mismo.

Para las muestras tomadas se obtuvo un desperdicio de 58 %, lo cual demuestra que el tipo de equipo para hacer el mantenimiento de los tanques no es el adecuado, y que la mano de obra tiene deficiencias al momento de realizar el trabajo.

6.4. Costo de la pintura

Los costos, tal como se detalló en la tabla II en el capítulo 4, son variados y dependen del tipo de pintura que se comprará y de la forma de negociación con las diferentes casas distribuidoras. Como referencia se puede considerar dichos precios pero es importante en el momento de hacer la integración de costos actualizar la referencia de precio con el tipo de pintura y la marca a ofrecer.

6.5. Costo de la mano de obra

En el numeral 4.1.2 del presente trabajo se establece la forma de calcular los factores para el cálculo de la mano de obra para estos procesos.

6.6. Presentación cotización u oferta

Para redactar un presupuesto hay que saber exactamente en qué consistirá el trabajo que se va a realizar. Si la tarea principal incluye varias subtareas, éstas deberán estar definidas claramente, a modo de evitar errores entre quien hace el trabajo y el cliente. El presupuesto debe incluir una clara descripción del trabajo que se realizará.

Por ejemplo, si es un trabajo de pintura para el mantenimiento de un tanque de almacenamiento, debería indicarse el tiempo total del trabajo, el espesor de película seca (EPS) de pintura estimada y las condiciones en que el trabajo se realizará.

Es muy importante ser específico con los detalles que hacen a las tareas y evitar cualquier reclamo o duda ante quien demanda el trabajo y, en definitiva,

paga por ello. Los sobre costos también son un punto necesario. Siguiendo con el ejemplo de la pintura, la persona que va a redactar un presupuesto incluirá los gastos de materiales que no son parte de lo brindado por el pintor. Muchas veces existen costos que corren por cuenta del cliente, pero necesariamente deben aclararse previamente.

En caso de que haya varios sub-rubros, deberá hacerse un desglose que indique el monto de cada uno y el monto final del presupuesto. La minuciosidad al redactar un presupuesto es un valor que aporta seriedad y claridad a quien ofrece un servicio. Por último, al redactar un presupuesto, deben considerarse los datos fundamentales del trabajo en cuestión. La fecha y el lugar, que den cuenta del tiempo de validez de las tareas y su costo, así como el nombre a quien va dirigida la cotización, establecen el marco referencial del posterior servicio. Asimismo, muchos profesionales suelen firmar el presupuesto como una forma de asegurar la validez de lo dicho anteriormente. Para casos más formales se utilizan hojas membretadas que aportan otro valor de solidez y seriedad, así como un detalle de elegancia al documento entregado.

CONCLUSIONES

1. Los métodos de preparación de superficies están normados por la SSPC-SP y NACE. La preparación de la superficie debe llevarse, de acuerdo con el fabricante del recubrimiento, a criterio consensuado con el usuario final.
2. Los procedimientos para la aplicación de pinturas y recubrimientos deberán contar con la preparación de las superficies según el requerimiento del fabricante. Como mínimo, preparación de superficie SP-2. Para la aplicación de la pintura se debe considerar, el normativo del fabricante. En la mayor parte de los casos se recomienda la aplicación con equipos *airless*, los cuales tienen ventajas en rendimiento de la mano de obra y calidad en el producto terminado. Además, se debe cuidar el curado de la pintura y la puesta en funcionamiento según la hoja técnica de cada recubrimiento.
3. Las cantidades de pintura se debe cuantificar partiendo de la fórmula teórica y del el factor de desperdicio que tienen en cada fábrica, con el fin de ser precisos tanto con los costos como con el precio cobrado al cliente final.
4. Los costos de la mano de obra están vinculados al código de trabajo de Guatemala, por lo que se deberá de tomar en consideración las prestaciones laborales de los empleados.

5. Luego de realizar la cuantificación y análisis comparativo de costos entre los dos sistemas, se identificó que la aplicación de pintura epóxica tiene un costo más elevado que la aplicación de pinturas alquídicas, como se pudo apreciar en la gráfica 1 (p.84.) El costo de la aplicación de acabados epóxicos es aproximadamente el doble que la aplicación de acabados alquídicos. Con esto no se debe dejar de lado que los recubrimientos epóxicos presentan un mejor desempeño como como protección de tipo barrera y su resistencia al ataque electroquímico es significativamente mejor.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio sobre una mejor forma de aplicación de las pinturas, debido a que los desperdicios obtenidos se encontraban alrededor del 58 %.
2. Actualizar los precios sobre las pinturas investigadas; los que se encuentran en este trabajo de investigación están sujetos a cambios por variaciones en la economía guatemalteca o la empresa consultada.
3. La investigación de otras tecnologías y medios de aplicación de pinturas es necesaria para la disminución de costos de pintado y tiempos de aplicación, y para obtener mejores propiedades de resistencia en la pintura.
4. La imprimación deberá ser aplicada tan pronto como sea posible después de la preparación de la superficie, y nunca después de pasadas 8 horas desde que se aplicó el chorreado.
5. Cuando se trate de pinturas epóxicas, los límites de temperatura para su aplicación estarán entre 10 °C y 35 °C. No se aplicará la pintura cuando la temperatura sea menor a 5 °C, con excepción de las pinturas que sequen por evaporación de un disolvente.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Petroleum Institute. *Norma API 650 12^a ed.2* 013. 302 p.
2. Compañía Pintuco S.A. *Manual de productos. Línea de mantenimiento industrial.*: Escuela de formación Pintuco. 2000. p 218
3. CORBELLA, Josep. *La cueva de El Castillo* [en línea]. <[www.lavanguardia.com/ciencia /20120614/54311323192.html](http://www.lavanguardia.com/ciencia/20120614/54311323192.html)> [Consulta: 14 de junio de 2016]
4. Fábrica Nacional de Moneda y Timbre (FNMT). *Diseño y Cálculo de Tanques de Almacenamiento*. [en línea] [www.fnmt.es/documents /10179/10666378/Dise%C3%B1o+y+c%C3%A1lculo+de+tanques +de+almacenamiento.pdf](http://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Dise%C3%B1o+y+c%C3%A1lculo+de+tanques+de+almacenamiento.pdf). [Consulta: enero 2019]
5. GRACO Inc. *PFP Sprayers. Equipment Solutions for Epoxy Intumescent Fireproofing Materials*. [en línea] <[www.graco.com/content/dam /graco/aftd/ literature/brochures](http://www.graco.com/content/dam/graco/aftd/literature/brochures)> [Consulta: junio 2018]
6. Instituto de Cerámica y Vidrio; CSIC y FREMAP. *Manejo de disolventes orgánicos* [en línea] [www.icv.csic.es/prevencion/Documentos /breves/FREMA /disolv.pdf](http://www.icv.csic.es/prevencion/Documentos/breves/FREMA/disolv.pdf). [Consulta: mayo 2015]
7. Quimicas Tai. *Rendimiento práctico de pinturas*. [en línea] <https://quimicathai.wordpress.com/2011/09/26/>. [Consulta: octubre 2018].

8. SAMANDIEGO, Vladimiro. *Principios y procedimientos para la aplicación de recubrimientos industriales en la construcción*. Sonora, México : trabajo de graduación de ingeniería civil Universidad de Sonora. División de Ingeniería. p. 151

9. Simma Equipos y Consumibles. *Equipos de seguridad CLEMCO*. [en línea]. [www.simma.cl/producto /equipos-de-seguridad-clemco/](http://www.simma.cl/producto/equipos-de-seguridad-clemco/). [Consulta: julio 2018].

10. Tusalarío.org. *Derechos laborales*. [en línea] [https://tusalarío.org /guatemala/derechoslaborales/maternidad/trabajo-a-domicilio](https://tusalarío.org/guatemala/derechoslaborales/maternidad/trabajo-a-domicilio). [Consulta: diciembre 2014]