

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Química y Textil



Informe de Trabajo de Suficiencia Profesional

Control de calidad en la aplicación de un sistema de recubrimiento orgánico en equipos de proceso

Para obtener el título profesional de Ingeniero Químico

Elaborado por:

Ronald Antonio Corimayhua Luque

 0009-0004-0275-2860

Asesora:

Mag. Carmen Luisa Uribe Valenzuela

 [0000-0001-5772-6038](https://orcid.org/0000-0001-5772-6038)

LIMA-PERÚ

2023

Dedicatoria

El presente trabajo va dedicado: a mi madre Margarita Luque, a mis hermanos Luis y Nelly quienes me apoyaron incondicionalmente durante mi formación académica. A mi esposa Patricia Villegas quien me acompañó y apoyo durante la elaboración de mi trabajo y a mi hija Marbett Corimayhua Villegas quien fue mi motor y motivo.

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo establecer los controles de calidad necesarios para reducir las fallas de recubrimientos orgánicos en equipos de proceso. Los resultados, durante los trabajos de preparación de superficie y aplicación de un sistema de recubrimiento orgánico en el interior de un tanque de almacenamiento de diésel de 163MB en una refinería del norte del país, indicaron que los controles de rugosidad, porcentaje de humedad relativa y la gradiente de temperatura entre la superficie y el punto rocío se encontraban dentro de los límites permitidos y los controles de concentración de iones cloruro y nivel de polvo en superficie estaban al límite siendo estos dos controles los más importantes debido a que el polvo en superficie reduce la adherencia entre la superficie metálica y el recubrimiento, y la concentración de iones cloruros promueven la corrosión prematura; para la evaluación del desempeño de un sistema de recubrimiento, se tomaron datos durante los trabajos de preparación de superficie y aplicación de sistemas de recubrimiento orgánico en tuberías instaladas en el rack de interconexiones y en unidades de proceso de una refinería del norte del país, se realizó ensayos de adherencia por tracción obteniendo resultados muy satisfactorios, superiores a 700 psi, estos resultados son consecuencia de un adecuado y correcto control de calidad durante todo el proceso de preparación de superficie y aplicación de recubrimiento. Finalmente se concluyó que estableciendo adecuadamente los controles de concentración de iones cloruro y nivel de polvo en superficie se reducirán las fallas de recubrimiento orgánicos en equipos de proceso y mediante ensayos de adherencia por tracción se asegurara un buen desempeño del sistema de recubrimiento orgánico.

Palabras clave – Corrosión, control de procesos, recubrimiento orgánico

Abstract

The objective of this work was to establish the quality controls necessary to reduce failures of organic coatings in process equipment. The results, during the surface preparation work and application of an organic coating system inside a 163MB diesel storage tank in a refinery in the north of the country, indicated that the roughness controls, relative humidity percentage and The temperature gradient between the surface and the dew point were within the allowed limits and the controls for the concentration of chloride ions and the level of dust on the surface were at the limit, these two controls being the most important because the dust on the surface reduces the adhesion between the metal surface and the coating, and the concentration of chloride ions promote premature corrosion; To evaluate the performance of a coating system, data were taken during the surface preparation work and application of organic coating systems in pipes installed in the interconnection rack and in process units of a refinery in the north of the country. performed traction adhesion tests obtaining very satisfactory results, greater than 700 psi, these results are a consequence of adequate and correct quality control throughout the process of surface preparation and coating application. Finally, it was concluded that properly establishing the controls of chloride ion concentration and surface dust level will reduce organic coating failures in process equipment and through traction adhesion tests, good performance of the organic coating system will be ensured.

Keywords – Corrosion, process control, organic coating.

Tabla de Contenido

Capítulo I. Datos generales de la empresa donde laboró como bachiller	1
1.1 Actividad principal	1
1.2 Sector industrial al que pertenece	1
1.3 Líneas de servicios.....	1
1.3.1 Preparación de superficie y aplicación de pintura industrial.....	2
1.3.2 Revestimientos.....	2
1.3.3 Protección pasiva contra el fuego.....	3
1.3.4 Protección con cintas	4
1.4 Filosofía administrativa	5
1.4.1 Visión	5
1.4.2 Misión.....	5
1.4.3 Valores	5
1.4.4 Políticas.....	5
1.5 Cultura organizacional	6
1.6 Organigrama funcional de la empresa.....	6
1.7 Normatividad empresarial	8
1.8 Principios para el logro de calidad.....	8
1.9 Sistema de seguridad industrial	8

1.10	Gestión de impactos ambientales	9
	Capítulo II. Cargos y funciones desarrolladas como bachiller.....	10
2.1	Contexto Laboral.....	10
2.2	Descripción de Cargos y Funciones.....	10
2.3	Responsabilidades señaladas en el Manual de Organización y Funciones, ROF, TUPA, u otros documentos de la normatividad empresarial.....	11
2.4	Personal a su cargo y sus responsabilidades	12
2.3.1	Control documentario	12
2.3.2	Soporte de Sistema integrado de gestión.....	12
2.3.3	Supervisor de control de calidad Pintura	13
2.3.4	Supervisor de calidad Pintura/Ignifugado	13
2.5	Función ejecutiva y/o administrativa adicional.....	13
2.6	Cronograma de actividades realizadas como bachiller	13
	Capítulo III. Desarrollo de la actividad técnica y aplicación profesional	15
3.1	Contexto Laboral en el área de trabajo.....	15
3.1.1	Labores y tareas relacionadas con el tema específico a desarrollar	15
3.1.2	Conocimientos técnicos de su especialidad requeridos para el cumplimiento de las tareas, labores, funciones, etc.	18
3.1.3	Participación en actividades complementarias	19

3.2	Hechos relevantes de la actividad técnica	19
3.2.1	Planteamiento de la realidad problemática para cada actividad	19
3.2.2	Definición del problema general y secundarios	21
3.2.3	Justificación e importancia	21
3.2.4	Antecedentes nacionales e internacionales.....	21
3.2.5	Objetivo general y específico.....	23
3.3	Marco conceptual y teórico de los conocimientos técnicos requeridos	24
3.3.1	Corrosión electroquímica	24
3.3.2	Recubrimientos orgánicos.....	24
3.3.3	Parámetros de control en el proceso	34
3.4.2	Cálculo y determinaciones utilizadas en las aplicaciones.....	53
3.4.3	Análisis e interpretación de resultados y aportes técnicos de la propuesta...	81
3.4.4	Evaluaciones y decisiones tomadas	89
3.4.5	Informes o reportes presentados como resultados de las actividades realizadas	
	90	
	Capítulo IV. Discusión de resultados e implicancias	99
4.1	Contribuciones al desarrollo de la empresa	99
4.2	Impacto de la propuesta (económico, tecnológico, ambiental)	99
	Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones.....	101

5.1 Conclusiones	101
5.2 Recomendaciones	101
Capítulo VI. Referencias bibliográficas	103
ANEXOS	106

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Actividades desarrolladas como bachiller en ingeniería química.....	13
Tabla 2: Tareas para la actividad N°1.....	16
Tabla 3: Tareas para la actividad N°2.....	17
Tabla 4: Cursos de especialidad aplicados por el bachiller en sus funciones laborales.....	19
Tabla 5: Métodos de protección	26
Tabla 6: Mecanismos de curado.....	29
Tabla 7: Tipos de recubrimiento	31
Tabla 8: Estándares de preparación de superficie.....	35
Tabla 9: Concentración de iones cloruro en superficie.....	81
Tabla 10: Rugosidad de la superficie metálica.....	82
Tabla 11: Nivel de polvo en la superficie metálica	83
Tabla 12: Porcentaje de humedad relativa.....	84
Tabla 13: Gráfica del control de la gradiente de temperatura.....	85
Tabla 14: Pruebas de adherencia por tracción.....	87

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Estructuras nueva y mantenimiento.....	2
Figura 2: Interior y exterior de tuberías.....	3
Figura 3: Ignifugado.....	4
Figura 4: Aplicación de cinta en pernos engrasados.....	4
Figura 5: Organigrama de la empresa Julio Crespo Perú.....	7
Figura 6: Organigrama del departamento de calidad.....	12
Figura 7: PERT de la Actividad N°1.....	17
Figura 8: PERT de la actividad N°2.....	18
Figura 9: Componentes de un recubrimiento	26
Figura 10: Protección por barrera.....	27
Figura 11: Protección por inhibición.....	28
Figura 12: Protección por sacrificio.....	28
Figura 13: Mecanismos de curado.....	30
Figura 14: Equipo de pintado airless.....	32
Figura 15: Pistola de equipo de pintado airless.....	33
Figura 16: Boquilla de pistola de equipo de pintado airless.....	33
Figura 17: Controles de calidad por etapa.....	34
Figura 18: Limpieza con solvente.....	35
Figura 19: Sistema de chorro abrasivo.....	36
Figura 20: Psicrómetro.....	37
Figura 21: Termómetro magnético de superficie.....	38
Figura 22: Higrómetro.....	38
Figura 23: Conductímetro.....	40
Figura 24: Medidor de perfil de rugosidad.....	41
Figura 25: Cinta replica.....	41
Figura 26: Método de medida del perfil de rugosidad.....	42
Figura 27: Kit de prueba de polvo.....	43
Figura 28: Kit de chlor test.....	44
Figura 29: Parche bresle.....	44
Figura 30: Medidor de espesor de película húmeda tipo galleta.....	46
Figura 31: Medidor de espesor de película húmeda tipo peine.....	46
Figura 32: Método de medición de espesor de película húmeda.....	47
Figura 33: Equipo de medición de espesor de película seca.....	48
Figura 34: Equipo de tracción manual y automático.....	49

Figura 35: Sistema de extracción del dolly.....	50
Figura 36: Tipos de fallas en pruebas de adherencia por tracción.....	50
Figura 37: Equipo de discontinuidad de alto voltaje.....	52
Figura 38: Equipo de discontinuidad de bajo voltaje o esponja húmeda.....	52
Figura 39: Etapas de control de la actividad N°1.....	54
Figura 40: Hoja técnica del detergente biodegradable.....	55
Figura 41: Proyección de aire comprimido sobre papel absorbente.....	56
Figura 42: Papel absorbente luego de la proyección de aire.....	56
Figura 43: Proporción de abrasivo y agua destilada.....	57
Figura 44: Mezcla de abrasivo y agua destilada.....	58
Figura 45: Filtrado de muestra.....	58
Figura 46: Conductividad del agua destilada.....	59
Figura 47: Conductividad de la muestra.....	59
Figura 48: Celdas de flotación.....	60
Figura 49: Preparación de superficie de una celda de flotación rechazada.....	60
Figura 50: Preparación de superficie del interior de una celda de flotación aceptada.....	61
Figura 51: Prueba de nivel de polvo en superficie.....	62
Figura 52: Colocación de la cinta transparente en el papel muestrario.....	62
Figura 53: Determinación del nivel de polvo.....	63
Figura 54: Extracción de sales por el método de parche bresle.....	64
Figura 55: Conductividad de la solución extractora.....	65
Figura 56: Conductividad de la muestra.....	65
Figura 57: Manga de latex.....	67
Figura 58: Frotado de la maga de latex.....	67
Figura 59: Lectura en el tubo kitagawa.....	68
Figura 60: Frotado de la cinta replica.....	69
Figura 61: Lectura del perfil de rugosidad.....	69
Figura 62: Toma de condiciones ambientales.....	70
Figura 63: Tabla para el cálculo de la humedad relativa y punto rocío.....	71
Figura 64: Mezcla de recubrimiento.....	73
Figura 65: Medición de espesor de película húmeda.....	74
Figura 66: Determinación de espesor de película húmeda.....	74
Figura 67: Niveles de restricción.....	75
Figura 68: Medición de espesor de película seca.....	76
Figura 69: Etapas de control de la actividad N°2.....	76
Figura 70: Prueba de curado de un recubrimiento.....	77
Figura 71: Resultado de la prueba de curado.....	77

Figura 72: Prueba de adherencia de por tracción en probetas.....	79
Figura 73: Rotulado por tipo de falla.....	79
Figura 74: Prueba de discontinuidad de alto voltaje.....	80
Figura 75: Gráfico del control de concentración de iones cloruro en superficie.....	82
Figura 76: Gráfico del control de la rugosidad en la superficie metálica.....	83
Figura 77: Gráfico de control del nivel de polvo.....	84
Figura 78: Gráfico de control del porcentaje de humedad relativa.....	85
Figura 79: Gráfico del control de la gradiente de temperatura.....	86
Figura 80: Gráfico del control de adherencia por tracción.....	87
Figura 81: Reporte de presencia de aceite y agua en aire comprimido.....	91
Figura 82: Reporte de prueba de perfil de anclaje.....	92
Figura 83 Reporte de medición de conductividad de abrasivos.....	93
Figura 84: Reporte de medición de sales en superficie.....	94
Figura 85: Reporte de prueba de verificación de polvo en la superficie.....	95
Figura 86: Medición de espesores de película seca del recubrimiento.....	96
Figura 87: Evaluación visual del recubrimiento.....	96
Figura 88: Informe de ensayo de adherencia por tracción.....	97
Figura 89: Informe de ensayo de adherencia por tracción.....	98

Capítulo I. Datos generales de la empresa donde laboró como bachiller

1.1 Actividad principal

Julio Crespo Perú, es una empresa especialista que brinda servicios en el control de corrosión que aplica tecnologías en equipos y recubrimientos de alta calidad, para proteger y mantener la integridad en los activos de las empresas, ya que la corrosión puede causar daños significativos y costosos en una amplia gama de industrias (Julio Crespo Peru, 2022a).

Desde el 2012 la empresa inicio operaciones en el Perú, contando con personal constantemente capacitado por expertos y ejecutando diversos proyectos de gran envergadura con altos estándares de calidad internacional y transparencia en la gestión (Julio Crespo Peru, 2022a).

Julio Crespo Perú según datos oficiales en la consulta RUC (Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administracion Tributaria, 1997)

Razón social: Julio Crespo Perú S.A.C.

RUC: 20547234236

Dirección: A.V. Euterpe N° 267 DPTO 2 URB. El Olimpo Ate.

Teléfono: (+511) 960 157 904

Página Web: juliocrespo.pe

1.2 Sector industrial al que pertenece

Julio Crespo Perú se dedica al servicio de protección anticorrosiva en industrias de construcción, energía, naval, operaciones marítimas, minería, alimentos, petróleo y gas, telecomunicaciones y química (Julio Crespo Peru, 2022a).

1.3 Líneas de servicios

A continuación, se presenta los principales servicios que Julio Crespo Perú brinda en la industria.

1.3.1 Preparación de superficie y aplicación de pintura industrial

“Son trabajos realizados totalmente en campo, con equipamiento calificado y desplazamiento de maquinarias para preparación de superficies en general y aplicación de recubrimientos industriales. Trabajos de campo en equipos de proceso, tanques, tuberías, conductos y operaciones marítimas” (Julio Crespo Peru, 2022b).

A continuación, se muestra en la Figura 1 el lavado de una tubería mediante proyección de agua a presión.

Figura 1

Estructuras nueva y mantenimiento



Nota. Tomada del sitio web <https://juliocrespo.pe/servicios/#expertise>

1.3.2 Revestimientos

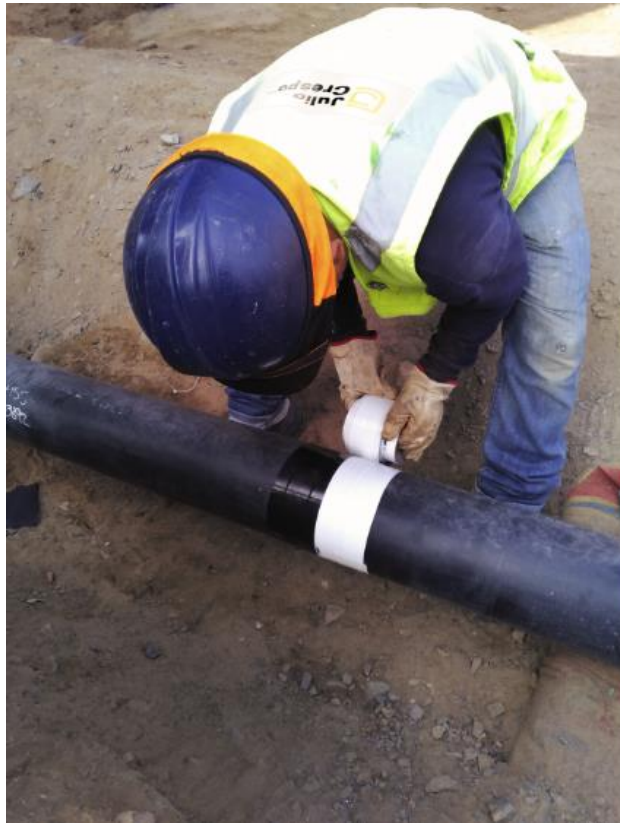
Trabajos de revestimientos especiales para tuberías enterradas y sumergidas; revestimientos de poliuretano y poliurea para agua potable, tanques, tuberías y puentes (Julio Crespo Peru, 2022b).

A continuación, se muestra en la Figura 2 la protección anticorrosiva mediante

revestimientos en tuberías enterradas.

Figura 2

Interior y exterior de tuberías



Nota. Tomada del sitio web <https://juliocrespo.pe/servicios/#expertise>

1.3.3 Protección pasiva contra el fuego

Trabajos de aplicación de pinturas intumescentes, morteros cementosos para planta de hidrocarburos, epoxis intumescentes, ignifugado de bandeja de porta cables y sellados con ladrillo ignífugos (Julio Crespo Peru, 2022b).

A continuación, en la Figura 3 se muestra el enmallado de una estructura metálica para la proyección de mortero ignifugo.

Figura 3

Ignifugado



Nota. Tomada del sitio web <https://juliocrespo.pe/servicios/#expertise>

1.3.4 Protección con cintas

Trabajos con cintas de polietileno Denso/Poliken, encintado de tuberías, bridas y válvulas (Julio Crespo Peru, 2022b).

A continuación, en la Figura 4 se muestra la protección mediante cintas de polietileno.

Figura 4

Aplicación de cinta en pernos engrasados



Nota. Tomada del sitio web <https://juliocrespo.pe/servicios/#expertise>

1.4 Filosofía administrativa

La empresa Julio Crespo Perú obtuvo la certificación ISO 9001:2015 en el 2020 y la ISO 45001:2018, ISO 14001:2015 el año 2022 por lo cual declara la misión, visión, valores y principios para el logro de la calidad.

1.4.1 Visión

Empresa reconocida en el sector de la Ingeniería de Protección Anticorrosiva a nivel nacional e internacional; liderando el mercado empleando tecnología avanzada que permita desarrollar las actividades de manera óptima para beneficio de todos los actuales y futuros clientes (Julio Crespo Perú, 2022).

1.4.2 Misión

Empresa dedicada a la ingeniería de protección anticorrosiva que desarrolla su actividad a través de la preparación, tratamiento y recubrimiento de superficies a nivel nacional; satisfaciendo las necesidades y expectativas de todos los clientes, aplicando la tecnología en trabajos relacionados al tratamiento de superficies evitando la interacción con agentes externos promotores de corrosión y con un mejor acabado estético (Julio Crespo Perú, 2022).

1.4.3 Valores

Apuntan al liderazgo en el mercado manteniendo y teniendo como prioridad un comportamiento ético ante la sociedad, prestando atención a las expectativas y requisitos que puedan formular; tener un firme compromiso en el cumplimiento de los requisitos legales, en materia de calidad, seguridad y medio ambiente (Julio Crespo Perú, 2022).

1.4.4 Políticas

Julio Crespo Perú S.A.C., asume el compromiso de garantizar y proteger la integridad de su personal y el cuidado del medio ambiente a través de la implementación, desarrollo y sostenibilidad de un sistema integrado de gestión basado en estándares internacionales; promoviendo un ambiente laboral seguro y saludable en donde se logre minimizar la ocurrencia de incidentes, accidentes y enfermedades ocupacionales de todos

los trabajadores de la organización, clientes, contratistas y partes interesadas; la protección del medio ambiente y la contaminación del mismo controlando los aspectos ambientales producto de las operaciones de la empresa cumpliendo con la normativa legal y los requisitos de todos los clientes; implementar y promover la mejora continua en todos los niveles de la organización así como la participación y consulta en el sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional y medio ambiente (Julio Crespo Peru, 2022c).

Julio Crespo Perú S.A.C., considera como uno de los ejes principales de las actividades que desarrolla, la calidad; aportar los recursos necesarios para la formación continua del personal de forma que se cumpla los objetivos y criterios establecidos en el sistema de gestión de calidad; brindar servicios conformes y adecuados según los plazos acordados, satisfaciendo y superando las expectativas de todos los clientes; mejorar continuamente la eficacia del sistema de gestión de calidad (Julio Crespo Peru, 2022c).

1.5 Cultura organizacional

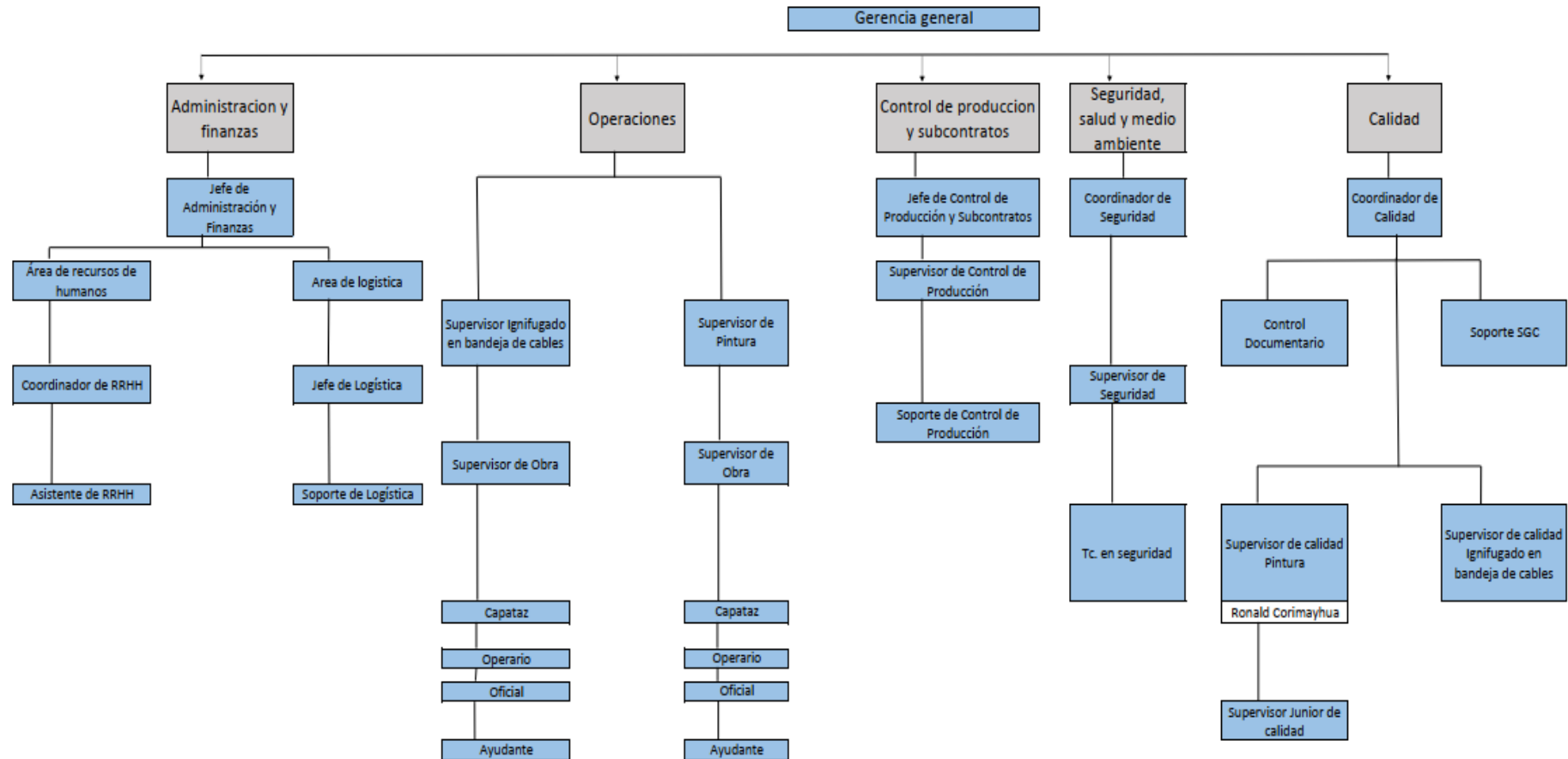
En Julio Crespo Perú se promueve un lugar de trabajo donde el colaborador perciba y sienta una mejora constante en todo aspecto, siendo el factor clave para el cumplimiento de todos nuestros objetivos. En función de ello, se fomenta la motivación, participación y formación de todos los miembros de la organización; teniendo siempre en cuenta su formación profesional y personal, el trabajo en equipo y la valoración positiva de la asunción de responsabilidades. De esta forma se ofrece servicio que satisfagan los requerimientos y expectativas de los clientes, respetando lo establecido en los contratos y especificaciones; y ofreciendo costos acordes al mercado, cumpliendo así con todas las pautas establecidas de calidad, costos y plazos. La empresa tiene una cultura también de orientación al cumplimiento de las normas internacionales de calidad, seguridad y protección ambiental.

1.6 Organigrama funcional de la empresa

En la Figura 5 se muestra el organigrama de la empresa Julio Crespo Perú.

Figura 5

Organigrama de la empresa Julio Crespo Perú



Nota. Tomado del Área de Recursos Humanos de la empresa Julio Crespo Perú (2022)

1.7 Normatividad empresarial

Julio Crespo Perú S.A.C. cuenta con un reglamento interno con carácter de obligatoriedad para todo el personal que labore o preste servicio en sus instalaciones, con el propósito de garantizar la salud, la integridad física, la conservación del medio ambiente y la producción continua en las instalaciones donde ejecute su labor o servicio.

El reglamento tiene como objetivos fundamentales; crear y mantener condiciones de seguridad y salud que permitan salvaguardar la vida, integridad física de todos los trabajadores promoviendo una cultura de prevención y conciencia ambiental a través de lineamientos, procedimientos y estándares internos de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente; a fin de evitar y prevenir daños a la salud, a las instalaciones a los procesos o contaminaciones al medio ambiente se propicia el mejoramiento continuo de las condiciones de seguridad, salud y medio ambiente en el trabajo; promover los reconocimientos y sanciones que deben aplicarse según las disposiciones del reglamento (Julio Crespo Perú, 2022).

1.8 Principios para el logro de calidad

Cumplir con altos estándares internacionales que permiten brindar servicios de calidad, siendo reconocidos al obtener la certificación ISO 9001:2015 por parte de una entidad acreditada. Los servicios de calidad se ven expresados antes, durante y al entregar los trabajos ejecutados por personal responsable de cumplir con las instrucciones específicas; las cuales son debidamente planificadas y constantemente inspeccionadas (Julio Crespo Perú, 2022d).

1.9 Sistema de seguridad industrial

Julio Crespo Perú obtuvo la certificación ISO 45001:2018 en el año 2022, declarando y comprometiéndose a mejorar continuamente los procesos y el desempeño del sistema integrado de gestión de la organización en el área de seguridad y salud ocupacional; la alta dirección tiene como compromiso brindar los recursos necesarios para

mantener un ambiente seguro, saludable y amigable con el medio ambiente; a fin de lograr el éxito en la prevención de accidentes y enfermedades ocupacionales se dirigen recursos para la implementación del sistema de gestión de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente; el respeto y cumplimiento de las normas vigentes en materia de seguridad y salud ocupacional en el trabajo (Julio Crespo Peru, 2022).

1.10 Gestión de impactos ambientales

Julio Crespo Perú obtuvo la certificación ISO 14001 en el año 2022, declarando y comprometiéndose a mejorar continuamente los procesos y asegurando una correcta ejecución de los trabajos comprometiéndose a mantener el área ordenada, limpia y libre de condiciones peligrosas; usar equipos en buenas condiciones, sin defectos o fallas; controlar los aspectos ambientales evitando impactos negativos al medio ambiente; todos los residuos generados durante las actividades se dispondrán en recipientes clasificados por colores; previo a la mezcla de recubrimiento se tendrá al alcance un kit antiderrame (Julio Crespo Peru, 2022).

Capítulo II. Cargos y funciones desarrolladas como bachiller

2.1 Contexto Laboral

El bachiller en Ingeniería Química tiene varias oportunidades laborales en la industria. En este caso, se ha desempeñado como especialista en inspección de recubrimientos protectores industriales donde es crucial conocer los diferentes métodos de preparación de superficie ferrosa y no ferrosa antes de aplicación un recubrimiento, así mismo, conocer los diferentes métodos de aplicación de recubrimiento y todos los ensayos que se deben realizar durante todo el proceso de instalación de un sistema de recubrimiento industrial que permitan prevenir fallas de recubrimientos prematuramente.

Para el desarrollo de las actividades con responsabilidad, el bachiller en Ingeniería Química hace uso de los conocimientos de Ingeniería Química tales como corrosión, métodos de protección de la corrosión, así como conocimientos específicos de normas nacionales y estándares internacionales de *Nace International*, de la sociedad de recubrimientos protectores o SSPC y la Asociación para la protección y rendimiento de materiales o AMPP. Adicionalmente para realizar las actividades profesionales en la industria se requiere estar certificado por una entidad internacional, con tal fin el bachiller se certificó como *AMPP Certified Coatings Inspector* otorgado por *The Association for Materials Protection and Performance*.

En el campo laboral, el bachiller en Ingeniería Química siempre debe actuar con integridad y tener estándares éticos.

2.2 Descripción de Cargos y Funciones

En Julio Crespo Perú, el bachiller en Ingeniería química se desempeña como:

- Supervisor de control de calidad

En ese cargo estuvo 3 años y 2 meses, durante la cual participa en diferentes proyectos, donde ejecuta trabajos de supervisión de preparación de superficie, aplicación de recubrimientos y ensayos de control de calidad; en base a estándares internacionales aprobados por la industria y especificaciones del propietario o dueño de la instalación.

2.3 Responsabilidades señaladas en el Manual de Organización y Funciones, ROF, TUPA, u otros documentos de la normatividad empresarial

A continuación, se describe las responsabilidades del supervisor de control de calidad:

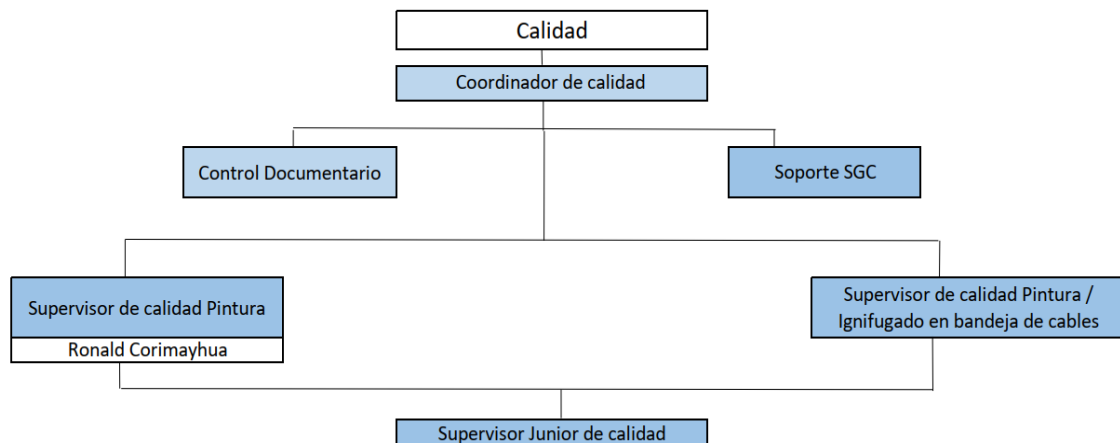
- Verificar la calificación de los pintores, realizada por el fabricante de la pintura según ASTM D4228, que realizarán los trabajos.
- Verificar que se efectúen los controles respectivos establecidos en el procedimiento del proyecto en ejecución.
- Verificar que estén vigentes los certificados de calibración de los equipos.
- Realizar un registro de preparación superficial y pintura.
- Presentar el trabajo ejecutado al cliente previa coordinación, así como los documentos necesarios para el cierre de la liberación.
- Hacer seguimiento a las No Conformidades que se identifiquen en el proyecto, así como el levantamiento de la misma.
- Conocer y hacer cumplir las condiciones técnicas del proyecto al personal del proyecto.
- Verificar la correcta ejecución del presente procedimiento en concordancia con el Plan de Inspección y Ensayo.
- Verificar que todos los controles de calidad se cumplan de acuerdo al Plan de Calidad y el Plan de Inspección y Ensayo.
- Asegurar que los trabajos de preparación de superficie y pintura se realice con personal homologado.
- Elaborar y actualizar los documentos necesarios para el cierre de los trabajos ejecutados ya sea total o parcial.
- Solicitar los certificados de calidad de los productos que se va adquiriendo para la elaboración de la obra.
- Coordinar y validar que la asesoría técnica del fabricante de pintura se mantenga en obra durante la instalación del sistema de recubrimiento orgánico.

2.4 Personal a su cargo y sus responsabilidades

En la Figura 6 se muestra el organigrama del departamento de calidad.

Figura 6

Organigrama del departamento de calidad



Nota. Tomado del Área de Recursos Humanos de la empresa Julio Crespo Perú (2022).

En ausencia del coordinador de calidad, se asume el cargo y al personal que se menciona a continuación:

2.3.1 Control documentario

- Elaboración de protocolos de liberación total y/o parcial
- Envío de cronograma de actividades diarias al cliente
- Elaboración de dossier de calidad
- Envío y seguimiento de procedimientos para la aprobación del cliente

2.3.2 Soporte de Sistema integrado de gestión

- Seguimiento de las charlas en campo según cronograma
- Difusión de las políticas de la empresa a todo el personal, así como la misión, visión y valores.
- Elaborar y actualizar los documentos necesarios para el cierre de los trabajos ejecutados ya sea total o parcial.

2.3.3 Supervisor de control de calidad Pintura

- Las responsabilidades se listan en el 2.2

2.3.4 Supervisor de calidad Pintura/Ignifugado

- Aseguramiento y control de calidad durante los trabajos de ignifugado de estructuras/bandejas de cables, las cuales se registrarán para verificar las medidas de los espesores y resistencias.
- Asegurar que las operaciones de ignifugado mediante mortero proyectado se realizaran en condiciones controladas, de forma que, una vez finalizado el trabajo, esto se haya hecho de acuerdo a lo especificado.

2.5 Función ejecutiva y/o administrativa adicional

Durante la ausencia del coordinador de calidad, se asume el cargo y sus responsabilidades:

- Distribución de los supervisores de calidad en la obra y/o proyecto.
- Establecer el cronograma de vacaciones del personal de calidad.
- Establecer el cronograma de bajadas según sea el régimen en lo obra y/o proyecto del personal de calidad.

2.6 Cronograma de actividades realizadas como bachiller

A continuación, en la Tabla 1 se presenta las actividades desarrolladas y los periodos correspondientes como bachiller en ingeniería química.

Tabla 1

Actividades desarrolladas como bachiller en ingeniería química.

Empresa/Ocupación	Trabajo desarrollado	Tiempo
Julio Crespo Perú/Supervisor de calidad	Supervisión del proceso de aplicación de recubrimientos orgánicos en dos tanques de 163MB de almacenamiento de diesel en la refinería de talara.	
	Supervisión de pre-limpieza, limpieza, preparación de superficie mediante chorro abrasivo y herramientas manuales y de poder, aplicación de recubrimientos en la unidad de destilación al vacío, unidad de flexicoking, unidad de destilación primaria en el proyecto modernización de la	17/08/2020 hasta la actualidad.

Empresa/Ocupación	Trabajo desarrollado	Tiempo
	refinería de talara.	
Julio Crespo Perú/Supervisor de control de calidad	Supervisión de pre-limpieza, limpieza, preparación de superficie mediante chorro abrasivo y herramientas manuales y de poder, aplicación de recubrimientos en el rack de interconexiones, tuberías y estructuras, en el proyecto modernización de la refinería de talara.	02/09/2019 hasta el 30/04/2020.
Corporación Mara S.A./Ingeniero de recubrimiento junior	Estudio y análisis sobre el estado de recubrimientos, así como determinar las causas de fallas prematuras indicando las recomendaciones de acuerdo a consideraciones técnicas, económicas y ambientales. dentro de los parámetros a evaluar: ✓ Grado de Herrumbre u Oxidación, <i>rusting</i>. ✓ Grado de ampollamiento, <i>blistering</i>. ✓ Grado de Craqueo, <i>Cracking</i>. ✓ Grado de tizamiento, <i>chalking</i>. ✓ Delaminado, <i>flaking</i>. ✓ Adherencia entre capas y/o sustrato ✓ Espesor de película seca. Coordinación con ingenieros y supervisores de las etapas del proyecto; es decir, durante las tareas de preparación superficial y aplicación del sistema de recubrimiento orgánico. Supervisar las tareas de inicio y/o arranque de obra de proyectos diversos, con la finalidad de orientar al contratista, cliente, y/o usuario final, en la ejecución de la aplicación de sistemas de recubrimiento orgánico, siguiendo parámetros establecidos en las hojas técnicas de los productos.	20/02/2019 hasta el 30/08/2019.

Nota. Elaboración propia, el tiempo de experiencia corresponde a partir de la fecha de expedición del grado de bachiller.

Capítulo III. Desarrollo de la actividad técnica y aplicación profesional

3.1 Contexto Laboral en el área de trabajo

3.1.1 *Labores y tareas relacionadas con el tema específico a desarrollar*

Las principales actividades desarrolladas para el control de calidad en la aplicación de recubrimientos orgánicos en equipos de procesos son las siguientes:

Actividad N°1: Control, medición y cuantificación de parámetros técnicos en la preparación de una superficie y aplicación de recubrimientos orgánico.

- Evaluación de contaminantes, agua-aceite-grasa, en el aire de proceso según estándar ASTM D4285.
- Verificación del lavado de una superficie previo a la preparación de superficie, esta limpieza se realiza según estándar SSPC SP1.
- Determinación de parámetros atmosféricos: Humedad relativa, temperaturas de bulbo seco, húmedo y punto de rocío. Según estándar ASTM E337.
- Determinación de contaminantes no visibles en el abrasivo y en la superficie preparada, iones cloruro y/o sales totales. Según estándar ISO 8502-6 y la Guía tecnológica N°15 de la SSPC
- Medición del perfil de rugosidad posterior a trabajos de preparación de superficie. Según estándar ASTM D4417
- Evaluación del grado de limpieza alcanzado, nivel de polvo y tamaño de partículas, posterior a los trabajos de preparación de superficie. Según estándar ISO 8502-3.
- Medición de espesores de película húmeda y seca. Según estándar SSPC PA2 y la ASTM D4414.

Actividad N°2 Evaluación de la performance del sistema de recubrimientos mediante pruebas destructivas.

- Medición de secado y/o curado de recubrimientos orgánicos. Según estándar ASTM

D1640.

- Determinación de discontinuidades por bajo y alto voltaje. Según NACE RP0188
- Adherencia por cinta según estándar ASTM D3359
- Adherencia por tracción a través de dispositivos de autoalineación tipo III, hidráulico, y Tipo V, hidráulico-Automático. Según estándar ASTM D4541.

En la Tabla 2 se detallan las tareas realizadas en un tanque de almacenamiento de diésel de 163MB para la **actividad N°1**: Control, medición y cuantificación de parámetros técnicos en la preparación de una superficie y aplicación de recubrimientos orgánico. Para

Tabla 2

Tareas para la Actividad N°1

N°	Secuencia	Nombre	Predecesor	Lead time (horas)
1	Reunión previa, detalle de la cantidad y frecuencia de las pruebas de calidad.	A	-	2
2	Dirigir la homologación del personal operativo.	B	A	4
3	Verificación del lavado según estándar SSPC SP1, <i>solvent cleanig</i> .	C	A	8
4	Evaluación de sales en el abrasivo según estándar ASTM D4940.	D	A	1
5	Evaluación de la pureza del aire comprimido según estándar ASTM D4285, <i>indicating oil or water in compressed air</i> .	E	A	1
6	Verificación del grado de preparación de superficie alcanzado	F	B, C, D y E	4
7	Evaluación de presencia de sales en superficie según guía tecnológica N°15 de la SSPC.	G	F	1
8	Prueba de nivel de polvo en la superficie según estándar ISO 8502-3	H	F	1
9	Evaluación del perfil de rugosidad según estándar ASTM D4417.	I	F	1
10	Evaluación de condiciones ambientales; porcentaje de Humedad, temperaturas de bulbo seco, húmedo y punto rocío.	J	G, H e I	1
11	Verificación de la correcta mezcla de los recubrimientos a usar.	K	J	1

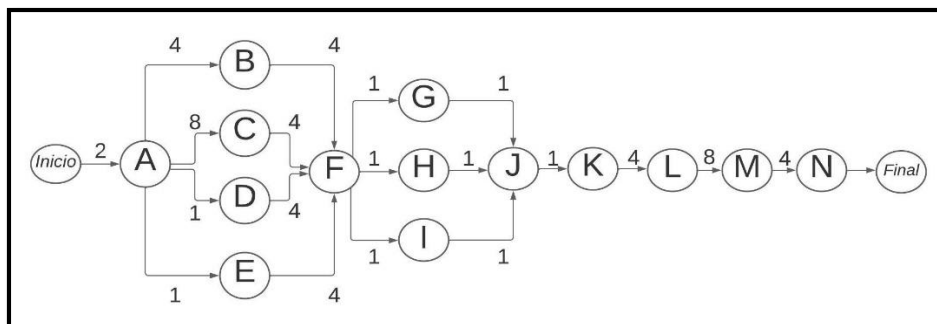
N°	Secuencia	Nombre	Predecesor	Lead time (horas)
12	Verificación de la correcta aplicación del recubrimiento	L	K	4
13	Evaluación de espesores de película seca del recubrimiento según estándar SSPC PA2.	M	L	8
14	Redacción de informes de las pruebas realizadas y envío al cliente.	N	M	4

Nota. Elaboración propia, necesario para entender el diagrama PERT de la actividad N°1.

En la Figura 7 mediante un documento de técnicas de revisión y evaluación de proyectos, PERT, se muestra las tareas de la Actividad N°1: Control, medición y cuantificación de parámetros técnicos en la preparación de superficie y aplicación de recubrimientos orgánicos

Figura 7

PERT de la Actividad N°1



Nota. Elaboración propia en base a la Tabla 3 usando la web ludichart (2022).

En la Tabla 3 se detallan las tareas realizadas en unas tuberías instaladas en el rack de interconexiones y en unidades de proceso de una refinería para la **actividad N°2**: Evaluación de la performance del sistema de recubrimientos mediante pruebas destructivas.

Tabla 3

Tareas para la actividad N°2

N°	Secuencia	Nombre	Predecesor	Lead time (horas)
1	Coordinaciones para el inicio de las pruebas destructivas	A	-	1

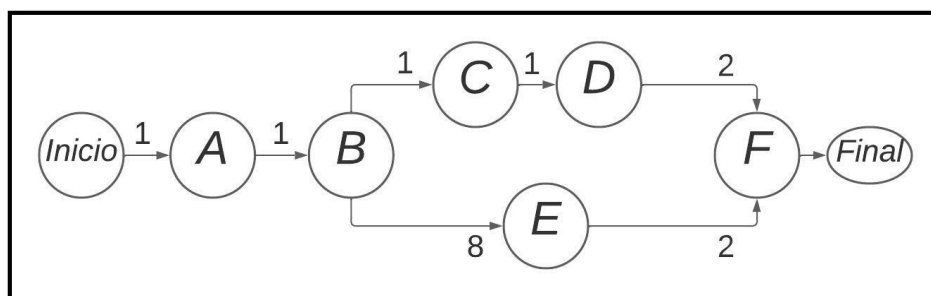
N°	Secuencia	Nombre	Predecesor	Lead time (horas)
2	Evaluación del curado del recubrimiento según estándar ASTM D5402.	B	A	1
3	Identificación de áreas sometidas a prueba y pegado de dollies.	C	B	1
4	Evaluación de adherencia por tracción según estándar ASTM D4541 mediante el despegue del Dolly.	D	C	1
5	Detección de discontinuidades de alto y bajo voltaje.	E	B	8
6	Redacción de informes de las pruebas realizadas y envío al cliente.	F	B, D y E	2

Nota. Elaboración propia, necesario para entender el diagrama PERT de la actividad N°2.

En la Figura 8 mediante un documento de técnicas de revisión y evaluación de proyectos, PERT, se muestra las tareas de la Actividad N°2: Evaluación de la performance del sistema de recubrimientos mediante pruebas destructivas.

Figura 8

PERT de la actividad N°2



Nota. Elaboración propia en base a la Tabla 4 usando la web ludichart (2022)

3.1.2 Conocimientos técnicos de su especialidad requeridos para el cumplimiento de las tareas, labores, funciones, etc.

En la Tabla 4 se describe los conocimientos técnicos de la especialidad de ingeniería química en las actividades desarrolladas por el bachiller.

Tabla 4*Cursos de especialidad aplicados por el bachiller en sus funciones laborales*

Código	Nombre del Curso	Aplicación
PI 118	Sistema de información y reportes técnicos	Redacción de informes y reportes de ensayos
QU426	Laboratorio de fisicoquímica I	Análisis de la medición de la conductividad del agua, iones cloruro y/o sales totales
QU435	Laboratorio de fisicoquímica II	Análisis de la medición de la conductividad del agua, iones cloruro y/o sales totales
PI 111	Balance de materia y energía	Cálculo y análisis de porcentaje de humedad y punto rocío a través de tablas psicométricas.
QU324	Química Orgánica I	Análisis del comportamiento de recubrimientos del tipo alquídicos, acrílicos, fenólicos, epóxicos, poliuretanos, entre otros.
QU434	Química Orgánica II	Análisis del comportamiento de recubrimientos del tipo alquídicos, acrílicos, fenólicos, epóxicos, poliuretanos, entre otros.
PI 515	Corrosión I	Análisis y fallas de recubrimientos por corrosión y/o defectos de aplicación.

Nota. Elaborado con los cursos y sus códigos respectivos que corresponden al año 2018.

Adicionalmente se muestra en el Anexo 1 el certificado otorgado por *The Association for Materials Protection and Performance* como *AMPP Certified Coatings Inspector*, certificado que es requerido para realizar y validar las actividades 1 y 2 mencionadas en el presente capítulo.

3.1.3 Participación en actividades complementarias

Durante la actividad laboral como bachiller no se realizó actividades de investigación o innovación, ni en unidades o grupos de seguridad.

3.2 Hechos relevantes de la actividad técnica

3.2.1 Planteamiento de la realidad problemática para cada actividad

Las industrias químicas, petroquímica, petróleo y gas natural tiene varias y complejas unidades de proceso, pero comparten algunos equipos como tanques de almacenamiento, torre de enfriamiento, hornos y otros. La aplicación de recubrimientos suele ser el último eslabón en la construcción de equipos de procesos siendo la ruta crítica las obras civiles y/o mecánicas, esto ha llevado a malas prácticas y métodos inadecuados

durante la instalación de sistema de recubrimientos, empujados muchas veces por la entrega inmediata de estos equipos a los propietarios, y que han terminado en fallas prematuras de recubrimiento.

Las fallas de recubrimiento son el principio de un proceso corrosivo acelerado por agentes externos presentes en el ambiente de servicio, estas fallas no solo son un problema estético, sino que traen importantes consecuencias económicas y operativas como costosos presupuestos de mantenimiento, inactividad de equipos, costos de garantía y pérdida de credibilidad de la empresa ejecutora del trabajo.

El costo anual total de la corrosión en la industria de producción de petróleo y gas se estima en \$1.372 mil millones (The Association for Materials Protection and Performance, 2021).

Actualmente no existe una conciencia real de los controles necesarios durante la instalación de un sistema de recubrimiento en equipos de proceso, y como se menciona líneas arriba la etapa de instalación de un sistema de recubrimiento suele cargar el peso de los tiempos de entrega de la construcción de equipos y en consecuencia se saltan muchos controles como evaluación de presencia de iones cloruro en la superficie preparada, evaluación de nivel de polvo en la superficie, perfil de rugosidad en la superficie de acero entre otros.

La falla de recubrimientos es aún más crítica en interior de equipos de proceso, ya que estas suelen almacenar o transportar carga que muchas veces es más valiosa que el recipiente que los contiene, por ello los controles son más estrictos tales como pruebas de detección de discontinuidades.

Al término de la instalación de un sistema de recubrimiento no suele observarse a simple vista problema alguno incluso durante semanas de haber entregado el trabajo, un sistema de recubrimiento mal adherido tiende a desprenderse fácilmente mediante fuerzas externas o el peso de la carga almacenada o transportada de un equipo de proceso. Eventos de este tipo llevan a realizar un reproceso total del sistema de recubrimiento

instalado y obviamente esto implica tiempos de inactividad de equipos por reparaciones magnificando las pérdidas económicas y la imagen de la empresa que ejecuta los trabajos.

3.2.2 Definición del problema general y secundarios

Problema general:

¿Cómo es posible reducir las fallas de recubrimientos orgánicos en equipos de proceso y accesorios?

Problemas secundarios:

Actividad N°1: ¿Cómo se asegura la correcta la preparación de superficie y la aplicación de recubrimientos orgánicos en equipos de procesos y accesorios?

Actividad N°2: ¿De qué manera se evalúa la resistencia y durabilidad de un sistema de recubrimiento orgánico en equipos de proceso y accesorios?

3.2.3 Justificación e importancia

Actualmente el método de protección de corrosión con recubrimiento industriales suele fallar prematuramente sino se realiza un correcto control de calidad durante todo el proceso de instalación de un sistema de recubrimiento industrial, en entornos más agresivos como en el interior de equipo de proceso (tanques de almacenamientos, celdas de flotación, etc) en donde el sistema de recubrimiento se encuentra inmerso, las fallas de recubrimiento son más frecuentes si no se realiza un correcto control de calidad. Las fallas de recubrimientos tienen como consecuencias posibles paradas de planta para las reparaciones e incluso el retiro de total del sistema de recubrimiento instalado por uno nuevo, todo ello se traduce en pérdidas económicas considerables.

3.2.4 Antecedentes nacionales e internacionales

Da costa et al. (2016) realizaron una investigación cuyo título fue “Efectos de la preparación de superficie del acero al carbono en la formación de productos de corrosión bajo pintura epóxica”. Se investigó tres diferentes grados de limpieza superficial: remoción de óxidos, sales solubles y desempeño anticorrosivo de un sistema de pintura epóxica. Las probetas se fabricaron a base de acero al carbono con cascarilla de laminación intacta,

estas probetas se limpiaron con desengrasante orgánico y chorro abrasivo seco hasta el grado Sa3 según la ISO 8501-2, estas probetas fueron expuestas a la intemperie natural durante 4 meses, durante este tiempo las placas se sumergieron en solución de cloruro de sodio de forma intermitente. A continuación, estas placas fueron sometidas a tres diferentes métodos de preparación de superficie: Sa3, St3 según la ISO 8501-2 y la SSPC SP11. Finalmente, se realizaron pruebas de condensación de humedad, medidas de impedancia electroquímica en estado de inmersión, pruebas de adherencia y determinación del contenido de sales en superficie. Concluyeron que con los resultados obtenidos se evidencia que cuanto más eficiente es el tratamiento superficial en la remoción de contaminantes como óxidos y sales solubles, previo a la aplicación de los recubrimientos, mejor es su desempeño anticorrosivo.

Vigo (2015) realizó un trabajo cuyo título “Parámetros de inspección durante la aplicación de un sistema de recubrimientos industriales”, En este caso se lleva a cabo la aplicación de un sistema de protección de alta performance para estructuras nuevas metálicas de acero al carbono para la ampliación de un almacén de concentrados de plomo y otros minerales. La metodología utilizada fue de tipo mixta, la evaluación se realizó en tres etapas: antes, durante y después de la aplicación del sistema de protección. Se evaluaron los siguientes parámetros: pureza del aire comprimido, sales en el abrasivo, grado de limpieza alcanzado, perfil de rugosidad, sales en superficie preparada, condiciones ambientales, espesores de película seca, húmeda y adherencia. Se concluyó, que durante el proceso de instalación de un sistema de recubrimiento orgánico es necesario conocer todos los parámetros de inspección con la finalidad de evitar posibles fallas de recubrimiento.

Jarrin (2012) realizó un trabajo cuyo título fue “Estudio de procesos de pintura de alto desempeño y su incidencia en la calidad de los equipos petroleros de superficie de la empresa Saurus Ecuador Cia. Ltda.” En esta investigación del tipo cualitativo tuvo como objetivo establecer un proceso de aplicación de recubrimiento adecuado para mejorar el

producto de la empresa Saurus Ecuador Cia. Ltda., para ello se usaron placas testigos por cada sistema de recubrimiento; todo el proceso de aplicación de las placas testigos se realizaron bajo ensayos y estándares internacionales. El 50% de los ensayos de adherencia por tracción del proceso actual, se encontraron entre los 601 a 800 psi; mientras en el proceso propuesto el 100% estuvieron por encima de los 800 psi. Concluyó, que al hacer una comparativa con el proceso actual, este no se ha realizado un adecuado control del proceso y como consecuencia un mal desempeño del sistema de recubrimiento, frente al proceso propuesto que cumple con las expectativas planteadas de la investigación, no dejando escapar ningún detalle que pueda incurrir en un mal desempeño.

Mobin y Malik (2005) realizaron un trabajo de investigación “Falla prematura del epoxi repintado en la placa inferior de un tanque principal de combustible: Un estudio de caso” referente a la falla prematura de un recubrimiento epóxico repintado aplicado sobre una superficie de acero picada; se vació el tanque, se limpió con chorro de arena y se volvió a aplicar el revestimiento sin llevar a cabo una descontaminación de cloruros. La metodología usada fue un examen visual de una placa muestra del interior del tanque y un microanálisis químico por energía dispersiva de los productos de corrosión de la placa muestra. Los resultados obtenidos muestran fuertes picos de iones Cl, Si, Fe, O, Al, Mg, S, P, K, Ca y Ti. Concluyeron, que el fallo del recubrimiento y posterior perforación de la placa se debió a la presencia de contaminación de cloruros y otras impurezas, que permanecieron en las cavidad y hoyos en cantidades significativas antes de la aplicación del recubrimiento.

3.2.5 Objetivo general y específico

El objetivo de las actividades propuestas durante el cargo de supervisor de control de calidad estuvo enfocado a obtener un buen desempeño del sistema de recubrimiento orgánico aplicado en equipos de procesos, durante su vida útil. Por lo que a continuación se presenta el objetivo general y los objetivos específicos.

Objetivo general

Establecer los controles de calidad necesarios para reducir las fallas de recubrimientos orgánicos en equipos de proceso.

Objetivos específicos

- Evaluar y cuantificar los parámetros técnicos durante la preparación de superficie y la aplicación de recubrimientos orgánicos en equipos de procesos.
- Determinar el desempeño de un sistema de recubrimiento mediante ensayos destructivos en equipos de proceso.

3.3 Marco conceptual y teórico de los conocimientos técnicos requeridos

3.3.1 Corrosión electroquímica

La corrosión electroquímica es la forma más común de ataque de metales, a medida de que el metal es gradualmente consumido por este proceso por lo general se forma un subproducto del proceso de corrosión; este proceso ocurre con más frecuencia en un medio acuoso, en el que hay iones presentes en agua, tierra o aire húmedo; al generarse un circuito eléctrico este proceso recibe el nombre de celda electroquímica; hay cuatro componentes en una celda electroquímica, el ánodo, el cátodo, la ruta electrónica la cual une eléctricamente al ánodo y cátodo, y el electrolito que es el medio por el cual se trasladan los iones (Askeland y otros, 2011, p. 802, 803).

3.3.2 Recubrimientos orgánicos

“Un recubrimiento es un material formador de película, ya sea líquido o no líquido, utilizado para proteger un material o sustrato en un ambiente agresivo de deterioro por un período de tiempo” (Vigo, 2015, p.34).

Un recubrimiento organico estan formulado en base a compuestos de origen animal o vegetal.

3.3.2.1 Componentes de un recubrimiento orgánico

Un recubrimiento en general esta dividido en cuatro componentes que se muestran en la Figura 18, y que se definen a continuación.

“**La resina** es un material formador de película, conocido también como ligante, son polímeros o bien prepolímeros que forman una película cohesiva sobre un sustrato y que tienen como función aglutinar adecuadamente los pigmentos” (Giudice y Pereyra, 2009, p.22).

“**El pigmento** está constituido por partículas sólidas, cuya función es impartir propiedades específicas al recubrimiento. El pigmento debe ser insoluble frente a la resina y solvente, además no reactivo químicamente con los restantes componentes del sistema” (Giudice y Pereyra, 2009, p.125).

“**El aditivo** usualmente representan alrededor del 2% de los componentes de un recubrimiento. Sin embargo, su impacto sobre muchas de las propiedades es significativas tanto en estado líquido como en película seca” (Giudice y Pereyra, 2009, p.176).

“**Los solventes** usados en la formulación y fabricación de pinturas y recubrimientos de base no acuosa son compuestos orgánicos de bajo peso molecular. En general, los solventes deben ser volátiles bajo las condiciones particulares en que se forma la película” (Giudice y Pereyra, 2009, p.224).

A continuación, en la Figura 9 se muestra los componentes y su participación en porcentaje en un recubrimiento orgánico.

Figura 9

Componentes de un recubrimiento



Nota. Tomado de la web <http://grupopetroquimica.blogspot.com/2009/04/pinturas-y-recubrimientos-i.html>

3.3.2.2 Sistema de recubrimientos orgánicos

Es el conjunto de capas de diferentes recubrimientos, cuyo objetivo fundamental es proteger una superficie metálica de la acción de un medio agresivo, siendo el sistema más simple el constituido por una capa base anticorrosiva en contacto directo con el metal, una capa intermedia y una capa de acabado que evita el deterioro de las capas inferiores; un sistema homogéneo comparten el mismo tipo de resina para asegurar una buena adhesión entre capas y en el caso de sistemas heterogéneos debe establecerse la compatibilidad y adhesión entre distintas capas (Rascio et al., 1989).

3.3.2.3 Modos de protección

A continuación, en la Tabla 5 se muestran los modos de protección y la descripción de cada uno.

Tabla 5

Métodos de protección

Modo de protección	Descripción
Barrera	"Impide el ingreso, a través de la película de recubrimiento, de contaminantes promotoras de

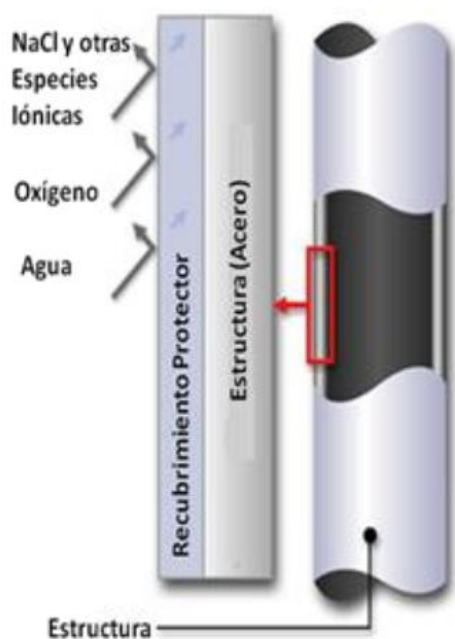
	corrosión en la interfase recubrimiento/metal”.
Inhibición	“Los recubrimientos inhibidores contienen productos químicos que impiden las reacciones en el sustrato; Necesitan estar en contacto con el metal”.
Sacrificio	“Metal que es anódico al acero e impide la corrosión del metal catódico”.

Nota. Elaborado a partir de la información de (Nace International, 2011, p. 7,9,10).

En la Figura 10, Figura 11 y Figura 12 se muestran los modos de protección contra agentes externos promotoras de corrosión, descritos en la Tabla 5.

Figura 10

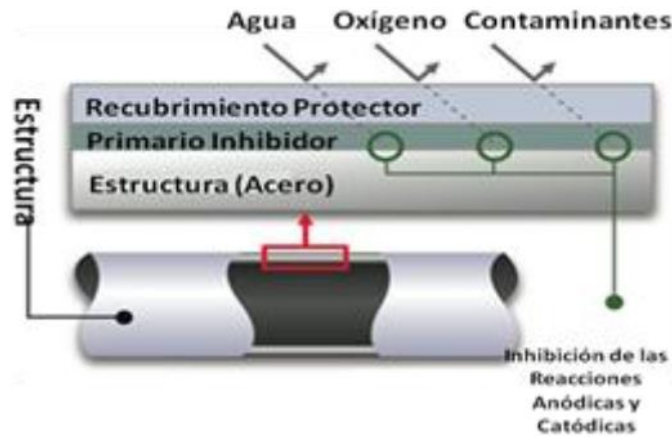
Protección por barrera



Nota. Tomada de (Nace International, 2011).

Figura 11

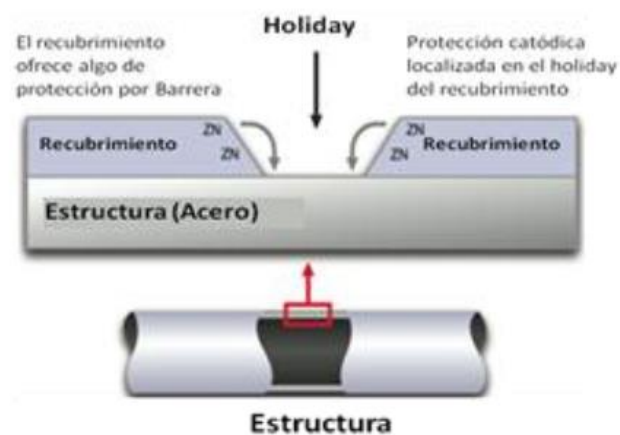
Protección por inhibición



Nota. Tomada de (Nace International, 2011).

Figura 12

Protección por sacrificio



Nota. Tomada de Nace International (2011).

3.3.2.4 Mecanismos de curado

El proceso de formación de película está relacionado con el tipo de aglutinante, además, el mecanismo puede ser físico y/o químico; Para una mejor descripción de estos mecanismos se define el secado como el paso de un recubrimiento líquido, aplicado sobre un sustrato, al estado sólido por evaporación de solventes; y el curado es el término de las reacciones físico-químicas desarrollando al 100% todas las propiedades para las que fue diseñado el recubrimiento (Giudice y Pereyra, 2009).

A continuación, en la Tabla 6 se muestran los mecanismos de curado más conocidos y que todo recubrimiento orgánico recorre para desarrollar al 100% sus propiedades.

Tabla 6

Mecanismos de curado

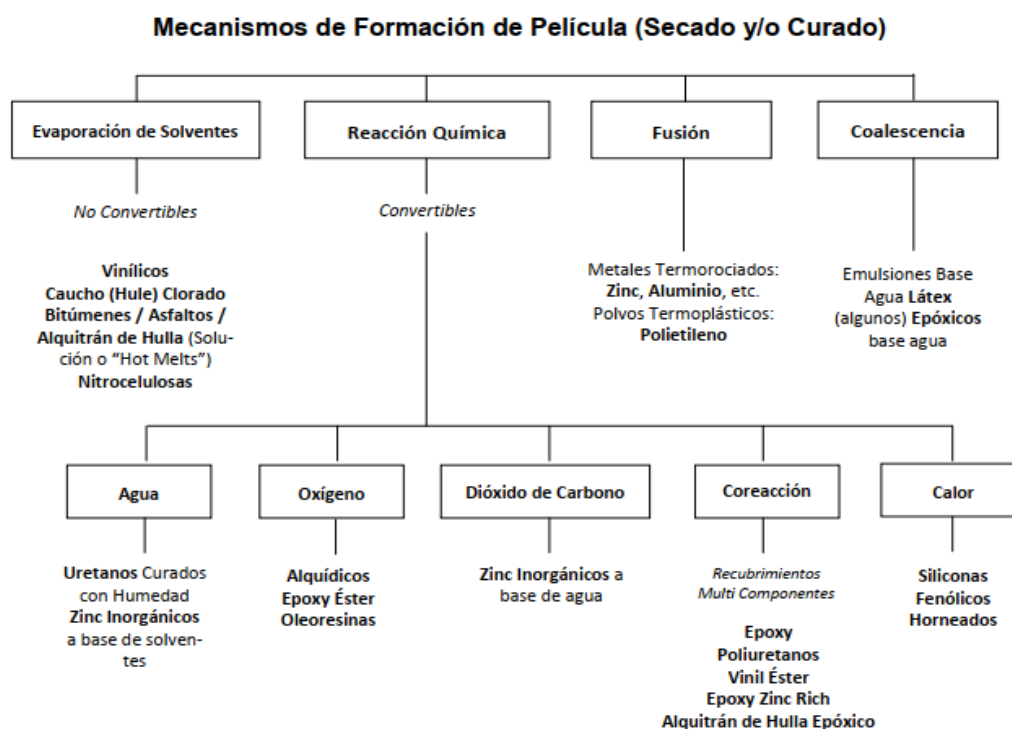
Mecanismos	Descripción
Curado por evaporación	“Recubrimientos que curan solamente por evaporación de solventes. Al evaporarse, no ocurre un cambio químico”.
Curado por oxidación	“Tienen como agente de curado al oxígeno de la atmosfera, previamente ocurre evaporación de solvente”.
Curado por co-reacción	“El curado se realiza en dos etapas, la primera es la evaporación de solventes y la segunda es por polimerización, la cual básicamente significa que una pequeña molécula se transforma en una molécula grande”.
Curado por hidratación	“Son aquellos recubrimientos que requieren cierta cantidad de agua para completar su curado”.
Curado por fusión	“Es el curado mediante calor forzado”.

Nota. Elaborado con información de (Nace International, 2011, p. 3,5,6,7,8)

A continuación, en la Figura 13 se muestra los mecanismos de curado de algunos recubrimientos.

Figura 13

Mecanismos de curado



Nota. Tomada de (Nace International, 2011).

3.3.2.5 Propiedades generales de un recubrimiento orgánico

Los recubrimientos orgánicos durante el proceso de aplicación requieren ciertas propiedades que permitan proteger la superficie metálica el mayor tiempo posible durante la vida útil del activo; muchas estructuras y equipos de procesos están expuestas a salpicadura de álcalis, ácidos y solventes por lo que la resistencia química es una propiedad fundamental; no solo el contacto con agentes externos es un problema sino el propio intemperismo provoca la degradación del recubrimiento, la resistencia a rayos ultravioletas y al paso de vapor de agua propios de un ambiente húmedo son propiedades mínimas que se requieren para la instalación de un sistema de recubrimiento; la resistencia a la abrasión, al impacto, a la temperatura, a la contracción/expansión del sustrato metálico y no menos importante la facilidad de aplicación por diversos métodos son propiedades necesarias (Giudice & Pereyra, 2009).

3.3.2.6 Tipo de recubrimientos

A continuación, en la Tabla 7 se muestra la clasificación de recubrimientos por el tipo de resina que se ha usado para su formulación.

Tabla 7

Tipos de recubrimiento

Resina	Descripción
Acrílicos	“Son principalmente derivados poliméricos de los ácidos acrílicos y metacrílicos; tienen una excelente a los rayos UV y a la intemperie”.
Alquídicos	“Son una combinación de aceites de secado naturales y resinas sintéticas; son de un solo componente y fáciles de aplicar”.
Epóxicos	Tienen una excelente adhesión, resistencia química y resistencia al agua”.
Fenólicos	“Ofrecen una protección de alta calidad en servicios de inmersión para la mayoría de ácidos, solventes y sales; usados también en ambientes de bajo pH y cuando la temperatura alta es un factor”.
Siliconas	“Recubrimientos de este tipo presentan buena resistencia a altas temperaturas y radiación UV”.
Poliuretanos	“Se forman a través de una reacción entre un poli-isocianato y un alcohol polifuncional; en general tiene buena resistencia química”.
Zinc inorgánico	“El imprimante más utilizado en el mundo, tiene la capacidad de proporcionar protección catódica y es muy resistentes a una variedad de químicos y solvente”.
Zinc orgánico	“Un recubrimiento de este tipo se usa para reparaciones donde se ha aplicado un recubrimiento de zinc inorgánico”.

Nota. Elaborado con información de (Nace International, 2011, p. 10,11,12,14,17,18,20,21)

3.3.2.7 Métodos de aplicación de recubrimientos orgánicos

Existen varios métodos de aplicación de recubrimiento, la elección y correcta ejecución supondrá ahorros significativos en consumos de recubrimiento y en reparaciones del mismo. El empirismo suele ser la base del personal que ejecuta la aplicación, entonces, el factor humano es una causa de las posibles reparaciones que se tengan que realizarse.

- La aplicación con brocha y rodillo se hará bajo recomendación del fabricante de recubrimiento y aprobación del propietario; el uso de brochas será de tal forma que permita trabajarse sobre grietas y esquinas, el acabado será lo más uniforme posible; la aplicación de rodillos se hará sobre superficies lisas y asegurándose de que los rodillos no arrojen pelusa (The society for protective coatings[SSPC PA1], 2016b, p.6).

- Aplicación por atomización, el principio básico para la atomización de pintura es convertir un flujo de material y proyectarlo en gotitas sobre una superficie; la atomización con aire o convencional se realiza pulverizando el material a través de un orificio a una presión baja, para luego romperla con una corriente de aire; la atomización sin aire, una bomba de pistón succiona el material de un recipiente y lo fuerza a través de una línea de alta presión de hasta 9000 psi, este método requiere una pistola de aplicación la cual se encuentran en una variedad de tamaños y los orificios están hechos en un numero diferente de ángulos y la elección de los mismo dependerá de las características del recubrimiento a aplicar (Vigo, 2015, p. 108).

A continuación, en la figura 14 se muestra un equipo de pintado que se utiliza cuando el área a recubrir es considerable, para una mayor productividad y si el recubrimiento lo exige.

Figura 14

Equipo de pintado airless



Nota. Tomada de la web <https://www.apv.cl/n/producto/nxt-701-equipo-neumatico-para-productos-de-alto-contenido-solido/>

A continuación, en la Figura 15 se muestra una pistola de un equipo atomizador de recubrimiento, la cual debe tener la capacidad de soportar las elevadas presiones con la que se proyecta o atomiza el recubrimiento.

Figura 15

Pistola de equipo de pintado airless



Nota. Tomada de la web <https://www.graco.com/es/es/contractor/product/17y043-contractor-pc.html>

A continuación, en la Figura 16 se muestra la boquilla de una pistola de un equipo atomizador de recubrimiento, la cual permitirá fijar el caudal de recubrimiento proyectado

Figura 16

Boquilla de pistola de equipo de pintado airless



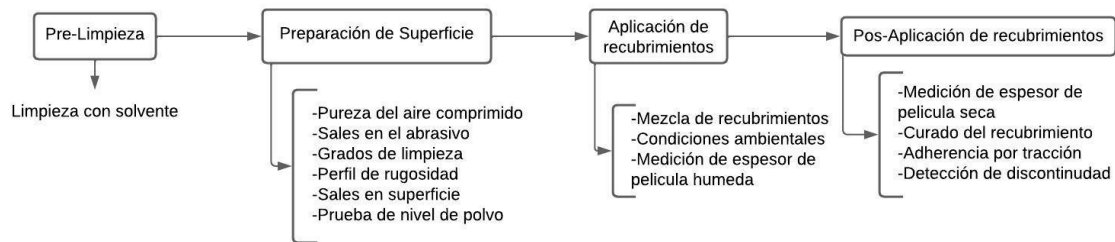
Nota. Tomada de la web <https://www.wagner-group.com/es/guia/que-es-airless/dispositivos-airless-para-profesionales/>

3.3.3 Parámetros de control en el proceso

En la Figura 17 se muestra un diagrama donde se lista los controles de calidad que se realizan en cada etapa.

Figura 17

Controles de calidad por etapa



Nota. Elaboración propia usando la web ludichart (2022)

3.3.3.1 Pre-limpieza

Los equipos de proceso durante la etapa de construcción están expuestos a contaminantes visibles como polvo, grasa y/o aceite adicionalmente a ello pasan pruebas adicionales como tintes penetrantes en cordones de soldadura entre otros; la presencia de grasa y/o aceite u otro contaminante visible en la superficie metálica puede reducir la adherencia del recubrimiento, adicionalmente ello una superficie contaminada a la cual se le proyecta chorro abrasivo, este también se contaminara y teniendo en cuenta que algunos abrasivos se reutilizan mantendrás una superficie contaminada.

En la Figura 18 se muestra el lavado de una superficie previo a la preparación de superficie con herramientas manuales, eléctricas y/o chorro abrasivo.

Figura 18

Limpieza con solvente



Nota. Tomada de <https://aquavac.com.do/2021/06/05/servicios-ambientales-y-de-limpieza-de-tanques/>

3.3.3.2 Preparación de superficie

El objetivo para preparar una superficie que va a ser aplicada con un sistema de recubrimiento orgánico es la de crear una adherencia adecuada entre la superficie y el recubrimiento; la fuerza de adhesión entre el sistema de recubrimiento y la superficie es la clave para un buen desempeño del sistema y la integridad del mismo; el método más usado para la preparación de superficie es mediante chorro abrasivo seco, este método tiene como principio la proyección de abrasivo metálico o no metálico entre 90 y 100 psi (Vigo, 2015, p.69).

En la Tabla 8 se muestran los grados de limpieza más usados.

Tabla 8

Estándares de preparación de superficie

Grado de limpieza	Nombre	Descripción
SSPC SP5	Limpieza abrasiva a metal blanco	“Libre de todo aceite, grasa, polvo, óxido, pintura, productos de corrosión y otro material foráneo visible; no se aceptan manchas aleatorias”.
SSPC SP10	Limpieza abrasiva a metal casi al blanco	“Libre de todo aceite, grasa, polvo, óxido, pintura, productos de corrosión y otro material foráneo visible; se acepta un 5% de manchas aleatorias”.

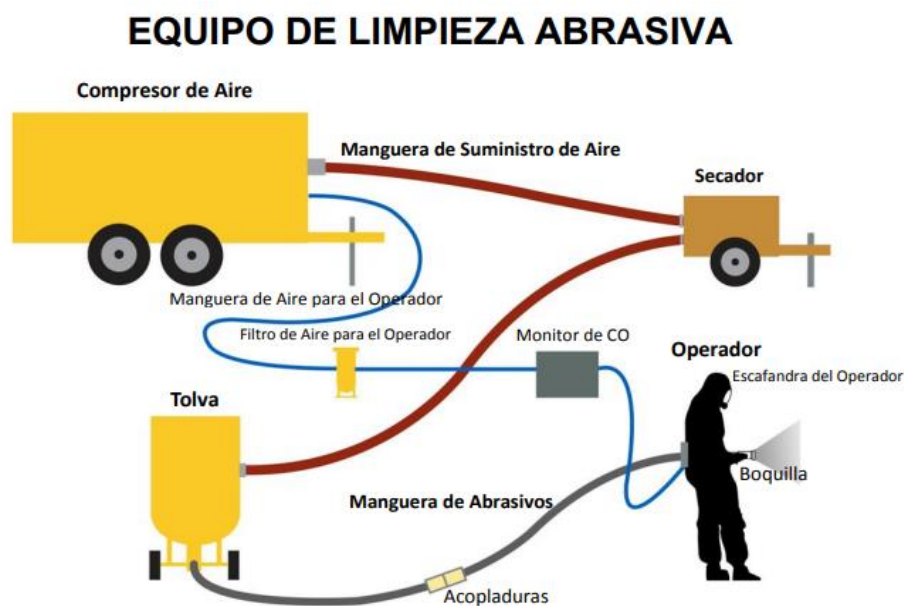
Grado de limpieza	Nombre	Descripción
SSPC SP6	Limpieza abrasiva al grado comercial	“Libre de todo aceite, grasa, polvo, oxido, pintura, productos de corrosión y otro material foráneo visible; se acepta un 33% de manchas aleatorias”.
SSPC SP3	Limpieza con herramientas mecánicas	“Remoción de oxido, pintura y material que estén sueltos”
SSPC SP2	Limpieza con herramientas manuales	“Remoción de oxido, pintura y material que estén sueltos”.
SSPC SP11	Limpieza con herramientas mecánicas a metal desnudo	“Sin presencia de aceite, grasa, polvo, oxido, pintura y otro material visible; con un perfil de rugosidad mínima de un mils”.

Nota. Elaboración propia con información de (Nace Interntional, 2011, p. 36,37,38,55)

A continuación, en la Figura 19 se muestra el circuito de un sistema de chorro abrasivo manual.

Figura 19

Sistema de chorro abrasivo



Nota. Tomada de (Nace International, 2011).

3.3.3.3 Condiciones ambientales

Previo al inicio de cualquier aplicación de recubrimientos se evalúa las condiciones ambientales, temperaturas y porcentaje de humedad, de acuerdo a los resultados obtenidos se aceptará o rechazará el inicio de la aplicación. Durante la aplicación también se monitorea las condiciones ambientales; los parámetros a medir son la temperatura de

bulbo seco, húmedo, de superficie a recubrir estos parámetros se suelen medir con equipos analógicos o digitales, en el caso de equipos analógicos el porcentaje de humedad relativa y la temperatura de punto rocío se calculará con cartas psicrométricas. Nace International tiene una tabla resumen del porcentaje de humedad y punto rocío con respecto a las temperaturas de bulbo seco y húmedo, como se puede observar en la Figura 63.

Los fabricantes de recubrimientos establecen las condiciones ambientales de aplicación adecuadas para el mejor comportamiento de su producto por lo que ejecutar la aplicación fuera de estos rangos no está permitido salvo que el propietario de la instalación lo permita; el recubrimiento no se debe aplicar bajo lluvia o cuando la temperatura de la superficie con respecto al punto rocío sea inferior a 3 °C; no se debe aplicar ningún recubrimiento a menos que se cumplan las recomendaciones escritas del fabricante para el rango de humedad (The society for protective coatings, [SSPC PA1],2016b, p.3).

A continuación, en la Figura 20 se muestra un psicrometro para el control de condiciones ambientales como humedad relativa y temperatura de punto rocío.

Figura 20

Psicrometro



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

A continuación, en la Figura 21 se muestra un termometro magnetico de superficie, para determinar la temperatura de la superficie a recubrir.

Figura 21

Termometro magnetico de superficie



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

A continuación, en la Figura 22 se muestra un equipo digital para determinar la humedad relativa, temperatura de superficie y punto rocío.

Figura 22

Higrometro



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

3.3.3.4 Pureza del aire comprimido

Este ensayo previene la contaminación en la línea de aire que asiste a los equipos de proyección de abrasivo y recubrimiento, por lo que se realiza antes de cualquier actividad que se asiste con aire del compresor, en la práctica este ensayo debe realizarse al inicio de la jornada laboral con una frecuencia determinado por la especificación del proyecto o acuerdo entre las partes interesadas.

3.3.3.5 Conductividad del abrasivo

Un abrasivo limpio se determina como tal en base a la presencia de grasa y/o aceite y a la cantidad de sales solubles, estos contaminantes afectan la vida útil de un sistema de recubrimiento orgánico por lo que la detección de ellos es de suma importancia antes de la ejecución de cualquier trabajo con chorro abrasivo. En la práctica todos los abrasivos contienen una cantidad de sales solubles, quien determina cuanto es la cantidad aceptable es el propietario de la instalación o acuerdo entre las partes interesadas.

La prueba de la conductividad del abrasivo permite evaluar la presencia de contaminantes iónicos solubles en los abrasivos mediante la determinación de la concentración total de especies conductoras solubles en agua; el abrasivo y el agua pura se combinan en una suspensión que se agita para lixiviar las sales solubles del abrasivo, esta suspensión se filtra y se mide la conductancia del filtrado; la contaminación iónica del abrasivo puede transferirse a la superficie durante la limpieza con chorro abrasivo, lo que puede provocar ampollas osmóticas, corrosión acelerada debajo de la película y falla prematura del recubrimiento (American Society for Testing and Materials, [ASTM D4940], 2015).

A continuación, en la figura 23 se muestra un conductímetro, usado para medir la conductividad de abrasivos y soluciones extraídas de una superficie.

Figura 23

Conductímetro



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

3.3.3.6 Perfil de rugosidad

El perfil de rugosidad de la superficie es un factor importante en el desempeño de varios recubrimientos aplicados al acero; por esta razón el perfil de rugosidad debe medirse antes de la aplicación del recubrimiento para garantizar que cumpla con lo especificado por el propietario de la instalación; para esta prueba se tiene tres métodos, siendo el método C el más utilizado en campo para la cual se hace uso de una cinta compresible que replica el perfil de rugosidad de la superficie para luego medir la cinta con un equipo medidor de espesor (American Society for Testing and Materials,[ASTM D4417], 2014). La frecuencia de esta prueba y la aceptabilidad de los valores maximos y minimo obtenidos sera determinado por el propietario de la instalación.

A continuación, en la Figura 24 se muestra un rugosímetro, usado para medir el perfil de rugosidad de una superficie preparada con proyección de chorro abrasivo y/o con herramientas asistidas electricamente.

Figura 24

Medidor de perfil de rugosidad



Nota. Tomado de la web <https://twilight.mx/instrumentos/medidores-de-perfil-de-anclaje/32/571/tx-tx-medidor-de-perfil-de-superficie.-sin-cintas.html>

A continuación, en la Figura 25 se muestra cintas replicas usadas para calcar el perfil de rugosidad de una superficie y medirlo con un rugosímetro.

Figura 25

Cintas replica

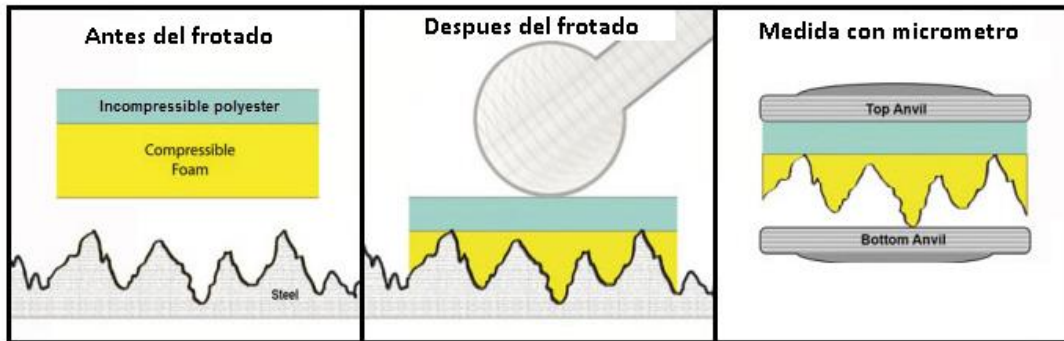


Nota. Tomado de la web <https://messmedicion.com.ar/productos/recubrimientos/perfil-de-superficie/press-o-film/>

A continuación, en la Figura 26 se muestra el método de medición de rugosidad con cinta replica.

Figura 26

Método de medida del perfil de rugosidad



Nota. Tomada de la web <https://ndtsupply.com/defelsko-testex-press-o-film-replica-tape.html>

3.3.3.7 Nivel polvo en superficie

El comportamiento de los recubrimientos orgánicos se ven afectados significativamente por el estado de la superficie inmediatamente antes de la aplicación de recubrimientos, uno de los factores que influye en el comportamiento mencionado es la presencia de contaminantes superficiales tales como sales, polvo, aceite y/o grasa; el método para la evaluación de la cantidad y tamaño de las partículas de polvo en las superficie preparadas para recubrir se realiza mediante una cinta adhesiva sensible a la presión la cual se pega en la superficie preparada para recubrir para luego retirarla y compararla con un patrón visual (International Organization for Standardization, [ISO 8502-3], 2017). La frecuencia, la cantidad y tamaño de partícula de polvo permisibles lo especifica el propietario de la instalación.

A continuación, en la Figura 27 se muestra las herramientas para realizar un ensayo de prueba del nivel de polvo de una superficie preparada mediante proyección de chorro abrasivo.

Figura 27

Kit de prueba de polvo



Nota. Tomada de la web <https://gsl-ndt.pe/producto/elcometer-142-kit-de-prueba-de-polvo/>

3.3.3.8 Sales en superficie

Las sales inician y aceleran la corrosión del acero por lo que si se depositan entre capas de recubrimientos son capaces de generar ampollamiento y desprendimiento, lo que causa el deterioro de los recubrimientos; las sales extraen la humedad a través de la película de recubrimiento formando ampollas y aumentando la presión interna; la humedad al combinarse con los cloruros, a menudo formando ácido clorhídrico débil causando corrosión, desprendimiento de la película recubrimiento-sustrato metálico y culminando con la falla total del recubrimiento (Nace International, 2014, p.3).

A continuación, en la Figura 28 se muestra las herramientas que necesitan para realizar un ensayo del nivel de iones cloruro en una superficie.

Figura 28

Kit de Chlor Test



Nota. Tomado de la web <https://twilight.mx/instrumentos/medidores-de-perfil-de-anclaje/32/882/ch-p150-.html>

A continuacion, en la Figura 29 se muestra el parche bresle usado para realizar un ensayo del nivel de conductividad de una superficie.

Figura 29

Parche Bresle



Nota. Tomado de la web <https://www.elcometer.com/es/inspeccion-revestimientos/inspeccion-revestimientos/limpieza-de-superficie/parche-de-prueba-bresle-elcometer-135c.html>

3.3.3.9 Mezclado de recubrimiento orgánico

Cuando las condiciones ambientales son adecuadas y la preparación de la superficie es la correcta se puede ejecutar la aplicación de recubrimientos; la proporción de un recubrimiento de dos o más componentes, durante de la preparación, es crucial para un buen desempeño del recubrimiento.

Para el inicio de la preparación de recubrimientos se debe homogenizar los componentes por separado y una vez mezclados se vuelve a homogenizar; algunos recubrimientos presenta un tiempo de inducción que es el tiempo que debe transcurrir después de combinar todos los componentes antes de comenzar la aplicación; Una vez transcurrido el tiempo de inducción de ser necesario se agregara un porcentaje de diluyente para una mejor aplicación, la mayoría de recubrimientos tienen tiempo de vida útil que es el tiempo en la cual se puede aplicar el recubrimiento después de combinar sus componentes (The Society for Protective Coatings, [SSPC PA1], 2016c).

5.3.3.10 Espesores de película húmeda

Las mediciones del espesor de la película húmeda de los recubrimientos aplicados pueden ser muy útiles para controlar el espesor del recubrimiento seco final, aunque no se suele especificar el espesor de la película húmeda pero la mayoría de los recubrimientos se aplican para cumplir con un requisito o especificación de espesor de película seca para cada capa o para el sistema de recubrimiento completo, o para ambos; el espesor de película seca y húmeda están relacionados matemáticamente como se muestra en el punto 5.5; el espesor de la película húmeda se mide durante la aplicación, es lo más apropiado ya que permite que el aplicador corrija y ajuste la película en el momento de la aplicación, para este propósito se usan calibradores dentados tipo peine (American Society for Testing and Materials, [ASTM D4414], 2013).

A continuacion, en la Figura 30 y 31 se muestran las herramientas para controlar los espesores de pelicula humeda

Figura 30

Medidores de espesor de película húmeda tipo galleta



Nota. Tomado de la web https://es.made-in-china.com/co_lonroytechnology/product_Wet-Film-Comb-Thickness-Gauges_uoyeoyngu.html

Figura 31

Medidores de espesor de película húmeda tipo peine



Nota. Tomado de la web <https://www.amazon.com/-/es/Nordson-Medidor-grosor-pel%C3%ADcula-h%C3%BAmada/dp/B088MNJSVJ>

A continuación, en la Figura 32 se muestra el sistema de medición de espesor de película húmeda.

Figura 32

Método de medición de espesor de película húmeda



Nota. Tomado de la web https://es.made-in-china.com/co_lonroytechnology/product_Wet-Film-Comb-Thickness-Gauges_uoyeoyngu.html

3.3.3.11 Espesores de película seca

El espesor de película seca es de suma importancia en cada capa así como en el sistema total de recubrimiento orgánico, los espesores están establecidos en las especificaciones y la rigurosidad de la misma es por las condiciones de exposición del sistema de recubrimiento orgánico, ya que gran parte del efecto protector del recubrimiento se logra por una acción de barrera; los instrumentos usados para evaluar los espesores de película seca tienen como principio la inducción magnética/electromagnética; este es un ensayo no destructivo y requiere ciertos cuidados al realizar las mediciones como por ejemplo evitando realizarlo sobre un recubrimiento que aún no ha secado lo suficiente como para no generar deformaciones al presionar el equipo de medición sobre el recubrimiento (Rascio y otros, 1989, p. 197).

A continuación, en la Figura 33 se muestran los equipos digitales para medir los espesores de película seca.

Figura 33

Equipos de medición de espesor de película seca



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

3.3.3.12 Curado de recubrimientos orgánicos

Los recubrimientos que cambian químicamente durante el proceso de curado, como los epoxis, los ésteres de vinilo, los poliésteres, los alquidos y los poliuretanos, se vuelven más resistentes a los solventes a medida que se curan, los recubrimientos deben alcanzar un nivel de resistencia a solventes antes de entrar a servicio; frotar con un paño empapado con el solvente apropiado es una forma de determinar cuándo se alcanza un nivel específico de resistencia al solvente, estos niveles varían según el tipo de recubrimiento; los niveles a alcanzar son influidos por temperatura, espesor de película seca, en otros; el fabricante de recubrimiento puede especificar el tipo de solvente, el número de frotamientos, y los resultados específicos necesarios (American Society for Testing and Materials, [ASTM D5402], 2015).

Para recubrimiento de tipo zinc inorgánico, se tiene que verificar el curado para la aplicación de la siguiente capa.

Los recubrimientos de tipo zinc inorgánico curan mediante hidrolisis, como la

humedad relativa y la temperatura varían durante el día, también lo hace la tasa de curado; es necesario un grado mínimo de curado antes de aplicar la capa final, el solvente usado para este caso es el metiletilcetona (American Society for Testing and Materials, [ASTM D4752], 2015).

3.3.3.13 Ensayos de adherencia

La resistencia a la extracción de un recubrimiento es una propiedad de desempeño importante que se ha utilizado en las especificaciones, este método de prueba sirve como un medio para preparar y probar superficies recubiertas de manera uniforme; este método consiste en pegar, con un adhesivo adecuado, un dispositivo de arranque o conocido comúnmente como dolly sobre el sistema de recubrimiento a evaluar y mediante un equipo portátil automático arrancar el dolly, registrándose en el equipo la presión de arranque; las áreas a evaluar son acordadas entre las partes interesadas y para que la prueba sea estadísticamente representativa se deberían hacer al menos tres ensayos; la superficie del recubrimiento debe ser plana y libre de contaminantes no adheridos (American Society for Testing and Materials, [ASTM D4541], 1995).

A continuación, en la Figura 34 se muestra el equipo para evaluar la adherencia de un sistema de recubrimiento.

Figura 34

Equipo de tracción manual y automatico

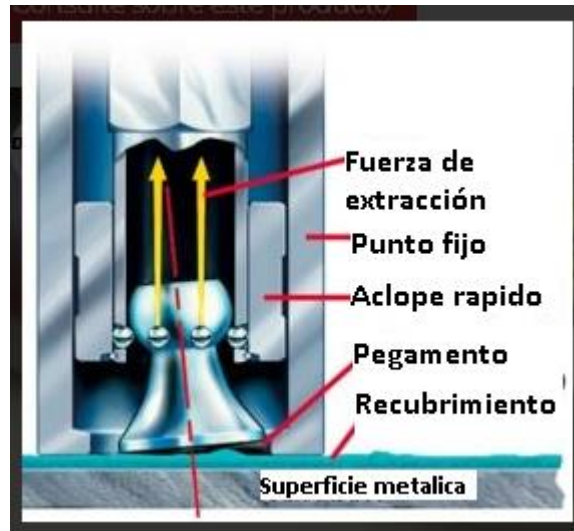


Nota. Tomado de la web <https://es.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-equipo-utilizas-para-determinar-la-adherencia-de-tecnalia>

A continuación, en la Figura 35 se muestra el mecanismo de extracción del dolly.

Figura 35

Sistema de extracción del dolly

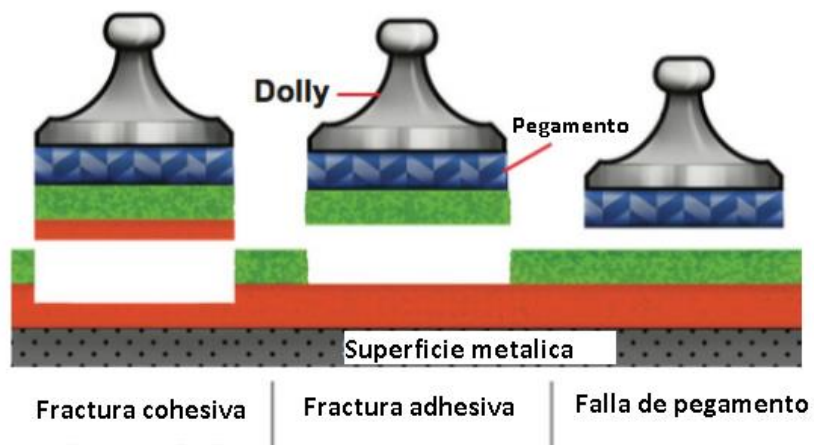


Nota. Tomada de la web <https://messmedicion.com.ar/productos/recubrimientos/adherencia/metodo-hidraulico-manual/>

A continuación, en la Figura 36 se muestra los tipos de fallas luego de la extracción del dolly.

Figura 36

Tipos de fallas en pruebas de adherencia por tracción



Nota. Tomado de la web <https://es.defelsko.com/resources/test-methods-for-coating-adhesion>

3.3.3.14 Detección de discontinuidades

En tanques de almacenamientos de crudo o derivados de petróleo las pruebas de discontinuidad están especificadas para el interior de estos equipos, la exigencia de esta prueba es de acuerdo al valor de lo que almacenan estos equipos, que en muchos casos el valor del contenido es mayor al del propio equipo que los almacena. La inspección visual que se realiza al sistema de recubrimiento se detectan defectos que están a simple vista, pero hay defectos como los llamado pinhole o agujeros de alfiler que a simple vista no son detectables, estos defectos suelen ser un puente entre el ambiente externo del sistema de recubrimiento y la superficie metálica que como consecuencia fatal es la falla del sistema de recubrimiento producto de la formación de corrosión.

El estándar para la detección de discontinuidades proporciona procedimientos para pruebas de esponja húmeda de bajo voltaje y pruebas de chispas de alto voltaje de nuevos, estas pruebas eléctricas para determinar la presencia y el número de discontinuidades en una película de recubrimiento se realizan en un recubrimiento no conductor aplicado a un sustrato conductor; para evitar daños a una película de recubrimiento si se utiliza un probador de chispa de alto voltaje, se debe considerar el espesor del recubrimiento y su rigidez dieléctrica al seleccionar el voltaje apropiado para la detección de discontinuidades; la precisión de las pruebas se pueden ver afectadas por el tiempo de curado del recubrimiento y si el recubrimiento contiene rellenos eléctricamente conductores o pigmentos que puedan afectar las propiedades dieléctricas normales (Nace International, [NACE RP0188], 1999).

A continuación, en la Figura 37 se muestra el equipo de discontinuidad con el que se identificaran defectos en recubrimiento de alto espesor que no pueden observarse a simple vista.

Figura 37

Equipo de discontinuidad de alto voltaje



Nota. Tomado de la web <https://www.elcometerusa.com/Coating-Inspection/Porosity-Holiday-Detection/>

A continuación, en la Figura 38 se muestra el equipo de discontinuidad con el que se identificaran defectos en recubrimiento de bajo espesor que no pueden observarse a simple vista.

Figura 38

Equipo de discontinuidad de bajo voltaje o esponja humeda



Nota. Tomado de la web <https://es.tinker-rasor.com/m1s-stick?pgid=k5lnq3rq-b3272b65-f6f5-419f-ba9e-302d0293adab>

3.4 Propuesta y contribuciones en su formación profesional

3.4.1 *Objetivos y justificación de las técnicas propuestas*

- Evaluación de la conductividad del abrasivo, según estándar ASTM D4940, un abrasivo con baja conductividad mejora los niveles de sales en superficie antes de la aplicación de un recubrimiento.
- Evaluación del nivel de polvo, Según la ISO 8502-3, niveles bajos de polvo en la superficie metálica aumentara la adherencia entre el recubrimiento y la superficie.
- Evaluación de la concentración de iones cloruro en superficie, Según Guía tecnológica N°15 de la SSPC, siendo los iones cloruro el principal promotor de corrosión a nivel mundial es de suma importancia mantener niveles bajos de iones cloruro.
- Evaluación del perfil de rugosidad, según estándar ASTM D4417, la adherencia mecánica entre el recubrimiento y la superficie metálica aumentara a mayor perfil de rugosidad.
- Evaluación de condiciones ambientales, según estándar ASTM E337, la aplicación de recubrimientos en condiciones ambientales adecuadas permitirá tener un mejor desempeño del recubrimiento.
- Evaluación de la adherencia por tracción, Según estándar ASTM D4541, luego de instalado el sistema de recubrimiento para garantizar que el sistema este bien adherido a la superficie se someterá a pruebas destructiva que permitirán garantizar un buen desempeño durante la vida útil del sistema de recubrimiento.

3.4.2 Cálculo y determinaciones utilizadas en las aplicaciones

3.4.2.1 Calculo y determinaciones de parámetros técnicos en la preparación de una superficie de acero al carbono para el interior tanque de almacenamiento de diésel.

En la Figura 39 se muestra los controles en cada etapa de la actividad N°1.

Figura 39

Etapas de control de la actividad N°1



Nota. Elaboración propia usando la web ludichart (2022).

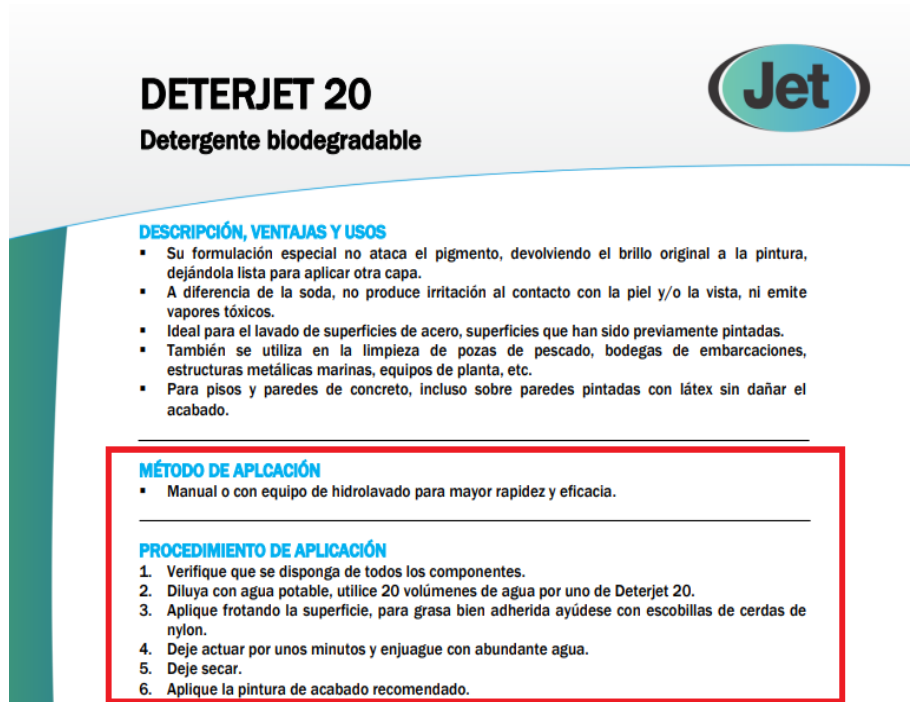
Pre-limpieza. Se usan detergentes industriales biodegradables recomendado por el fabricante de recubrimiento, en esta etapa se verifica que se cumple el procedimiento de limpieza por solvente de acuerdo al estándar SSPC SP1 y las indicaciones de la hoja técnica del detergente tal como se muestra en la Figura 40.

Refregar la superficie o eventualmente usar hidrolavadoras, mezclando el detergente y el agua en la proporción correcta, culminando con un enjuague de agua.

A continuación, en la Figura 40 se muestra la hoja técnica del detergente biodegradable que se usa para realizar el lavado de la superficie metálica.

Figura 40

Hoja tecnica del detergente biodegradable



Nota. Tomada de la web <https://es.scribd.com/document/378824172/DETERJET-20#>

- **Pureza del aire comprimido.** El control es visual y consiste en proyectar el aire que sale de la manguera del chorro abrasivo sobre un papel absorbente ubicado a 1 metro de distancia por el lapso de 1 minuto, luego de la prueba se debe verificar visualmente que en el papel absorbente no exista rastro de agua, aceite y/o grasa (ASTM D4285, 2012).

A continuación, en la Figura 41 se muestra el ensayo para evaluar la presencia de agua y/o aceite en el aire comprimido.

Figura 41

Proyección de aire comprimido sobre papel absorbente

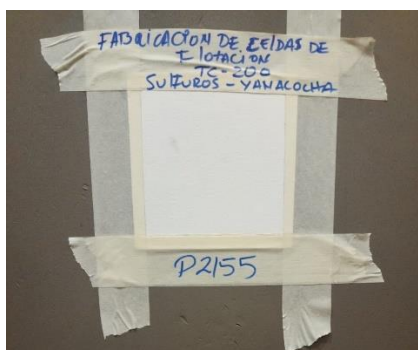


Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

A continuación, en la Figura 42 se muestra los resultados obtenido luego de proyectar aire comprimido en el papel absorbente.

Figura 42

Papel absorbente luego de la proyección de aire



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

- **Conductividad del abrasivo;** esta prueba consiste tomar una muestra de 300 ml de abrasivo y mezclarla con 300 ml de agua destilada, agitar la mezcla por 1 minuto y reposar por 8 minutos, volver a agitar por 1 minuto y filtrar suficiente muestra, desechando 10 ml, para medir la conductividad con un equipo digital (ASTM D4940, 2015). A continuación se muestra la ecuacion para determinar la conductividad del abrasivo, los resultados se expresan en $\mu S/cm$.

$$C_{\text{abrasivo}} = C_{\text{muestra}} - C_{\text{agua}} \dots\dots\dots 1$$

C: Conductividad

De los datos observados en las Figuras 55 y 56, se tiene lo siguiente:

$$C_{\text{agua}} = 4 \frac{\mu S}{cm}$$

$$C_{\text{muestra}} = 0.79 \frac{mS}{cm} \langle \rangle 790 \frac{\mu S}{cm}$$

De la ecuación 1

$$C_{\text{abrasivo}} = 790 \frac{\mu S}{cm} - 4 \frac{\mu S}{cm}$$

$$C_{\text{abrasivo}} = 786 \frac{\mu S}{cm}$$

De acuerdo al estándar SSPC-AB1, ver anexo 2, la conductividad de abrasivo no debe exceder los **1000 $\mu S/cm$** .

A continuación, en la Figura 43 se muestra el proceso de agua y abrasivo para realizar el ensayo de evaluación de conductividad del abrasivo.

Figura 43

Proporción de abrasivo y agua destilada



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

A continuación, en la Figura 44 se muestra el mezclado de agua y abrasivo para realizar el ensayo de evaluación de conductividad del abrasivo.

Figura 44

Mezcla de abrasivo y agua destilada



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

A continuación, en la Figura 45 se muestra el filtrado de la muestra para medir la conductividad del abrasivo.

Figura 45

Filtrado de la muestra



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

A continuación, en la Figura 46 se muestra la conductividad de la solución extractora.

Figura 46

Conductividad del agua destilada



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

A continuación, en la Figura 43 se muestra el resultado del proceso de evaluación de conductividad del abrasivo.

Figura 47

Conductividad de la muestra



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

- **Grado de limpieza;** El control es visual, culminando la preparación de superficie mediante chorro abrasivo o herramientas mecánicas se debe pasar aire comprimido seco y con una buena iluminación se deberá verificar el grado de limpieza que debe alcanzarse.

A continuación, en la Figura 48 se muestra equipos que se van a preparar con chorro abrasivo.

Figura 48

Celdas de flotación



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

A continuación, en la Figura 49 se muestra el grado de preparación de superficie alcanzado con observaciones mediante chorro abrasivo.

Figura 49

Preparación de superficie de una celda de flotacion rechazada



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

A continuación, en la Figura 50 se muestra el grado de preparación de superficie

sin observaciones.

Figura 50

Preparación de superficie del interior de una celda de flotación aceptada



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

- **Nivel de polvo;** la evaluación es visual, esta prueba consiste en pegar una cinta adhesiva de 200 mm de longitud sobre la superficie a evaluar, previamente se han de retirar y descartar las tres primeras vueltas de cinta adhesiva del rollo, tocando la parte adhesiva solo en los extremos se presiona firmemente unos 150 mm de la cinta recién cortada sobre la superficie a evaluar; se coloca el dedo pulgar en uno de los extremos de la cinta y se mueve tres veces en cada dirección a una velocidad constante, de tal forma que cada recorrido dure 5 a 6 segundos; terminado este procedimiento se retira la cinta y se coloca en un papel muestrario como se puede apreciar en la figura 58, se evalúa el nivel de polvo en la cinta por comparación visual (ISO 8502-3, 2017).

A continuación, en la Figura 51 se muestra el control de nivel de polvo en el interior de un tanque de almacenamiento.

Figura 51

Prueba de nivel de polvo en superficie



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

A continuación, en la Figura 52 se muestra la evaluación del nivel de polvo en un papel muestrario.

Figura 52

Colocación de la cinta transparente en el papel muestrario



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

A continuación, en la Figura 53 se muestra la determinación del nivel de polvo mediante el uso de una lupa y un patrón visual.

Figura 53

Determinacion del nivel de polvo

Elcometer 142 Dust Assessment
Evaluation de la quantité de poussière selon ISO 8502-3 - Staubabschätzung in Übereinstimmung mit ISO 8502-3

Name: Kenneth Castañeda Date: 22/04/23 Time: 11:00 am
Nom - Name: Date - Datum: Heure - Zeit

Company: LAHVE Location: _____
Société - Firma: Lieu - Ort

Dust quantity rating (Mean): 1 Dust particle size: (See table) 2
Quantité de poussière (moyenne) Taille des particules de poussière (voir tableau)
Staubmengeneinschätzung (Durchschnitt) Staubpartikelgröße (vgl. Tabelle)

Test 1

Test 2

Dust Quantity Rating Quantité de poussière - Staubmengeneinschätzung

1	2	3	4	5

Surface identification: 304-8-2511
Identification surface - Identifizierung der Oberfläche

Substrate backing used: ☒ Elcometer 142 (T14219454) ☐ Other _____
Description substrat de base utilisé Autre - Andere
Verwendetes Trägermaterial unter Klebeband

Nature of surface tested: _____
Nature de la surface testée - Beschaffenheit der getesteten Oberfläche

Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

- **Sales en superficie;** En la práctica comúnmente se realizan dos métodos de extracción de sales en superficie, esto va depender de la especificación del proyecto, aunque para tanques de almacenamientos de diésel o derivados de petróleo se suele usar la extracción por manga de latex; el método de parche bresle determina la cantidad sales totales y el método por manga de latex determina cantidad de iones cloruro.

El método de parche bresle consiste en colocar la zona adhesiva del parche sobre la superficie a evaluar, con una jeringa se introduce 3 ml de agua destilada a través de la espuma adhesiva con una inclinación de 30°; sin retirar la aguja se frota el parche durante un tiempo determinado por las partes interesadas, luego sin retirar la aguja se extrae la solución y se vuelve a introducir de tal forma que se genere un remolino, este procedimiento se realizara al menos 4 veces para luego retirar la solución y evaluar la conductividad de la solución (ISO 8502-6, 2006). A continuación se muestra la

ecuación para determinar las sales totales en la superficie, los resultados se expresan en mg/m^2 .

A continuación, en la Figura 54 se muestra la extracción de la solución extractora para el análisis de la cantidad de iones cloruro en superficie.

Figura 54

Extracción de sales por el metodo de parche bresle



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

A continuación, en la Figura 55 se muestra la conductividad del agua para extraer los iones cloruro

Figura 55

Conductividad de la solución extractora



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

A continuación, en la Figura 56 se muestra el valor de la conductividad de la muestra extraída.

Figura 56

Conductividad de la muestra



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

Se tiene lo siguiente ecuación para el cálculo de la conductividad en la superficie:

$$C_{superficie} = C_{muestra} - C_{agua} \dots\dots\dots 2$$

De los datos observados en las Figuras 62 y 61, se tiene lo siguiente:

$$C_{agua} = 0 \frac{\mu S}{cm}$$

$$C_{muestra} = 14 \frac{\mu S}{cm}$$

De la ecuación 2

$$C_{superficie} = 14 \frac{\mu S}{cm} - 0 \frac{\mu S}{cm}$$

$$C_{superficie} = 14 \frac{\mu S}{cm}$$

Para calcular la concentración en superficie, de acuerdo al apéndice B de la SSPC GUIA 15, se tiene la siguiente ecuación:

$$E_1 = 0.5 \times C \times \frac{V}{A} \dots\dots\dots 3$$

E_1 : concentración en superficie de sales totales en $\frac{\mu g}{cm^2}$

C : conductividad en $\frac{\mu S}{cm}$

V : volumen de solución extraída en ml

A : área en cm^2

Se tiene que la conductividad es $14 \frac{\mu S}{cm}$, se tiene un área de $12.5 cm^2$ y un volumen de $3 ml$; entonces de la ecuación 3:

$$E_1 = 0.5 \times 14 \frac{\mu S}{cm} \times \frac{3 ml}{12.5 cm^2}$$

$$E_1 = 16.8 \frac{mg}{m^2}$$

El método por manga de latex, el kit de chlor test cumple con la descripción de este método, consiste en agregar la solución del kit en la manga para luego colocar la zona adhesiva de la manga sobre la superficie a evaluar y durante 2 minutos se frota la solución sobre la superficie, finalizado se retira la solución en la manga de latex y se coloca el tubo

kitagawa, la prueba culminara cuando el algodón de la parte superior del tubo adquiriera un color ámbar, se retira el tubo de la solución y se registra el número sobre el tubo en la interfaz de cambio de color, cualquier color blanco por encima de la línea azul gruesa será el nivel de cloruro expresado en $\text{ppm} \leftrightarrow \mu\text{g}/\text{cm}^2$ (SSPC GUIA N°15, 2013).

A continuación, en la Figura 57 se muestra la manga latex para la extracción de sales solubles de la superficie.

Figura 57

Manga de latex



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

A continuación, en la Figura 58 se muestra el proceso de extracción de sales solubles mediante la manga latex.

Figura 58

Frotado de la manga de latex



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

A continuación, en la Figura 59 se muestra la determinación de la cantidad de iones cloruros de la solución extraída mediante el tubo Kitagawa.

Figura 59

Lectura en el tubo kitagawa



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

- **Perfil de rugosidad;** Existen dos métodos comúnmente usados, uno de ellos usa un equipo digital y el otro un equipo analógico. El uso de cualquier método dependerá de la especificación del proyecto o mutuo acuerdo de las partes interesadas.

El método B consiste en utilizar un equipo digital y medir el área a evaluar de tal forma que se realice 10 medidas distribuidas en toda el área para luego registrar el mayor valor; el método C consiste en utilizar una cinta adhesiva con una espuma en la parte central que al frotarla replica la rugosidad de la superficie, luego del frotado se retira la cinta y se coloca en un micrómetro, se registra el valor y se resta el espesor de la espuma (ASTM D4417, 2014).

A continuación, en la Figura 60 se muestra la cinta replica y el frota del mismo en la superficie rugosa.

Figura 60

Frotado de la cinta replica



Nota. tomado de la web <https://www.aplika.com.co/publicaciones/publicaciones/medicion-del-perfil-de-rugosidad-con-cinta-de-replica>

A continuación, en la Figura 61 se muestra el equipo para calcular el perfil de rugosidad mediante la cinta replica.

Figura 61

Lectura del perfil de rugosidad



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

3.4.2.2 Calculo y determinaciones de parámetros técnicos en la aplicación de recubrimientos orgánico.

- **Condiciones ambientales;** para esta prueba se suele realizar mediante el uso de un equipo digital o analógico, mediante estos equipos se determinara los parámetros necesarios para saber si se puede o no iniciar la aplicación; El equipo digital o también conocido como higrómetro nos muestra el porcentaje de humedad relativa,

temperatura del ambiente, temperatura de superficie, temperatura de rocío o la diferencia entre las temperaturas de superficie y rocío, este equipo se pone en contacto con la superficie a recubrir lo suficiente como para que se establezca los valores; el otro método utiliza equipos analógicos como el psicrómetro y un termómetro de superficie, el psicrómetro se gira manualmente durante 60 segundos para luego registrar los valores en los dos termómetros de mercurio que contiene el psicrómetro este procedimiento se repite por 20 segundos hasta que el valor de la temperatura de bulbo húmedo se mantenga constante, un termómetro registrara la temperatura de bulbo seco y el otro el húmedo con estos dos parámetros nos dirigimos a las cartas psicrométricas para hallar el valor el porcentaje de la humedad relativa y la temperatura de rocío.

A continuación, en la Figura 62 se muestra el proceso de control de condiciones ambientales mediante un psicrómetro.

Figura 62

Toma de condiciones ambientales



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

A continuación, en la Figura 63 se muestra la tabla para determinar el porcentaje de humedad relativa.

Figura 63

Tabla para el calculo de la humedad relativa y el punto rocío

Tabla Para el Cálculo de la Humedad Relativa y el Punto de Rocío										
Temp. Bulbo Seco (°C)	Depresión de la Temperatura de Bulbo Húmedo (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	86/3	72/0	58/-	45/-						
6	86/4	73/1	60/-	47/-						
7	87/5	74/3	61/0	49/-						
8	87/6	75/4	63/1	51/-						
9	88/7	76/5	64/3	53/0		Reproducido por NACE con permiso				
10	88/8	77/6	65/4	54/1	43/-					
11	88/9	77/7	66/5	56/3	46/-	36/-				
12	89/10	78/8	68/6	57/4	48/1	37/-				
13	89/11	79/9	69/7	59/5	49/3	39/0				
14	90/12	79/10	70/8	60/6	51/4	41/1	32/-			
15	90/13	80/12	71/10	62/8	52/5	43/3	35/0			
16	90/14	81/13	71/11	62/9	54/7	46/4	38/2			
17	90/15	81/14	72/12	64/10	55/8	47/6	39/3	32/0		
18	91/16	82/15	73/13	65/11	56/9	49/7	41/5	34/2		
19	91/17	82/16	74/14	65/12	58/10	50/8	43/6	35/3	28/0	
20	91/18	83/17	74/15	66/13	59/12	51/10	44/7	37/5	30/2	
21	91/19	83/18	75/16	67/15	60/13	52/11	46/9	39/6	32/4	
22	92/21	83/19	76/17	68/16	61/14	54/12	47/10	40/8	33/6	
23	92/22	84/20	76/19	69/17	62/15	55/13	48/11	42/9	36/7	
24	92/23	84/21	77/20	69/18	62/16	56/15	49/13	43/11	37/10	
25	92/24	84/22	77/21	70/19	63/17	57/16	50/14	44/12	38/10	33/8
26	92/25	85/23	78/22	71/20	64/19	58/17	51/15	46/13	40/11	35/9
27	92/26	85/24	78/23	71/21	65/20	59/18	52/16	47/15	41/13	36/11
28	93/27	85/25	79/24	72/22	65/21	59/19	53/18	48/16	42/14	37/12
29	93/28	86/26	79/25	72/23	66/22	60/20	55/19	49/17	43/15	38/13
30	93/29	86/27	79/26	73/25	67/23	61/22	56/20	50/18	44/17	39/15
31	93/30	86/28	80/27	73/26	67/24	62/23	57/21	51/20	45/18	41/16
32	93/31	86/29	80/28	74/27	68/25	62/24	57/22	52/21	46/19	42/17
33	93/32	87/30	80/29	74/28	69/26	63/25	58/23	52/22	47/20	43/19
34	93/33	87/31	81/30	75/29	69/27	64/26	58/25	53/23	48/21	44/20
35	93/34	87/32	81/31	75/30	70/30	65/28	60/27	55/24	50/23	45/21
36	94/35	87/33	81/32	76/31	70/30	65/28	60/27	55/25	51/24	46/22
37	94/36	87/35	82/33	76/32	70/31	65/29	60/28	55/27	51/25	46/23
38	94/37	88/36	82/34	76/33	71/32	66/30	61/29	56/28	51/26	47/25
39	94/38	88/37	82/35	77/34	71/33	66/31	61/30	57/29	52/27	48/26

Nota. Las casillas con doble número refieren a humedad relativa y punto de rocío respectivamente, tomado de Nace International (2014).

- **Mezcla de recubrimientos;** Se verifica que se cumpla con las recomendaciones del fabricante, esta información se encuentra en la hoja técnica del recubrimiento; se toman en cuenta la proporción de mezcla, tiempo de inducción y tiempo de vida. Para un mejor rendimiento del recubrimiento se estiman los consumos de pintura que se tendrán en una determinada área, esto se realiza antes de mezclar el recubrimiento; el rendimiento dependerá del espesor de película seca que se quiera obtener, el porcentaje de solidos en volumen la cual se obtiene de la hoja técnica del recubrimiento

y el porcentaje de pérdida la cual dependerá de la geometría de elemento a recubrir; el cálculo del rendimiento se realiza de la siguiente manera:

$$R = \frac{1.49 \times \%SV}{EPS} \times (1 - \%P) \dots\dots\dots 4$$

R: Rendimiento, en m²/gal.

%SV: Porcentaje de sólidos en volumen

EPS: Espesor de película seca, en mils. 1 mils <> 25 um

%P: Porcentaje de pérdida

Para un tanque de almacenamiento de diesel de 163MB, donde el área del techo exterior es aproximadamente 1963 m², se requirió aplicar un recubrimiento de tipo epoxico a 5 mils en película seca, el porcentaje de pérdida por experiencia en planchas suele ser aproximadamente 35% y de acuerdo a la hoja técnica del recubrimiento su porcentaje de sólidos en volumen es 85%.

De la ecuación 4

$$R = \frac{1.49 \times (85)}{5} \times (1 - 0.35)$$

$$R = 16.46 \frac{m^2}{gal}$$

$$Consumo_{pintura} = \frac{Area}{Rendimiento} \dots\dots\dots 5$$

De la ecuación 5

$$Consumo_{pintura} = \frac{1963m^2}{16.46 \frac{m^2}{gal}}$$

$$Consumo_{pintura} = 119.26 \text{ galones}$$

Por lo que para 1963 m² del techo exterior del tanque se consumirán 119.26 galones a 5 mils en película seca.

A continuación, en la Figura 64 se muestra la preparación de un recubrimiento

industrial mediante el uso de un agitador neumático.

Figura 64

Mezcla del recubrimiento



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

- **Medición de espesor de película húmeda;** se coloca el medidor de espesor de película húmeda tipo galleta, inmediatamente después de haber aplicado el recubrimiento, sobre la superficie plana para luego verificar visualmente que diente no se ha manchada y registrar ese valor; existe una relación entre el espesor de película húmeda y seca (ASTM D4414, 2013). A continuación, se muestra la relación entre el espesor de película húmeda y seca:

$$EPH = \frac{EPS \times (100 + \%D)}{\%SV} \dots\dots\dots 6$$

%SV: Porcentaje de solidos en volumen

EPH: Espesor de película húmeda

EPS: Espesor de película seca

%D: Porcentaje de dilución

A continuación, en la Figura 65 se muestra la herramienta para medir el espesor de película húmeda y estimar el espesor de película seca.

Figura 65

Medición de espesor de película húmeda



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

A continuación, en la Figura 66 se muestra la determinación de espesor de película húmeda.

Figura 66

Determinación del espesor de película húmeda



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

3.4.2.3 Pos-Aplicación de recubrimientos

- **Medición de espesor de película seca:** Se utiliza un equipo tipo II o electrónico mediante la cual en un área que no exceda 100 m² se realiza 15 spot, siendo un spot el promedio de tres mediciones, en 3 áreas de 10 m² determinadas al azar; para áreas que excedan los 100 m² se realizarán 5 spot por cada 100 m² adicionales; para dar conformidad a los espesores de película seca se tomara como referencia el nivel 3 de la SSPC-PA2 o de acuerdo a la especificación del proyecto.

A continuación, en la Figura 67 se muestra los niveles de restricción para la conformidad de espesores de película seca.

Figura 67

Niveles de restricción

NIVELES DE RESTRICCIÓN DE ESPESORES DE RECUBRIMIENTOS			
ESPESOR	LECTURA DE EQUIPO	MEDICIÓN DE SPOT	MEDICIÓN DE AREA
NIVEL 1			
Mínimo	No restringido	Según especificación	Según especificación
Maximo	No restringido	Según especificación	Según especificación
NIVEL 2			
Mínimo	No restringido	Según especificación	Según especificación
Maximo	No restringido	120% del máximo	Según especificación
NIVEL 3 (PREDETERMINADO)			
Mínimo	No restringido	80% del mínimo	Según especificación
Maximo	No restringido	120% del máximo	Según especificación
NIVEL 4			
Mínimo	No restringido	80% del mínimo	Según especificación
Maximo	No restringido	150% del máximo	Según especificación
NIVEL 5			
Mínimo	No restringido	80% del mínimo	Según especificación
Maximo	No restringido	No restringido	No restringido

Nota. Tomado de The Society for Protective Coating (2015)

A continuación, en la Figura 68 se muestra el método de medición de espesores de película seca en el interior de un tanque de almacenamiento.

Figura 68

Medición de espesor de película seca



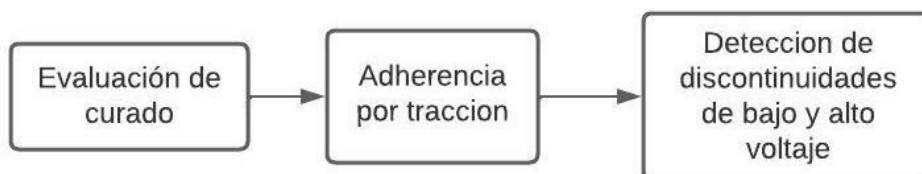
Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

3.4.2.4 Evaluación de la performance del sistema de recubrimientos mediante pruebas destructivas.

En la Figura 69 se muestra los controles de la actividad N°2

Figura 69

Etapas de control de la actividad N°2



Nota. Elaboración propia usando la web ludichart (2022)

- **Evaluación de curado;** se selecciona un área en la superficie a evaluar, con un agua o trapo se retira material suelto; se marca un área de prueba rectangular de 6 por 1 pulgada, se usa una tela la cual se satura con el solvente especificado y se frota la superficie en el área de prueba, realizando 25 pases dobles; se continua el frotado con la tela hasta que el sustrato metálico quede expuesto o se haya completado los 25

frotes dobles; los resultados se califican de acuerdo a lo especificado o indicado por el fabricante de recubrimiento (ASTM D5402, 2015).

A continuación, en la Figura 70 se muestra el ensayo para el evaluar el curado de un recubrimiento mediante el frotado con trapo humedecido con solvente.

Figura 70

Prueba de curado de un recubrimiento



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

A continuación, en la Figura 71 se muestra el grado de coloración en el trapo y mediante un patrón visual se determina el curado del recubrimiento

Figura 71

Resultado de la prueba de curado



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

- **Pruebas de adherencia por tracción;** para esta prueba se usa un equipo tipo V automático y dollies, con un pegamento se coloca el dolly en el recubrimiento a evaluar y pasada el tiempo de curado del pegamento se puede realizar la extracción del dolly; el equipo tipo V registrara la presión de arranque en Psi o Mpa , la cantidad de dollies a pegar será de acuerdo a la especificación del proyecto o a un acuerdo entre la partes interesadas; adicionalmente se analiza el tipo de falla y los porcentajes.

La nomenclatura para reportar el tipo falla es de la siguiente forma:

A: Sustrato metálico

B: 1ra capa de recubrimiento

C: 2 da capa de recubrimiento

D: 3ra capa de recubrimiento

Y: Pegamento

Z: Dolly

Donde

A/B = Falla adhesiva entre el sustrato metálico y la 1ra capa de recubrimiento

B/C = Falla adhesiva entre la 1ra y 2da capa de recubrimiento

C/D = Falla adhesiva entre la 2da y 3ra capa de recubrimiento

B = Falla cohesiva de la 1ra capa de recubrimiento

C = Falla cohesiva de la 2da capa de recubrimiento

D = Falla cohesiva de la 3ra capa de recubrimiento

Y = Falla de pegamento

A continuación, en la Figura 72 se muestra el ensayo de adherencia por tracción en una probeta median un equipo tipo V automático.

Figura 72

Prueba de adherencia por tracción en probeta

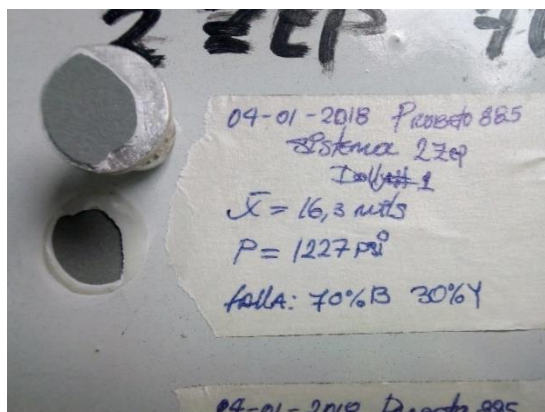


Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

A continuación, en la Figura 73 se muestra el rotulado luego del ensayo de adherencia por tracción y la descripción del tipo de falla.

Figura 73

Rotulado por tipo de falla



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

- **Detección de discontinuidades;** el equipo de alto voltaje debe ajustarse al voltaje adecuado para el espesor del recubrimiento que se está probando, al seleccionar el voltaje de inspección, el voltaje máximo para el recubrimiento aplicado se deberá obtener del fabricante del recubrimiento; el cable de tierra del terminal de salida del equipo de alto voltaje debe estar conectado a la superficie metálica y se debe garantizar un contacto eléctrico positivo; debe hacer contacto con el electrodo de

exploración en la superficie metálica para verificar que el probador esté correctamente conectado a tierra; esta prueba se realizará periódicamente durante las pruebas del recubrimiento; el electrodo de exploración se moverá sobre la superficie del recubrimiento seco a una velocidad de aproximadamente 0,3 m/s utilizando una sola pasadas; las discontinuidades que requieran reparación se identificarán con un marcador que sea compatible con el recubrimiento de reparación o uno que sea fácilmente removible; para recubrimientos de espesor menores a 20 mils se utiliza un cable de esponja de exploración la cual se conectara al terminal de salida y el cable de tierra se conectara en la superficie metálica; la esponja se satura con agua de grifo y se pondrá en contacto con un punto desnudo para verificar que este bien conectado, de forma similar al equipo de alto voltaje se pasara la esponja húmeda sobre el recubrimiento a evaluar con la misma velocidad en una pasada doble y se registrara las discontinuidades (NACE RP0188, 1999).

A continuación, en la Figura 74 se muestra el ensayo de detección de discontinuidades mediante un equipo de alto voltaje.

Figura 74

Prueba de discontinuidad de alto voltaje



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

3.4.3 Análisis e interpretación de resultados y aportes técnicos de la propuesta

Resultados y aportes técnico durante el control de calidad de la actividad N°1.

Durante los trabajos de preparación de superficie y aplicación de un sistema de recubrimiento orgánico en el interior de un tanque de almacenamiento de diésel de 163MB en una refinería del norte del país, se realizaban 5 controles de calidad en la etapa de preparación de superficie cuya muestra representada en 10 ensayos se detallan en las Tablas 9, 10, 11, 12 y 13.

Tabla 9

Concentración de iones cloruro en superficie

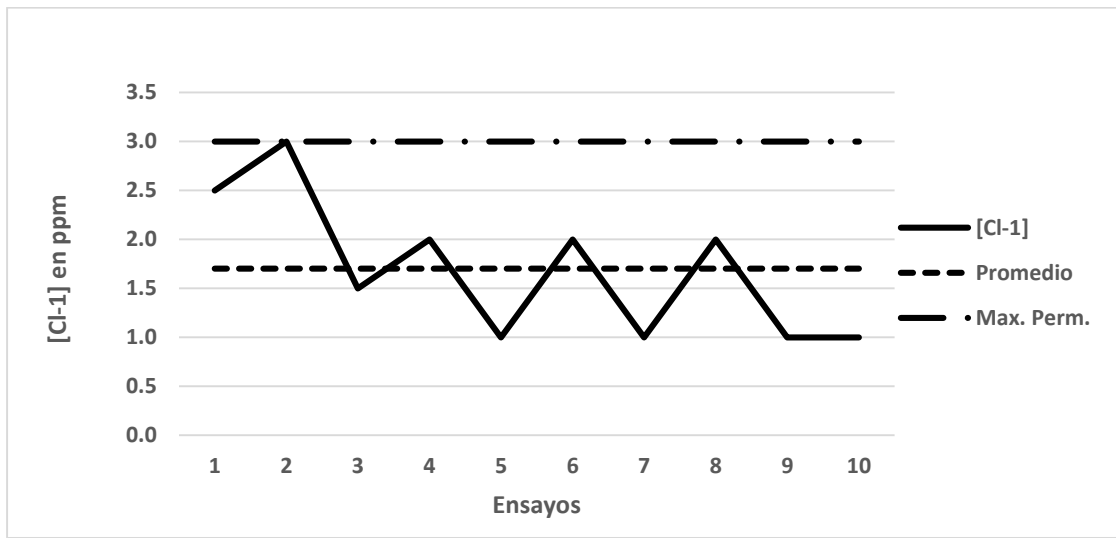
Fecha	Ensayos	Concentración de iones cloruro (ppm)	Promedio (ppm)	Máximo Permitido (ppm)
01/12/2022	1	2.5	1.7	3.0
02/12/2022	2	3.0	1.7	3.0
03/12/2022	3	1.5	1.7	3.0
04/12/2022	4	2.0	1.7	3.0
06/12/2022	5	1.0	1.7	3.0
08/12/2022	6	2.0	1.7	3.0
09/12/2022	7	1.0	1.7	3.0
21/12/2022	8	2.0	1.7	3.0
29/12/2022	9	1.0	1.7	3.0
30/12/2022	10	1.0	1.7	3.0

Nota. ppm: parte por millón, el límite máximo permitido fue establecido por el propietario de la instalación.

A continuación, en la Figura 75 se muestra la gráfica de control para concentraciones de iones cloruro en superficie.

Figura 75

Grafica del control de concentración de iones cloruro en superficie



Nota. Elaboración propia con datos de la Tabla 10.

Tabla 10

Rugosidad de la superficie metálica

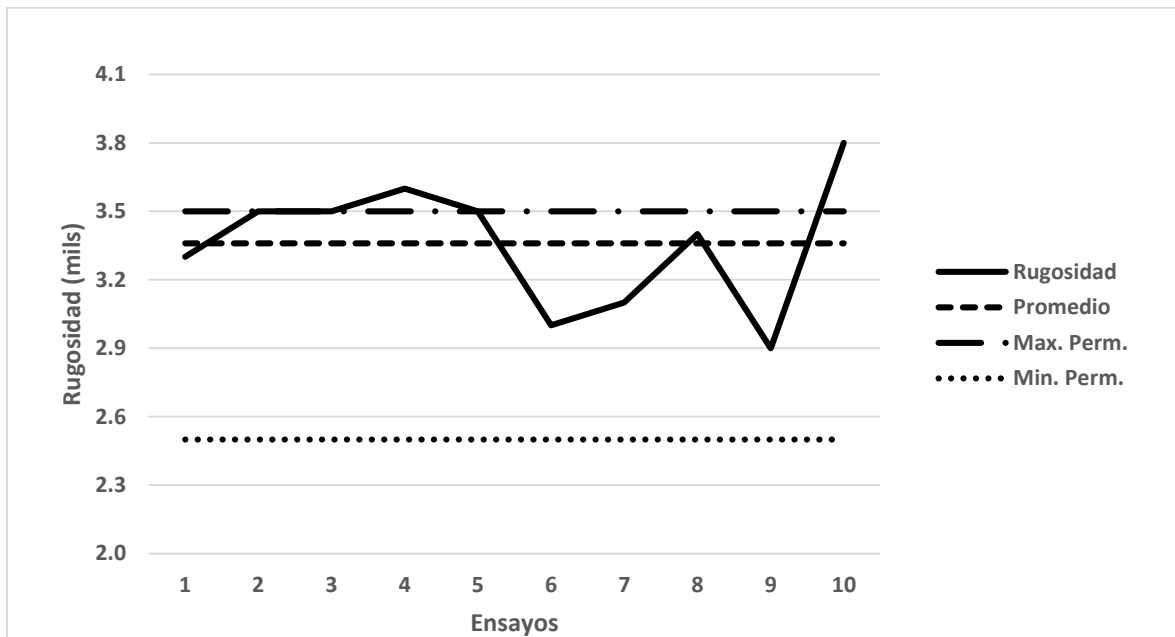
Fecha	Ensayos	Rugosidad (mils)	Promedio (mils)	Máximo Permitido (mils)	Mínimo Permitido (mils)
01/12/2022	1	3.3	3.4	3.5	2.5
02/12/2022	2	3.5	3.4	3.5	2.5
03/12/2022	3	3.5	3.4	3.5	2.5
04/12/2022	4	3.6	3.4	3.5	2.5
06/12/2022	5	3.5	3.4	3.5	2.5
08/12/2022	6	3.0	3.4	3.5	2.5
09/12/2022	7	3.1	3.4	3.5	2.5
21/12/2022	8	3.4	3.4	3.5	2.5
29/12/2022	9	2.9	3.4	3.5	2.5
30/12/2022	10	3.8	3.4	3.5	2.5

Nota. Un mils es equivalente a una milésima de pulgada, los límites máximo y mínimo permitido fue establecido por el propietario de la instalación.

A continuación, en la Figura 76 se muestra la gráfica de control para la rugosidad de la superficie metálica.

Figura 76

Grafica del control de la rugosidad de la superficie metálica



Nota. Elaboración propia con datos de la Tabla 10

Tabla 11

Nivel de polvo en la superficie metálica

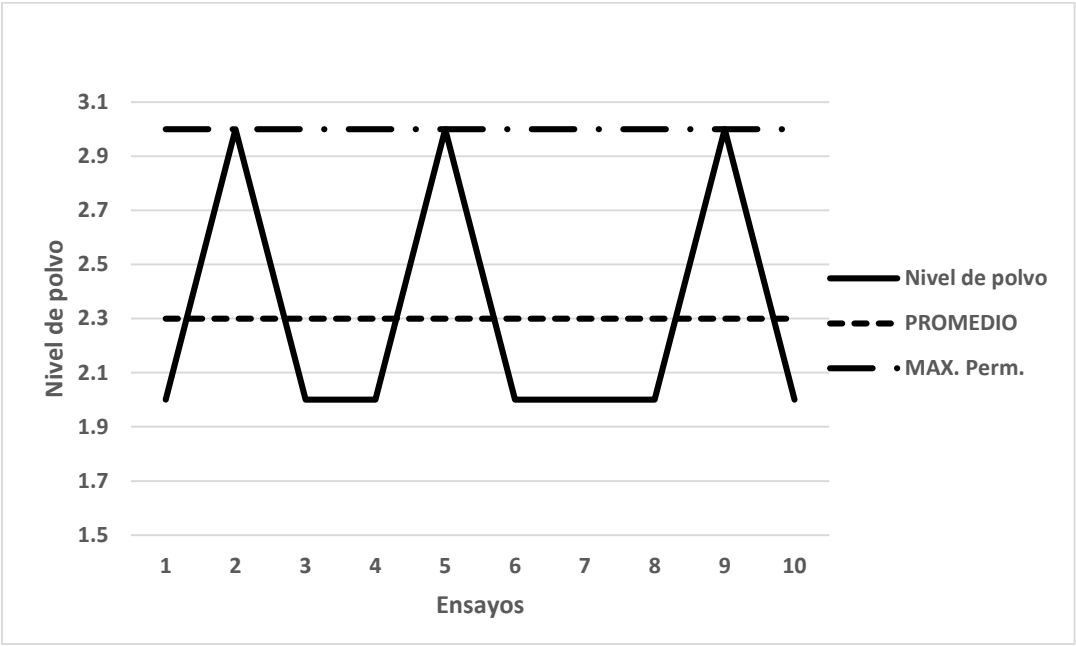
Fecha	Ensayos	Nivel de polvo	Promedio	Max. Perm.
01/12/2022	1	2	2.3	3
02/12/2022	2	3	2.3	3
03/12/2022	3	2	2.3	3
04/12/2022	4	2	2.3	3
06/12/2022	5	3	2.3	3
08/12/2022	6	2	2.3	3
09/12/2022	7	2	2.3	3
21/12/2022	8	2	2.3	3
29/12/2022	9	3	2.3	3
30/12/2022	10	2	2.3	3

Nota. Los grados de nivel de polvo fueron establecidos por un patrón visual, el límite máximo permitido fue establecido por el propietario de la instalación.

A continuación, en la Figura 77 se muestra la gráfica de control para el nivel de polvo en la superficie chorreada con abrasivo.

Figura 77

Grafica del control del nivel de polvo



Nota. Elaboración propia con datos de la Tabla 8

Tabla 12

Porcentaje de humedad relativa

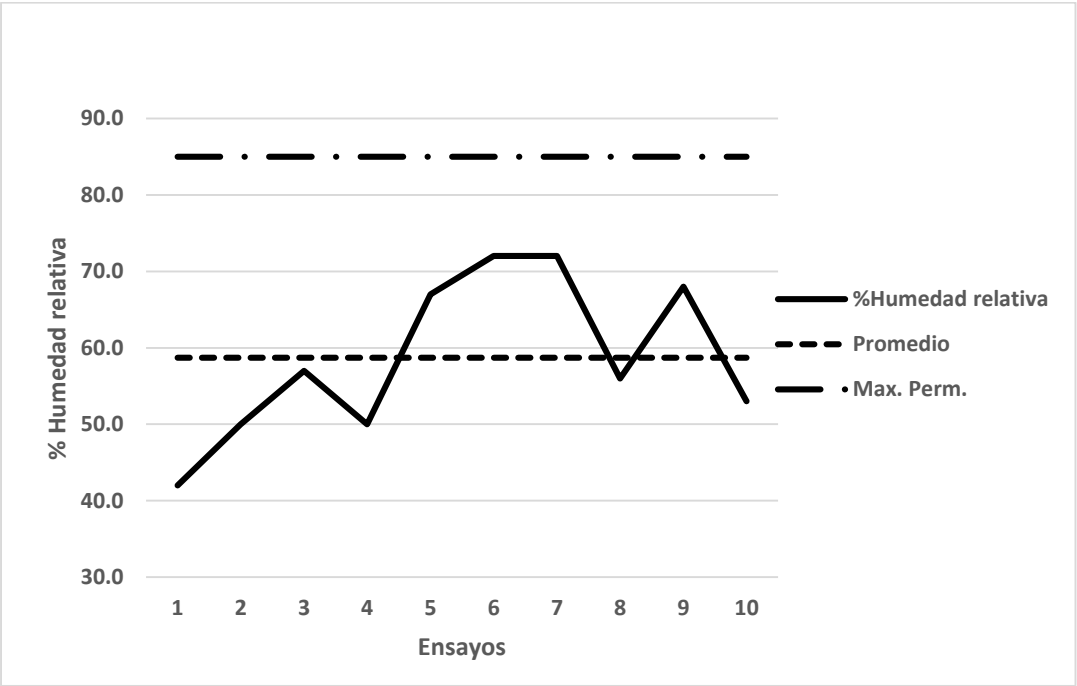
Fecha	Ensayos	Humedad relativa (%)	Promedio (%)	Máximo Permitido (%)
01/12/2022	1	42.0	58.7	85.0
02/12/2022	2	50.0	58.7	85.0
03/12/2022	3	57.0	58.7	85.0
04/12/2022	4	50.0	58.7	85.0
06/12/2022	5	67.0	58.7	85.0
08/12/2022	6	72.0	58.7	85.0
09/12/2022	7	72.0	58.7	85.0
21/12/2022	8	56.0	58.7	85.0
29/12/2022	9	68.0	58.7	85.0
30/12/2022	10	53.0	58.7	85.0

Nota. el límite máximo permitido fue establecido por el propietario de la instalación

A continuación, en la Figura 78 se muestra la gráfica de control para el porcentaje de humedad relativa previo a la aplicación del recubrimiento.

Figura 78

Grafica del control del porcentaje de humedad relativa



Nota. Elaboración propia con datos de la Tabla 9

Tabla 13

Gradiente de temperatura de superficie y punto rocío

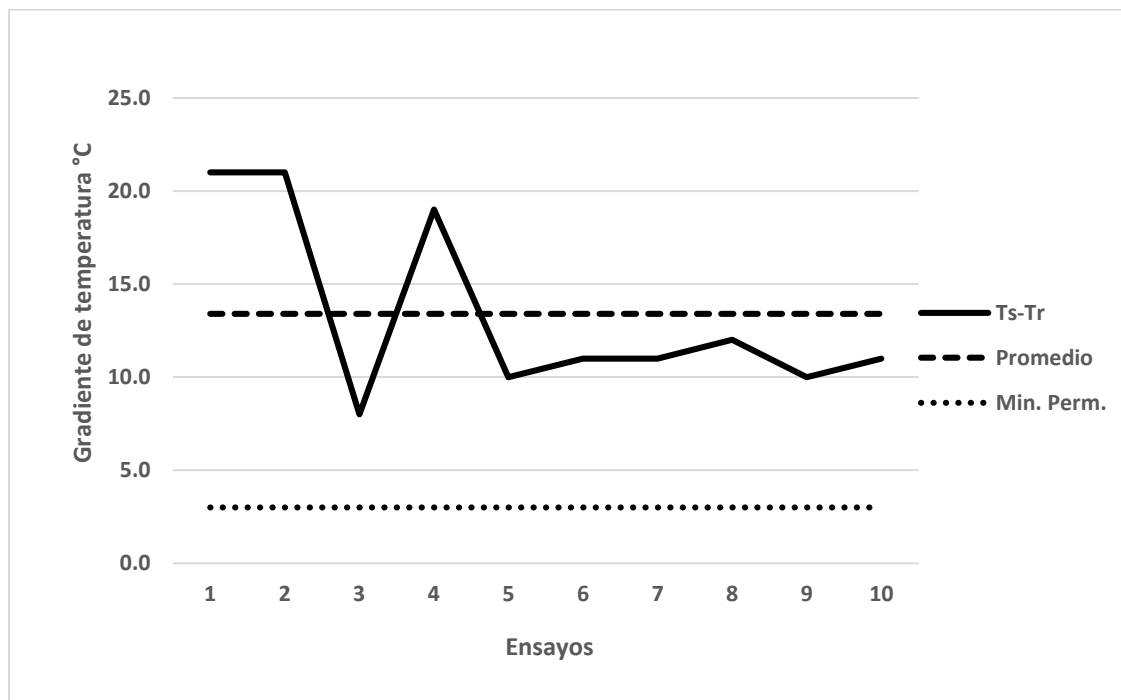
Fecha	Ensayos	Ts - Tr (°C)	Promedio (°C)	Mínimo Permitido (°C)
01/12/2022	1	21.0	13.4	3.0
02/12/2022	2	21.0	13.4	3.0
03/12/2022	3	8.0	13.4	3.0
04/12/2022	4	19.0	13.4	3.0
06/12/2022	5	10.0	13.4	3.0
08/12/2022	6	11.0	13.4	3.0
09/12/2022	7	11.0	13.4	3.0
21/12/2022	8	12.0	13.4	3.0
29/12/2022	9	10.0	13.4	3.0
30/12/2022	10	11.0	13.4	3.0

Nota. Ts representa a la temperatura de superficie y el Tr a la temperatura de rocío, el límite mínimo permitido fue establecido por el propietario de la instalación.

A continuación, en la Figura 78 se muestra la gráfica de control para la gradiente de temperatura entre la superficie y el punto rocío previo a la aplicación del recubrimiento.

Figura 79

Grafica del control de la gradiente de temperatura



Nota. Elaboración propia con datos de la Tabla 10.

Resultados y aportes técnico durante el control de calidad de la actividad

N°2. En esta actividad la descripción no corresponde al equipo tanque de almacenamiento de acero al carbono descrito en la actividad N°1, sino a trabajos de preparación de superficie y aplicación de sistemas de recubrimiento orgánico en tuberías instaladas en el rack de interconexiones y en unidades de proceso de una refinería del norte del país, se evaluó el desempeño de un sistema de recubrimiento mediante pruebas de adherencia por tracción, esta prueba se realiza en la etapa final de la aplicación de recubrimientos cuya muestra se representa en 10 probetas recubiertas con 2 capas de un epóxico curado a 20°C con aducto de poliamida a 10 mils de espesor de película seca; los datos recogidos se detallan en las Tablas 14.

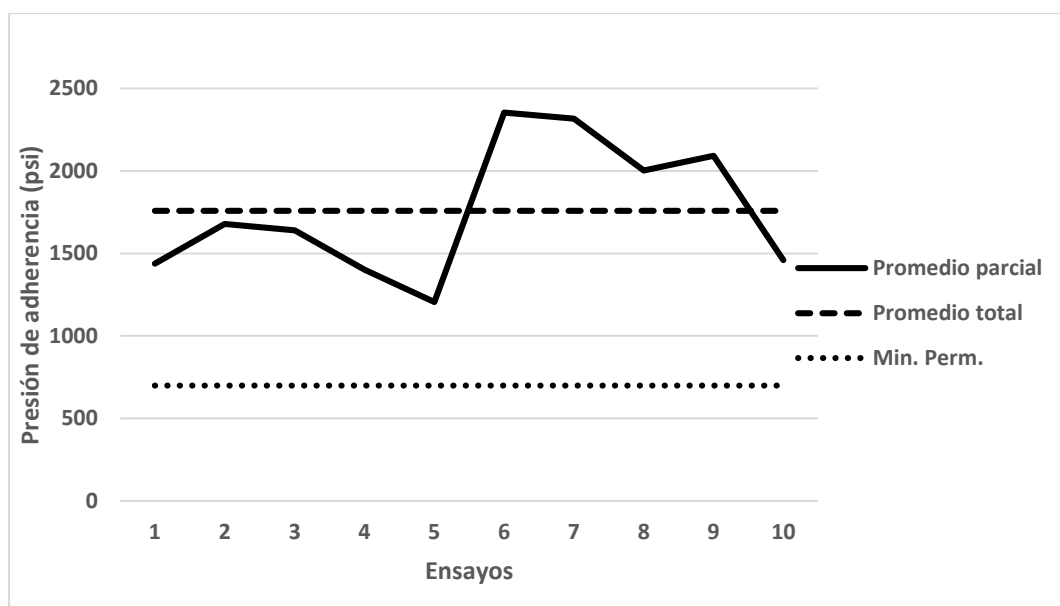
A continuación, en la Tabla 14 se muestran los datos obtenidos durante los trabajos en tuberías y estructuras de una refinería.

Tabla 14*Pruebas de adherencia por tracción*

Fecha	Probetas	Ensayos (Psi)			Promedio parcial (Psi)	Promedio total (Psi)	Mínimo Permitido (Psi)
14/02/2018	1	1681	1066	1568	1438	1758.9	700.0
14/02/2018	2	1888	1574	1576	1679	1758.9	700.0
14/02/2018	3	1976	1307	1639	1641	1758.9	700.0
17/02/2018	4	1203	1446	1553	1401	1758.9	700.0
19/02/2018	5	1244	1587	783	1205	1758.9	700.0
20/02/2018	6	2637	1991	2432	2353	1758.9	700.0
23/02/2018	7	2311	2489	2151	2317	1758.9	700.0
23/02/2018	8	2247	1605	2158	2003	1758.9	700.0
27/02/2018	9	2038	2119	2120	2092	1758.9	700.0
01/03/2018	10	1684	1451	1244	1460	1758.9	700.0

Nota. el límite mínimo permitido fue establecido por el propietario de la instalación.

A continuación, en la Figura 80 se muestra la gráfica de control para la adherencia por tracción.

Figura 80*Gráfica del control de adherencia por tracción*

Nota. Elaboración propia con datos de la Tabla 11.

Análisis de resultados:

- **Concentración de iones cloruro;** los resultados muestran que las concentraciones de iones cloruro están dentro del límite permitido, 3 ppm, pese a ello se hace necesario tomar medidas para reducir valores que se encuentren en el rango de 2 a 3 ppm de iones cloruro debido a que altos niveles de concentración habrá mayor riesgo de corrosión prematura debajo de la película de recubrimiento y además si se excede del límite máximo permitido el propietario de la instalación no permitirá realizar ninguna operación de pintado.
- **Rugosidad de la superficie metálica;** el promedio del perfil de rugosidad se encuentra dentro los límites permitidos, de 2.5 a 3.5 mils, con dos ensayos fuera de los límites, según Nace International (2011) “En general, cuanto mayor sea el perfil superficial, mejor será la adhesión del recubrimiento” (p.104). Según este autor los ensayos que están fuera del límite no perjudicaran la adhesión del recubrimiento, por lo que este parámetro no requiere alguna medida que reduzca sus resultados.
- **Nivel de polvo en la superficie metálica;** En promedio los niveles de polvo están dentro del límite máximo permitido, nivel 3, con 3 ensayos que lo alcanzan, según la ISO 8502-3 (2017) “el polvo en las superficies de acero chorreado con abrasivos puede reducir la adherencia de las capas orgánicas aplicadas seguidamente y al absorber humedad, podrían promover la corrosión de la superficie de acero chorreada con abrasivo”. De acuerdo a ello, se necesita mantener los niveles de polvo lo más bajo posible, por lo que los ensayos que alcanzan el límite máximo requieren tomar medidas para reducirlos teniendo también en cuenta que el propietario de la instalación no permitirá realizar ninguna operación de pintado si se excede dicho límite.
- **Porcentaje de humedad relativa y gradiente de temperatura de superficie y punto rocío;** los resultados de ambos controles están dentro de los límites permitidos por lo que las condiciones ambientales son óptimas para realizar cualquier operación de pintado, estos resultados son consecuencia de realizar los trabajos en espacios

cerrados y no en espacios abiertos donde el clima es muy cambiante.

- **Adherencia por tracción;** luego de culminar la etapa de aplicación de recubrimientos y esperar su tiempo de curado, se realizaron los ensayos de adherencia las cuales superaron ampliamente el mínimo aceptable, 700 psi, estos resultados son consecuencia de un adecuado y correcto control de calidad durante todo el proceso de aplicación del sistema de recubrimiento orgánico, por lo que se tendrá un buen comportamiento y/o desempeño del sistema durante su servicio.

3.4.4 Evaluaciones y decisiones tomadas

Las decisiones tomadas fueron vinculantes para la actividad N°1, ya que en la actividad N°2 los resultados obtenidos fueron satisfactorios, por lo que se presentaran las decisiones tomadas para la actividad N°1.

El caso del control del nivel de polvo y concentración de iones cloruro en superficie al ser estos dos factores los más importantes para el buen desempeño de un sistema de recubrimientos es necesario actuar sobre ellos. Durante la etapa de chorro abrasivo es inevitable la generación de polvo suelto sobre todo en ambientes cerrados como en el interior de un tanque de almacenamiento, debido a esto la acumulación de polvo en la superficie eleva los resultados en el control de nivel de polvo y también perjudica los resultados de los ensayos para la determinación de concentración de iones cloruro. Por lo tanto, mantener bajos niveles de polvo en la superficie ayudará a tener baja concentración de iones cloruros en superficie; según Nace Interntional (2011) “Se ha estimado que hasta un 75% de todas las fallas de recubrimiento prematura son causadas, ya sea total o parcialmente, por una insuficiente o inadecuada preparación de la superficie” (p.2). De acuerdo ello las medidas tomadas para reducir los niveles de polvo y concentración de iones cloruros que reducirán los riesgos de falla prematura se listan a continuación:

- Colocar una cantidad adecuada de extractores para una mayor eficiencia de extracción de polvo a razón de que durante los trabajos de preparación de superficie en el interior del tanque de almacenamiento se genera gran cantidad de polvo suelto por lo que ello

impactaba en los resultados de los controles del nivel de polvo en la superficie metálica y en la concentración de iones cloruros en la superficie metálica.

- Aumentar la eficiencia de la limpieza del abrasivo reutilizado utilizando un equipo limpiador de abrasivo. Inicialmente el abrasivo solo se pasaba por el equipo una sola vez y se decidió realizar dos pasadas antes de volver a utilizarlo; el proyectar abrasivo contaminado en la superficie metálica generaba que los resultados obtenidos en el control de concentración de iones cloruro en la superficie metálica aumentarían.
- Usar aspiradoras industriales para la superficie metálica luego de que el polvo suspendido se haya extraído considerablemente; inicialmente se proyectaba aire comprimido con una manguera para retirar el polvo impregnado en la superficie metálica pero solo generaba más polvo suelto.
- El uso del chorro abrasivo robótico, mediante este equipo el proceso de preparación de superficie metálica es completamente hermético, es decir, cero emisiones de polvo.

3.4.5 Informes o reportes presentados como resultados de las actividades realizadas

A continuación, se presentan documentos y/o imágenes de las actividades 1 y 2.

Actividad N°1. Control, medición y cuantificación de parámetros técnicos en la preparación de una superficie y aplicación de recubrimientos orgánico.

En la Figura 81, 82, 83, 84, 85, 86 y 87 se presentan los documentos e imágenes para la actividad N°1

Figura 81

Reporte de presencia de aceite y agua en aire comprimido

 Julio Crespo Perú, s.a.s.		REPORTE DE PRESENCIA DE ACEITE Y AGUA EN AIRE COMPRIMIDO		Fecha: 27-10-2020 Página: 1 de 1	
PROYECTO Nro: MODERNIZACIÓN REFINERÍA TALARA		INFORME Nro.: [REDACTED]			
CLIENTE: TECNICAS REUNIDAS		JULIO CRESPO PERÚ SAC			
ÁREA: FCK-HORNO		CONTRATO No.: [REDACTED]			
DATOS DEL EQUIPO					
FECHA DE PRUEBA: 10/03/2022		EQUIPO: COMPRESOR			
MODELO: ATLAS COPCO		CAPACIDAD: 925 PSI			
CODIGO: CO-403		-			
DETECCIÓN DE AGUA / ACEITE EN AIRE COMPRIMIDO					
DATOS DE LA PRUEBA					
FECHA DE PRUEBA: 10/03/2022		AIRE SUMINISTRADO POR COMPRESOR:			
MATERIAL: PAPEL BLANCO		APTO ☒		NO APTO ☐	
NORMA DE REFERENCIA: ASTM D 4285					
OBSERVACIONES: S/O					
CONCLUSIONES: No se evidencia presencia de contaminantes de aceite y agua en el aire a la salida de la compresora.					
REGISTRO FOTOGRAFICO:					
					
FOTO N°1 - Proyección del aire comprimido					
					
FOTO N°2 - Sin evidencia de contaminantes					
QA/QC JULIO CRESPO PERÚ SAC		CONSTRUCCIÓN JULIO CRESPO PERÚ SAC		CLIENTE	
NOMBRE: [REDACTED]		NOMBRE: [REDACTED]		NOMBRE: [REDACTED]	
FIRMA: Ronald Antonio Corimayhua Luque Inspector de Calidad NACE 1 079834		FIRMA: [REDACTED]		FIRMA: [REDACTED]	
FECHA: 13-04-2022		FECHA: 13-04-2022		FECHA: 13-04-2022	

Nota. Documento interno de Julio Crespo Perú.

Figura 82

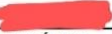
Reporte de prueba de perfil de anclaje

 Julio Crespo Perú, s.a.c.	REPORTE DE PRUEBAS DE PERFIL DE ANCLAJE (RUGOSIDAD)		
			Fecha: 27-10-2020 Página: 1 de 1
PROYECTO Nro: MODERNIZACIÓN REFINERÍA TALARA		INFORME Nro: 	
CLIENTE: TECNICAS REUNIDAS		JULIO CRESPO PERÚ S.A.C.	
ÁREA: FCK-HORNO		CONTRATO Nro: 	
MEDICIÓN DEL PERFIL DE ANCLAJE (RUGOSIDAD)			
DATOS DE LA PRUEBA			
FECHA DE PRUEBA: 10/03/2022		PREPARACIÓN DE SUPERFICIE: SSPC SP10	
TIPO DE ABRASIVO: ARENA		ENSAYO N°1: 3.5 mils	
EQUIPO: RUGOSIMETRO (TESTEX), MODELO: 7326STX1, SERIE: 216756		ENSAYO N°2: 3.4 mils	
METODO: CINTA REPLICA		ENSAYO N°3: 3.6 mils	
NORMA DE REFERENCIA: ASTM D 4417-C		RESULTADO (PROM): 3.5 mils	
OBSERVACIONES: S/O			
CONCLUSIONES: 1.- Los valores del perfil de anclaje (rugosidad) obtenidos se encuentran por encima del valor mínimo admitido (1.6 mils), de acuerdo al procedimiento de pintado 02070-GEN-QUA-JCP-02-303. 2.- Los valores obtenidos no afectan el performance del sistema de recubrimientos, garantizando la buena adherencia sobre la superficie.			
REGISTRO FOTOGRAFICO:			
 FOTO N°1 - Medición de la rugosidad, ensayo N°1 (3.5 mils)  FOTO N°2 - Medición de la rugosidad, ensayo N°1 (3.4 mils)  FOTO N°3 - Medición de la rugosidad, ensayo N°1 (3.6 mils)  FOTO N°4 - Frotado de la cinta replica			
QA/QC JULIO CRESPO PERÚ SAC		CONSTRUCCIÓN JULIO CRESPO PERÚ SAC	
		CLIENTE	

Nota. Documento interno de Julio Crespo Perú.

Figura 83

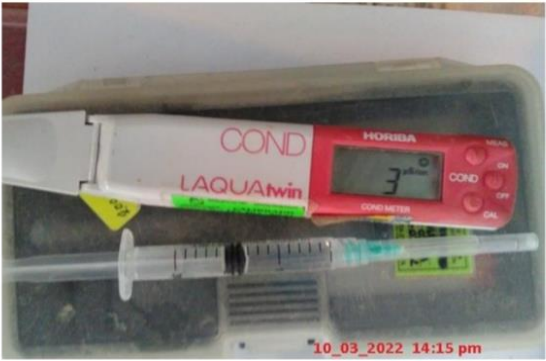
Reporte de medición de conductividad de abrasivos

	REPORTE DE MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD DE ABRASIVOS		
			Fecha: 27-10-2020
			Página: 1 de 1
PROYECTO Nro: MODERNIZACIÓN REFINERÍA TALARA		INFORME Nro.: 	
CLIENTE: TÉCNICAS REUNIDAS		JULIO CRESPO PERÚ SAC	
ÁREA: FCK- HORNO		CONTRATO No.: 	
ANÁLISIS DE CONDUCTIVIDAD EN ABRASIVOS METÁLICOS Y NO METÁLICOS			
DATOS DE LA PRUEBA			
FECHA DE PRUEBA: 10/03/2022		VALOR MÁXIMO: 357 $\mu\text{S}/\text{cm}$	
TIPO DE ABRASIVO: ARENA		VALOR MÍNIMO: N/A	
EQUIPO: HORIBA (LAQUATWIN B-711), SERIE: ED6HO106		NORMA DE REFERENCIA: ASTM D4940/SSPC-AB1	
OBSERVACIONES: El resultado final se obtiene: Valor de conductividad de la muestra (abrasivo+agua) - Valor de conductividad del agua destilada Valor final obtenido= 360 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - 3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Valor final obtenido= 357 $\mu\text{S}/\text{cm}$			
CONCLUSIONES: 1.- El valor obtenido se encuentra dentro del máximo permitido (1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), según la norma ASTM D 4940.			
REGISTRO FOTOGRAFICO:			
			
FOTO N°1 - Valor obtenido del agua destilada (3 $\mu\text{S}/\text{cm}$)		FOTO N°2 - Filtrado de la muestra	
			
FOTO N°3 - Valor obtenido de la muestra 360 $\mu\text{S}/\text{cm}$			
QA/QC JULIO CRESPO PERÚ SAC		CONSTRUCCIÓN JULIO CRESPO PERÚ SAC	
		CLIENTE	

Nota. Documento interno de Julio Crespo Perú.

Figura 84

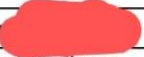
Reporte de medición de sales en superficie

		REPORTE DE MEDICIÓN DE SALES EN SUPERFICIE			
				Fecha: 27-10-2020 Página: 1 de 1	
PROYECTO Nro: MODERNIZACIÓN REFINERÍA TALARA			INFORME Nro:		
CLIENTE: TECNICAS REUNIDAS			JULIO CRESPO PERU SAC		
ÁREA: FCK-HORNO			CONTRATO Nro:		
MEDICIÓN DE SALES CLORURO EN SUPERFICIE					
DATOS DE LA PRUEBA					
FECHA DE PRUEBA: 10/03/2022			VALOR OBTENIDO: 9 $\mu\text{S}/\text{cm}$		
MÉTODO: PARCHE BRESLE			ADMISIBILIDAD:		
EQUIPO: HORIBA (LAQUAtwin B-711), SERIE: ED6HO106			20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ATMOSFERICO)		
NORMA DE REFERENCIA: SSPC GUIA 15 / ISO 8502-6					
OBSERVACIONES: El resultado final se obtiene: Valor de conductividad de la muestra (solución de sales extraídas) - Valor de conductividad del agua destilada Valor final obtenido= 12 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - 3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Valor final obtenido= 9 $\mu\text{S}/\text{cm}$					
CONCLUSIONES: El valor obtenido se encuentra por debajo del valor de admisibilidad (20 $\mu\text{S}/\text{cm}$).					
REGISTRO FOTOGRAFICO:					
					
FOTO N°1 - Extracción de sales en la superficie- Metodo Parche Bresle		FOTO N°2 - Valor obtenido para el agua destilada 3 $\mu\text{S}/\text{cm}$			
					
FOTO N°3 - Valor obtenido para la solución extraída de sales solubles en la superficie 12 $\mu\text{S}/\text{cm}$					
QA/QC JULIO CRESPO PERÚ SAC		CONSTRUCCIÓN JULIO CRESPO PERÚ SAC		CLIENTE	

Nota. Documento interno de Julio Crespo Perú.

Figura 85

Reporte de prueba de verificación de polvo en la superficie

	REPORTE DE PRUEBA DE VERIFICACIÓN DE POLVO EN LA SUPERFICIE		
			Fecha: 24-02-2022
PROYECTO Nro: MODERNIZACION REFINERIA TALARA		INFORME Nro: 	
CLIENTE: TECNICAS REUNIDAS		JULIO CRESPO PERÚ SAC	
ÁREA: FCK-HORNO		CONTRATO Nro: 	
VERIFICACIÓN DE POLVO EN LA SUPERFICIE			
DATOS DE LA PRUEBA			
FECHA DE PRUEBA: 07/03/2022		CONDICIONES AMBIENTALES:	
EQUIPO :		ACEPTABILIDAD: 1 o 2	
NORMA DE REFERENCIA: ISO 8502-3		NÚMERO DE ENSAYOS: 2	
CONCLUSIONES: 1. Según la ISO 8502-3, el nivel de polvo en las dos ensayos realizados fue 2, así mismo el tamaño de partícula es 3.			
REGISTRO FOTOGRAFICO:			
			
Foto N°1: Pegado de la cinta de polvo.			
QA/QC JULIO CRESPO PERÚ SAC		CONSTRUCCIÓN JULIO CRESPO PERÚ SAC	
		CLIENTE	

Nota. Documento interno de Julio Crespo Perú.

A continuación, en la Figura 86 se muestra la medición de espesores seco en el techo de un tanque de almacenamiento.

Figura 86

Medición de espesores en película seca del recubrimiento



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

A continuación, en la Figura 87 se muestra la inspección visual para detectar defectos de aplicación de recubrimiento.

Figura 87

Evaluación visual del recubrimiento



Nota. Tomada durante la actividad laboral del bachiller.

Actividad N°2 Evaluación de la performance del sistema de recubrimientos mediante pruebas destructivas, esta actividad no corresponde al caso de la actividad N°1. En las Figura 88 y 89 se muestran los documentos que sustentan la actividad N°2.

Figura 88

Informe de ensayo de adherencia por tracción

 		INFORME DE ENSAYO DE ADHERENCIA POR TRACCIÓN (PULL OFF TEST)		No: 02070-CON-COA-03 Rev.: 00 Fecha: 09/07/2015 Página: 1 de 1																																						
PROYECTO Nro: 02070		INFORME Nro.:																																								
EMPLEADOR: PETROPERÚ		SUBCONTRATISTA: JULIO CRESPO PERU S.A.C																																								
SISTEMA Nro.:		SUBCONTRATO Nro: 02070-42612																																								
SUBSISTEMA Nro.:		CÓDIGO DE BARRAS:																																								
AREA:		UNIDAD: FCK																																								
Este certificado no exime al SUBCONTRATISTA de los Términos del Contrato, Especificaciones de Proyecto o Procedimientos de Calidad pero confirma que todas estas Pruebas se han realizado según ellos.																																										
NATURALEZA DE LA FRACTURA: INSPECCIONAR VISUALMENTE LA SUPERFICIE PARA ESTABLECER LA NATURALEZA Y EVALUAR EL TIPO DE FRACTURA DE ACUERDO A LO SIGUIENTE: <table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td>A</td><td>FALLO COHESIVO DEL SUBSTRATO</td></tr> <tr><td>A/B</td><td>FALLO ADHESIVO ENTRE EL SUBSTRATO Y LA PRIMERA CAPA</td></tr> <tr><td>B</td><td>FALLO COHESIVO DE LA PRIMERA CAPA</td></tr> <tr><td>B/C</td><td>FALLO ADHESIVO ENTRE LA PRIMERA Y SEGUNDA CAPA</td></tr> <tr><td>-/Y</td><td>FALLO ADHESIVO ENTRE LA CAPA FINAL Y EL PEGAMENTO</td></tr> <tr><td>Y</td><td>FALLO COHESIVO DEL PEGAMENTO</td></tr> <tr><td>Y/Z</td><td>FALLO ADHESIVO ENTRE EL PEGAMENTO Y ACCESORIO DE TRACCIÓN</td></tr> </table> ESTIMACION DEL AREA DE FRACTURA (COMO UN PORCENTAJE MAS CERCANO AL 10%) PARA CADA TIPO DE FRACTURA <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>AREA: FCK</td> <td>CAPA: FINAL</td> </tr> <tr> <td>FECHA: 25/06/2022</td> <td>EQUIPO Nro.: POSITEST TIPO V AUTOMATICO</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>ENSAYO N°</th> <th>VALOR (Mpa)</th> <th>UBICACIÓN DE LA MEDIDA</th> <th>RESULTADO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>13.36 (1938 PSI)</td> <td>HORNO 102</td> <td>100% "Y"</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>16.76 (2431 PSI)</td> <td>HORNO 102</td> <td>100% "Y"</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>15.73 (2281 PSI)</td> <td>HORNO 102</td> <td>100% "Y"</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table> <i>Nota: La prueba se realizo en una ubicación cercana al area ignifugada.</i>					A	FALLO COHESIVO DEL SUBSTRATO	A/B	FALLO ADHESIVO ENTRE EL SUBSTRATO Y LA PRIMERA CAPA	B	FALLO COHESIVO DE LA PRIMERA CAPA	B/C	FALLO ADHESIVO ENTRE LA PRIMERA Y SEGUNDA CAPA	-/Y	FALLO ADHESIVO ENTRE LA CAPA FINAL Y EL PEGAMENTO	Y	FALLO COHESIVO DEL PEGAMENTO	Y/Z	FALLO ADHESIVO ENTRE EL PEGAMENTO Y ACCESORIO DE TRACCIÓN	AREA: FCK	CAPA: FINAL	FECHA: 25/06/2022	EQUIPO Nro.: POSITEST TIPO V AUTOMATICO	ENSAYO N°	VALOR (Mpa)	UBICACIÓN DE LA MEDIDA	RESULTADO	1	13.36 (1938 PSI)	HORNO 102	100% "Y"	2	16.76 (2431 PSI)	HORNO 102	100% "Y"	3	15.73 (2281 PSI)	HORNO 102	100% "Y"				
A	FALLO COHESIVO DEL SUBSTRATO																																									
A/B	FALLO ADHESIVO ENTRE EL SUBSTRATO Y LA PRIMERA CAPA																																									
B	FALLO COHESIVO DE LA PRIMERA CAPA																																									
B/C	FALLO ADHESIVO ENTRE LA PRIMERA Y SEGUNDA CAPA																																									
-/Y	FALLO ADHESIVO ENTRE LA CAPA FINAL Y EL PEGAMENTO																																									
Y	FALLO COHESIVO DEL PEGAMENTO																																									
Y/Z	FALLO ADHESIVO ENTRE EL PEGAMENTO Y ACCESORIO DE TRACCIÓN																																									
AREA: FCK	CAPA: FINAL																																									
FECHA: 25/06/2022	EQUIPO Nro.: POSITEST TIPO V AUTOMATICO																																									
ENSAYO N°	VALOR (Mpa)	UBICACIÓN DE LA MEDIDA	RESULTADO																																							
1	13.36 (1938 PSI)	HORNO 102	100% "Y"																																							
2	16.76 (2431 PSI)	HORNO 102	100% "Y"																																							
3	15.73 (2281 PSI)	HORNO 102	100% "Y"																																							
SUBCONTRATISTA		CONTRATISTA (TRT)		EMPLEADOR o CPT																																						
NOMBRE	NOMBRE	NOMBRE		NOMBRE																																						
FIRMA	FIRMA	FIRMA		FIRMA																																						
FECHA	FECHA	FECHA		FECHA																																						

Nota. Documento interno de Julio Crespo Perú.

Figura 89

Informe de ensayo de adherencia por tracción

	INFORME DE ENSAYO DE ADHERENCIA POR TRACCIÓN (PULL OFF TEST)	No: 02070-CON-COA-03 Rev.: 00 Fecha: 09/07/2015 Página: 1 de 1
REGISTRO FOTOGRAFICO		
ENSAYO N° 1		
		
ENSAYO N° 2		
		
ENSAYO N° 3		
		
SUBCONTRATISTA NOMBRE FIRMA FECHA	CONTRATISTA (TRT) NOMBRE FIRMA FECHA	EMPLEADOR o CPT NOMBRE FIRMA FECHA

Nota. Documento interno de Julio Crespo Perú.

Capítulo IV. Discusión de resultados e implicancias

4.1 Contribuciones al desarrollo de la empresa

Durante los trabajos de preparación de superficie y aplicación de un sistema de recubrimiento orgánico en el interior de un tanque de almacenamiento de diésel de 163MB en una refinería del norte del país, durante el desarrollo de las actividades el cliente encontraba muchas observaciones en la etapa de preparación de superficie y durante la inspección visual del sistema de recubrimiento orgánico. Las entregas parciales del servicio se rechazaban producto de las observaciones; como supervisor de calidad los tiempos para una correcta inspección de cada etapa eran muy cortas debido a la premura por entregar los trabajos. Frente a estas situaciones se solicitó una reunión con el área de producción y planeamiento, en conjunto se listaron las causas de estos rechazos y se estableció no continuar con la siguiente etapa sin antes el supervisor de calidad haya realizado una correcta inspección; asimismo, se acordó con planeamiento incluir en el cronograma de entrega de trabajos los tiempos que se necesitan para realizar una correcta inspección.

Este método de trabajo se convirtió en nuestro estándar para entregar un buen servicio, gracias a ello la frecuencia de rechazos se redujeron y la confianza del cliente se recuperó.

4.2 Impacto de la propuesta (económico, tecnológico, ambiental)

A nivel económico, eliminar las fallas de recubrimientos mediante controles de calidad adecuadas durante el proceso de instalación de un sistema de recubrimiento reducirán los gastos económicos generados por las reparaciones y mantenimientos no programados. Métodos de proyección de abrasivos para la preparación de una superficie metálica con un adecuado sistema de contención de polvo, como el granallado robótico, la cual permite realizar el proceso de preparación de superficie metálica con cero emisiones de polvo lo cual ecológicamente es favorable; así mismo, este granallado robótico tiene altas tasas de producción que suelen ser entre los 45 y 75 m²/hora frente a un operador manual que tiene tasas de 10 m²/hora, de esta forma también se reduce los niveles de

polvo en la superficie y así mismo mejorar los niveles de iones cloruro en superficie.

Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Se estableció los controles de calidad necesarios para reducir las fallas de recubrimientos orgánicos en equipos de proceso.
- Se evaluó y cuantifico los parámetros técnicos durante la preparación de superficie y la aplicación de recubrimientos orgánicos en equipos de procesos, siendo la concentración de iones cloruros y el nivel de polvo en la superficie los más importantes.
- Se determinó el desempeño de un sistema de recubrimiento mediante ensayos de adherencia por tracción, lo cual nos permite asegurar una larga vida útil durante su servicio.
- Las decisiones operativas para el proceso de instalación de un recubrimiento orgánico en el interior de un tanque de almacenamiento tienen que incluir los tiempos necesarios para realizar un adecuado y correcto control de calidad durante todo el proceso, asegurando de esta forma un tiempo prolongado de vida en servicio del sistema de recubrimiento.

5.2 Recomendaciones

- Para la preparación de superficie en el interior de equipos de procesos debe usarse abrasivos de un solo golpe, es decir, abrasivos que no se reutilicen.
- Realizar un control semanal de sales en el abrasivo, cuando el abrasivo sea reutilizable.
- Para equipos de proceso de gran tamaño, la preparación de superficie metálica debe realizarse durante el turno nocturno y la aplicación de recubrimientos durante la mañana.
- Para la contención de polvo durante la preparación de superficie metálica en equipos de proceso utilizar robots de chorro abrasivo o granallado robótico, esto ya se está utilizando en el Perú.

- La aplicación de recubrimientos en superficies de acero es uno de varios métodos de protección contra la corrosión; este método tiene una amplia literatura y campos por investigar, teniendo en cuenta que existen mucho compañeros de nuestra facultad que dedican su vida profesional a este rubro de la industria debe haber mayor alcance en la malla curricular de este tema, dado que durante mi etapa como estudiante en mi facultad el tema en cuestión se tocó en el curso de corrosión de manera corta.

Capítulo VI. Referencias bibliográficas

- American Society for Testing and Materials. (2012). *Standard Test Method for Indicating Oil or Water in Compressed Air*.
- American Society for Testing and Materials. (2013). *Standard Practice for Measurement of Wet Film Thickness by Notch Gages*.
- American Society for Testing and Materials. (2014). *Standard Test Methods for Field Measurement of Surface Profile of Blast Cleaned Steel*.
- American Society for Testing and Materials. (2015). *Standard Test Method for Conductimetric Analysis of Water Soluble Ionic Contamination of Blast Cleaning Abrasives*.
- Da costa, C., Poyares, Y., Martins, M., y Pires, A. (2016). Efectos de la preparación de superficie del acero al carbono en la formacion de productos de corrosion bajo pintura epoxica. *INTERCORR* 2016. Buzios.
https://intercorr.com.br/anais/2016/INTERCORR2016_246.pdf
- Giudice, C., y Pereyra, A. (2009). *Tecnologia de pinturas y recubrimientos*. Buenos Aires, Argentina: Edutecne.
<https://doi.org/https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/151137?show=full>
- International Organization for Standardization. (2006). *Extraction of water soluble contaminants for analysis*.
- International Organization for Standardization. (2017). *Assessment of dust on steel surfaces prepared for painting*.
- Jarrin, A. (2012). *Estudio de procesos de pintura de alto desempeño y su incidencia en la calidad de los equipos petroleros de superficie de la empresa Saurus Ecuador Cia. Ltda*. Universidad tecnica de ambato, Ambato-Ecuador.
- Julio Crespo Peru. (2022). Gestion de impactos ambientales.
- Julio Crespo Perú. (2022). Mision, vision y valores. Lima, Perú.
- Julio Crespo Perú. (2022). Reglamento interno.

- Julio Crespo Peru. (2022). Sistema de seguridad industrial.
- Julio Crespo Peru. (2022a). Julio Crespo Peru: <https://juliocrespo.pe/nosotros/>
- Julio Crespo Peru. (2022b). *Julio Crespo Peru*. Retrieved 03 de 2023, from <https://juliocrespo.pe/servicios/#expertise>
- Julio Crespo Peru. (2022c). *Julio Crespo Peru*. <https://juliocrespo.pe/reconocimientos/>
- Julio Crespo Perú. (2022d). Principios para el logro de calidad.
- Mobin, M., y Malik, A. (2005). Falla prematura del epoxi repintado en la placa inferior de un tanque principal de combustible: Un caso de estudio. *Materials Performance*, II, 28-31.
- <https://doi.org/https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=d4fb1c98c9061062de65d032789411e47672a70c>
- Nace International. (2011). Fundamentos de los recubrimientos. En N. International, *Programa de inspector de recubrimiento nivel 1* (pp. 1-14). Nace International.
- Nace International. (2011). Tipos de recubrimientos y mecanismos de curado. En N. International, *Programa de inspectores de recubrimiento nivel 1* (pp. 1-29).
- Nace International. (2014). Instrumentos para la preparación de superficie. En N. International, *Programa de inspecotores de recubrimientos nivel 1* (pp. 1-29). Nace International.
- Nace Interntional. (2011). Preparación de superficie. En N. Interntional, *Programa de inspectores de recubrimiento nivel 1*.
- Rascio, V., Capran, J., Giúdice, C., Del amo, B., Di sarli, A., y Pérez, R. (1989). *Propiedades y control de calidad de pinturas y recubrimientos*. (O. d. americanos, Ed.) Buenos Aires: CIDEPINT. <https://doi.org/http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/119325>
- Society for Protective Coatings. (2013). *Métodos de Campo para la Extracción y Análisis de Sales Solubles en Sustratos de Acero y Otros Sustratos No Porosos*.
- Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administracion Tributaria. (1997). *Consulta ruc*. <https://e-consultaruc.sunat.gob.pe/cl-ti-itmrconsruc/jcrS00Alias>

The Association for Materials Protection and Performance. (2021). *The Association for Materials Protection and Performance*. <https://www.ampp.org/technical-research/what-is-corrosion/corrosion-reference-library/oil-gas>

The society for protective coatings. (2016). *Limpieza con solvente* . SSPC.

The society for protective coatings. (2016b). *Shop, field, and maintenance coating of metals*.

The Society for Protective Coatings. (2016c). *Shop, Field, and maintenance coating of metals*.

Vigo, M. (2015). *Parametros de inspección durante la aplicación de un sistema de recubrimientos industriales*. Universidad nacional de ingeniería, Lima.

ANEXOS

Anexo 1: Certificación como inspector de recubrimientos

Otorgado por *The Association for Materials Protection and Performance* como *AMPP Certified Coatings Inspector*



Anexo 2: Estandar internacional SSPC AB 1, abrasivo minerales y escoria.

En el punto 4.1.4 se indica que la conductividad del abrasivo no debe exceder los 1000uS/cm.

3.4 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) STANDARDS:¹

C128	Standard Test Method for Density, Relative Density, (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate
C136	Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates
C566	Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying
C702	Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size
D75	Standard Practice for Sampling Aggregates
D4940	Standard Test Method for Conductimetric Analysis of Water Soluble Ionic Contaminants of Blasting Abrasives
D7393	Standard Practice for Indicating Oil in Abrasives
E18	Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials

3.5 NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL

the glass surface, the abrasive does not meet this standard.

4.1.3 Weight Change on Ignition: The maximum permissible loss on ignition is 1.0% and the maximum permissible gain is 5.0% when tested as follows: A representative portion of the sample shall be ground in an agate mortar and thoroughly dried at 105 to 110 degrees centigrade (°C) (220 to 230 degrees Fahrenheit [°F]) for one hour. Transfer approximately 1 gram of the dried sample to a tared crucible with cover and weigh to the nearest milligram. Cautiously heat the crucible with contents, at first partially covered, and then at approximately 750 ± 50 °C (1382 ± 90 °F) covered. Hold at 750 ± 50 °C (1382 ± 90 °F) for 30 minutes, then cool in a desiccator and reweigh. The percent of weight change shall be computed as follows:

$$\text{percent weight change} = \frac{(\text{final weight} - \text{original weight}) \times 100}{\text{original weight}}$$

4.1.4 Water Soluble Contaminants: The conductivity of the abrasive shall not exceed 1000 micromhos/cm (1 mho = 1 siemen) when tested in accordance with ASTM D4940 (see Note 8.1).

4.1.5 Moisture Content: The maximum moisture content shall be 0.5% by weight, when tested in accordance with ASTM C566.