

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS

**“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE LIMPIEZA SUPERFICIAL
METÁLICA UTILIZANDO ESCORIA DE COBRE. MÉTODO DEL
CHORRO ABRASIVO”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO QUIMICO

PRESENTADO POR

MITMA RAMÍREZ DAVID
MERA PAUCAR GUSTAVO ENRIQUE
VELA CHAMOLY ARTURO

ASESOR

ING° GUMERCINDO HUAMANI TAIPE

Callao, 2019

PERÚ

PRÓLOGO DEL JURADO

La presente Tesis fue Sustentada por los señores Bachiller **MITMA RAMIREZ DAVID, VELA CHAMOLY ARTURO** y **MERA PAUCAR GUSTAVO ENRIQUE** ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** conformado por los siguientes Profesores Ordinarios:

ING° CARLOS ALEJANDRO ANCIETA DEXTRE PRESIDENTE

ING° JULIO CÉSAR CALDERÓN CRUZ SECRETARIO

ING° RICARDO RODRIGUEZ VILCHEZ VOCAL

ING° GUMERCINDO HUAMANÍ TAPE ASESOR

Tal como está asentado en el Libro de Actas N° 1 de Tesis con Ciclo de Tesis Folio N° 52 y Acta N° 51 de fecha **TREINTA Y UNO DE AGOSTO DE 2019**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la Modalidad de Titulación de Tesis con Ciclo de Tesis, de conformidad establecido por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 309–2017–CU de fecha 24 de octubre de 2017 y en su Cuarta Disposición Transitoria, norman los requisitos de los expedientes para la obtención del Grado Académico de Bachiller

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedicamos a nuestras familias por el apoyo incondicional en todo momento en nuestra formación.

AGRADECIMIENTOS

A nuestros profesores por impartir sus conocimientos, experiencias y vocación en las aulas. Por la formación ética y profesional impartida.

Al gerente general de la empresa PROINMSA S.A.C. Ing. Rafael Salazar por brindarnos sus talleres y/o equipos, donde realizamos nuestras pruebas

INDICE

I	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
	1.1. Descripción de la realidad problemática	10
	1.2. Formulación del problema	10
	1.2.1. Problema general.	10
	1.2.2. Problemas específicos.	10
	1.3. Objetivos	11
	1.3.1. Objetivo general.	11
	1.3.2. Objetivo específicos.....	11
	1.4. Limitantes de la investigación	11
II	MARCO TEÓRICO	12
	2.1. Antecedentes de la investigación	12
	2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	12
	2.1.2. Antecedentes nacionales	13
	2.2. Bases teóricas.	15
	2.2.1. Limpieza superficial metálica	15
	2.2.2. Método chorro abrasivo	28
	2.2.3. Usos del método de chorro abrasivo	31
	2.2.4. Componentes básicos de una instalación de chorreo	
	abrasivo.....	31
	2.2.5. Escoria	37
	2.3. Conceptual:	39
	2.4. Definición de términos básicos:.....	41
III	HIPÓTESIS Y VARIABLES	42
	3.1. Hipótesis	42
	3.1.1. Hipótesis general.....	42

3.1.2.	Hipótesis específicas.....	42
3.2.	Definición conceptual de variables	42
3.2.1.	Operacionalización de variables	42
IV	DISEÑO METODOLÓGICO.....	44
4.1.	Tipo y diseño de investigación.....	44
4.2.	Método de investigación.....	44
4.3.	Población y muestra.....	46
4.3.1.	Población.....	46
4.3.2.	Muestra.....	46
4.4.	Lugar de estudio y periodo desarrollado	46
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	47
4.5.1.	Técnicas	47
4.5.2.	Instrumentos.....	47
4.6.	Análisis y procesamiento de datos	50
4.6.1.	Preparación superficial metálica	50
4.6.2.	Desarrollo experimental.....	54
V	RESULTADOS.....	59
5.1.	Resultados descriptivos.....	59
5.1.1.	Pruebas de hipótesis relativas a medias.....	62
5.2.	Resultados inferenciales.....	66
5.2.1.	Análisis Factorial.....	66
5.2.2.	Diagrama de Pareto.....	73
5.2.3.	Grafica de medias marginales	73
5.2.4.	Regresión lineal multivariable	76
5.2.5.	Graficas de superficie del modelo obtenido	79
5.3.	Otro tipo de resultados estadísticos, de acuerdo a la naturaleza..... del problema y la Hipótesis.	80

5.3.1. Optimización de respuesta: Y Rugosidad en mils	80
VI DISCUSIÓN DE RESULTADOS	83
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados. .	83
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares.....	83
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXOS	90
- Matriz de Consistencia	91
- Normas de tratamiento superficial metálica	92
- Ficha técnica de recubrimiento Amercoat	93
- Manual de rugosímetro	95
- Prueba de conductividad de abrasivo	97
- Autorización de Proinmsa	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Perfil de anclaje de abrasivos.....	38
Tabla 2	Variables dimensionales e indicadores	43
Tabla 3	Granulometría de escoria de cobre	55
Tabla 4	Perfil de rugosidad con ángulo de disparo de 90° en μm	59
Tabla 5	Perfil de rugosidad con ángulo de disparo de 45° en μm	60
Tabla 6	Resultados de rugosidad en unidades de mils	61
Tabla 7	Normalidad : X2 Distancia, para ángulo de 45°	62
Tabla 8	Normalidad : X3 Tiempo, para ángulo de 45°	63
Tabla 9	Normalidad : X2 Distancia, para ángulo de 90°	64
Tabla 10	Normalidad : X3 Tiempo, para ángulo de 90°	65
Tabla 11	Factores inter – sujetos	67
Tabla 12	Pruebas de efectos inter – sujetos	68
Tabla 13	Pruebas de efectos inter – sujetos	69
Tabla 14	Y Rugosidad en mils – HSD Tukeya,b	70
Tabla 15	Y Rugosidad en mils – HSD Tukeya,b	71
Tabla 16	Análisis estadístico descriptivo factor ángulo	71
Tabla 17	Resumen del modelo	76
Tabla 18	Anova.....	76
Tabla 19	Coeficientes	77
Tabla 20	Evaluación de variables en el modelo	78
Tabla 21	Parámetros de optimización	80
Tabla 22	Rango de variables	81
Tabla 23	Solución	81
Tabla 24	Predicción de respuesta múltiple.....	81
Tabla 25	Respuesta de optimización	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Grados de corrosión de metales	19
Figura 2	Línea media	20
Figura 3	Rugosidad Media	21
Figura 4	Rugosidad Total	21
Figura 5	Profundidad de rugosidad media.....	22
Figura 6	Anclaje de recubrimiento respecto al perfil de rugosidad.....	23
Figura 7	Métodos de medición de la rugosidad	25
Figura 8	Cinta réplica y medidor de rugosidad.	26
Figura 9	Cinta réplica entre yunques de medidor	26
Figura 10	Diferentes rangos de cinta réplica.	27
Figura 11	Cinta réplica de espesor inadecuado.	28
Figura 12	Equipos de escoriado.....	32
Figura 13	Método de Investigación	45
Figura 14	Diseño experimental.....	46
Figura 15	Compresora y tolva	48
Figura 16	Manguera y boquillas	48
Figura 17	Extractor de humedad – Traje de escoriado.....	49
Figura 18	Escoria y probetas	50
Figura 19	Inspección de humedad y grasa.....	52
Figura 20	Inspección extracción de sales.....	53
Figura 21	Prueba de evaluación post limpieza.	53
Figura 22	Prueba de aguja hipodérmica (ASTM-D4285).....	54
Figura 23	Escoriado	55
Figura 24	Probetas rotuladas	56
Figura 25	Ángulo de disparo respecto a superficie.....	57
Figura 26	Medición de rugosidad con cinta réplica.....	58
Figura 27	Medición de rugosidad en 3 puntos.....	58
Figura 28	Distribución X2 distancia – Y rugosidad	63
Figura 29	Distribución X3 tiempo – Y rugosidad.....	64
Figura 30	Distribución X2 distancia – Y rugosidad	65
Figura 31	Distribución X3 tiempo – Y rugosidad.....	66

Figura 32 Diagrama de Pareto	73
Figura 33 Media rugosidad – X1 ángulo, X2 distancia.....	74
Figura 34 Media rugosidad – X2 distancia, X1 ángulo.....	74
Figura 35 Media rugosidad – X2 distancia, X3 tiempo.....	75
Figura 36 Media rugosidad – X3 tiempo, X2 distancia.....	75
Figura 37 Diagrama de superficie rugosidad vs ángulo con distancia	79
Figura 38 Diagrama de superficie: rugosidad vs ángulo con tiempo.....	79
Figura 39 Diagrama de superficie rugosidad vs distancia con tiempo	80
Figura 40 Grafica de optimización	82

RESUMEN

El problema de la durabilidad de las estructuras metálicas frente a la corrosión está íntimamente relacionada con su recubrimiento, el mismo que depende de la precisión del grado de rugosidad de la superficie metálica obtenida en el proceso de escoriado con el método de chorro de abrasivo. En la práctica se ha observado que el grado de rugosidad generalmente se obtiene en forma empírica disminuyendo la efectividad del anclaje del recubrimiento, debido a perfiles de rugosidad fuera del rango especificado, reduciendo la durabilidad de las estructuras metálicas, debido al aumentando del riesgo de corrosión.

La presente investigación tiene como objetivo general optimizar el proceso de la limpieza superficial metálica mediante chorro abrasivo, utilizando escoria de cobre de acuerdo con las normas SSPC y ASTM; para lo cual se acondicionaron 24 probetas metálicas de 20 cm x 30 cm. con grado de corrosión del tipo A, de los cuales 12 probetas fueron escoriados con un ángulo de impacto de 90° y las otras 12 probetas con ángulo de impacto de 45° a las distancias de: 50cm, 80cm y 100cm, desde la boquilla a la superficie de la probeta y con intervalos de tiempo de 3, 5, 10 y 15 segundos.

Como análisis estadístico se aplicó el Minitab 18 y SPSS, con el cual se obtuvo un modelo matemático que gobierna el proceso, donde como resultado se concluye que el factor ángulo es poco relevante en la rugosidad, a diferencia del factor distancia que es altamente significativo en el resultado de la rugosidad pero en proporción inversa; y el factor tiempo influye en menor proporción que la distancia y en mayor proporción que el ángulo.

Palabras clave : Chorro abrasivo, escoria de cobre, rugosidad.

ABSTRACT

The problem of the durability of metal structures against corrosion is closely related to their coating, which depends on the precision of the roughness of the metal surface obtained in the slag process with the abrasive blasting method. In practice it has been observed that the degree of roughness is generally obtained empirically by decreasing the effectiveness of the anchoring of the coating, due to roughness profiles outside the specified range, reducing the durability of the metal structures, due to the increased risk of corrosion.

The purpose of this research is to optimize the process of metal surface cleaning by abrasive blasting, using copper slag in accordance with SSPC and ASTM standards; for which 24 metal specimens of 20 cm x 30 cm were conditioned. with a degree of corrosion of type A, of which 12 specimens were scummed with an angle of impact of 90° and the other 12 specimens with an angle of impact of 45 ° at distances of: 50cm, 80cm and 100cm, from the nozzle to the surface of the specimen and with time intervals of 3, 5, 10 and 15 seconds.

As a statistical analysis, Minitab 18 and SPSS were applied, with which a mathematical model that governs the process was obtained, where as a result it is concluded that the angle factor is not very relevant in the roughness, unlike the distance factor that is highly significant in the result of roughness but in inverse proportion; and the time factor influences less than distance and a greater proportion than angle.

Keywords : Abrasive jet, copper slag, roughness.

INTRODUCCIÓN

La corrosión es uno de los factores relevantes que afectan a los metales, generando grandes pérdidas en las industrias por el deterioro de sus equipos e instalaciones. Las industrias metal mecánicas están enfocadas en prolongar la durabilidad de las estructuras metálicas. Uno de los métodos y formas de enfrentar la corrosión es con el uso de diferentes tipos de recubrimientos que se aplican en las superficies metálicas cumpliendo con procedimientos que garanticen la durabilidad de las estructuras.

En el proceso de aplicación de recubrimiento la limpieza superficial metálica es de suma importancia debido a que se alcanza un tipo de perfil de rugosidad que permita la mayor eficiencia del anclaje del recubrimiento.

Uno de los métodos más utilizados para la limpieza superficial metálica, es el de chorro de abrasivos, que consiste en impactar partículas de abrasivos con línea de aire altamente presurizado sobre la superficie metálica a tratar.

El objetivo del siguiente trabajo es optimizar el proceso de limpieza superficial metálica con el perfil de rugosidad requerido, para lo cual se ha utilizado como abrasivo la escoria de cobre con la granulometría adecuada, evaluando parámetros de operación que influyen en la optimización del proceso, tales como la distancia de la boquilla donde se libera los abrasivos a la superficie metálica, el ángulo y tiempo de impacto de acuerdo a las normas internacionales como SSPC, ISO y NACE.

Las pruebas se realizaron sobre probetas metálicas de grado de corrosión del tipo A, donde se cumplieron con los procedimientos como la pre limpieza superficial con la eliminación de contaminantes y defectos de fabricación.

La medida del perfil de rugosidad se realizó por el método del a cinta réplica utilizando un rugosímetro elcometer con yunque, cuyos valores se analizaron estadísticamente con programas como SPSS y MINITAB. Obteniéndose un modelo matemático que cumple con los resultados.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

El impacto de la corrosión en la economía de los países como el Perú es de suma importancia, donde generan grandes pérdidas en las industrias por el deterioro de sus equipos e instalaciones. Las industrias metal mecánicas están enfocados en prolongar la durabilidad de las estructuras metálicas frente a la corrosión, aplicando diferentes tipos de recubrimientos sobre superficies metálicas de acuerdo a los procedimientos que garanticen la durabilidad de las estructuras.

En el proceso de aplicación del recubrimiento, la limpieza superficial metálica es de suma importancia debido a que en ella se alcanza un tipo de perfil de rugosidad que permite una mayor eficiencia del anclaje del recubrimiento. Siendo uno de los métodos para la obtención del perfil de rugosidad especificado en la ficha técnica del recubrimiento, el de chorro de abrasivos, donde se maniobran diferentes variables como la distancia, tiempo, ángulo, presión, granulometría, temperatura y otros.

La problemática del citado método es que en la práctica, se ha observado que los operarios manejan estas variables en forma empírica, donde se generan en el mayor de los casos perfiles de rugosidad fuera de lo especificado, esto hace que disminuya la efectividad del anclaje del recubrimiento, generando desprendimiento y aumentando el riesgo del inicio de la corrosión en forma prematura, haciendo que disminuya la durabilidad de la estructura metálica.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo optimizar el proceso de la limpieza superficial metálica mediante chorro abrasivo, utilizando escoria de cobre?

1.2.2. Problemas específicos

- 1) ¿Cuáles son las características de la superficie metálica a tratar?
- 2) ¿Cuáles son los factores más relevantes que afectan la operación a presión y granulometría constante?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Optimizar el proceso de la limpieza superficial metálica mediante chorro abrasivo, utilizando escoria de cobre.

1.3.2. Objetivos específicos

- a)** Definir las características de la superficie metálica a tratar.
- b)** Determinar los factores más relevantes que afectan la operación a presión y granulometría constante.

1.4. Limitantes de la investigación

El uso de los equipos de escoriado fue limitado debido a que la empresa tiene alta carga laboral.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Sajmoló, J. J. (2012). Uso de la escoria de mata de níquel como material abrasivo en el proceso de limpieza por el método de Sandblasting, para estructuras metálicas. Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

En su trabajo tiene como objetivo el análisis y evaluación de la escoria de Níquel, como chorro abrasivo en la preparación superficial metálica, libre de contaminantes como restos de pintura, óxidos y cascarilla de laminación.

Las pruebas fueron analizadas mediante un estudio completo, de acuerdo a las normas de la sociedad Americana para el Ensayo de Materiales (ASTM)

Donde concluye que la limpieza superficial metálica con escoria de níquel arroja óptimos resultados en comparación del arenado debido a las propiedades físicas, químicas y mecánicas. En cuanto a la salud genera menos liberación de partículas finas por el uso de menor cantidad de abrasivo de esta manera reduce los costos de operación. Además cumplen con las especificaciones establecidas con las normas.

Saravia, E. (2017). Estudio de la influencia de los parámetros del proceso de sandblast sobre acabado superficial de placas metálicas de acero aisi 1018. caso de estudio: construcciones industriales tapia. Tesis de maestria, Ciateq, Sahagun.

El objetivo de la presente tesis trata del proceso Sandblast teniendo como objetivo conocer la influencia del proceso de limpieza superficial en placas metálicas de acero AISI1018 aplicando la técnica Taguchi, considerando que esa superficie debe tener una rugosidad que permita el mejor anclaje del recubrimiento de pintura conforme a las normas SSPC. Esta técnica ofrece superficies que generen un ligero anclaje en el recubrimiento y estas pruebas se realizaron en las instalaciones de una empresa metal mecánica que está orientada a la Construcción de estructuras metálicas. Estas estructuras son preparadas superficialmente con un grado de rugosidad que permita el anclaje del recubrimiento.

Con este procedimiento encontró, de manera individual, que con un diámetro de la tobera de 8mm, grado de tamizado de arena N° 16 y dista de disparo de 20 cm, arrojan las características adecuadas para una adecuada aplicación de recubrimiento, resultando una rugosidad de 1,555 micrómetros.

En conclusión se obtuvo una limpieza superficial conforme a la norma SSPC, mediante el proceso Sandblast, sobre el acabado superficial de placas metálicas de acero AISI1018

2.1.2. Antecedentes nacionales

- 1) Saldarriaga, J. M. (2006). en Optimización del proceso de preparación de superficie en el servicio industrial de la marina. Tesis de pregrado, Universidad de Piura, Piura. , que se basan en tres factores fundamentales; los cuales son : Tema socio ambiental, el tesista usó agua como insumo se conserva el medio ambiente ya que no se usa materiales abrasivos que originan partículas que quedan suspendidas en el aire causando daño directo al ambiente y personas.
- 2) Optimización del proceso, también considera que con este proceso no se modifica la rugosidad de la superficie pero se logra alcanzar una limpieza superficial exenta de toda partícula que esté depositado de esta manera se logra una mejor adherencia del recubrimiento sobre el sustrato, prolongando la durabilidad de la estructura metálica.
- 3) La optimización de costo se refleja por el tiempo de operación de las maquinarias por lo que, lo realiza al obtener el menor tiempo de operación por superficie preparada al implementar este proceso por lo que se reducen costos en forma directa e indirecta.

Nolasco, W. C. (2015) Diseño de un plan de recubrimiento con pintura industrial y mantenimiento para disminuir la corrosión en tanques de combustffile diésel para centrales termoeléctricas. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Del Callao, Callao.

El objetivo de este plan de mantenimiento superficial para disminuir la corrosión en tanques de combustible diésel de centrales termoeléctricas.

La construcción de los tanques de almacenamiento de diesel para centrales termoeléctricas sigue generalmente normas internacionales como The British Standars Institution (BS 2645) y The American Petroleum Institutes (API

650). Estos estándares de construcción no consideran la naturaleza corrosiva del producto a contener, el grado de corrosividad del medio ambiente, erosión, etc.

Por este motivo el propósito del presente trabajo es el de clarificar a los ingenieros especificadores para realizar una correcta selección de los sistemas protectores, los que deben incluir variables de campo y de servicio como, (producto para almacenar, pH, temperatura, resistividad de la tierra, velocidad media del viento del lugar, instalaciones adyacentes, etc.)

Bajo esta premisa y teniendo en cuenta la poca información, poca importancia que se le da a la protección anticorrosiva, desconocimiento de nuevas tecnologías, profesionales improvisados, desconocimiento de las técnicas de selección de sistemas, operarios y técnicos no capacitados, etc., lo que redundaba en ingentes cantidades de dinero desperdiciado, paradas del proceso de importantes plantas de generación, que ocasiona costos directos e indirectos elevados. Por esto nació el interés de realizar esta investigación. Lo cual llevó al autor Nolasco a investigar normas internacionales, juicio de expertos, recomendaciones de fabricantes, y con experiencia profesional en el rubro, que permitirá lograr la duración esperada de la protección de acuerdo al plan de recubrimientos seleccionado que en su mayoría de casos son de 20 a 25 años. En conclusión el autor Nolasco indica que es necesario un plan de mantenimiento de los tanques de combustible que trabajan en las termoeléctricas, incluye aquello la capacitación periódica y obligada del personal que trabaja en el área.

Sayre, M. L. (2015) Tratamiento de limpieza superficial en estructuras de acero al carbono y su impacto en la industria metalmeccánica. Tesis de pregrado, Universidad Nacional De Ingeniería, Lima.

El objetivo de tratar la limpieza superficial específicamente en estructuras de acero al carbono, así como el impacto en la industria metal mecánica.

La SSPC son normas que rigen los procedimientos de limpieza superficial y recubrimientos que permiten asegurar la calidad en obra, la alta demanda en la construcción ha hecho que la carrera de ingeniería química tenga un impacto debido al incremento de las estructuras metálicas. Los conceptos que abarca la presentación de este tema está referido en el marco teórico dando importancia

a la limpieza superficial donde se eliminan contaminantes que puedan perjudicar el recubrimiento especialmente en el anclaje sobre la superficie metálica. Los abrasivos que se utilizan principalmente son granalla arena de río y escoria que tiene una diferencia por costos aplicación y en la tecnología. La investigación del presente trabajo se basa en estos 3 abrasivos donde se determina el grado de efectividad, costos permitiendo una mejor elección en el método de aplicación.

Se concluye que el tratamiento de la limpieza superficial repercute positivamente en la economía de la empresa, ya que estas estructuras llámense tanques o estructuras tienen un costo aproximado de \$. 100 000,00

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Limpieza superficial metálica

Existen diferentes conceptos de limpieza superficial metálica, como:

Pannoni, F.D. (2006) afirma que la limpieza superficial “Se trata de la remoción en la superficie de materiales que podrían impedir el contacto directo de la pintura con el acero, tales como diferentes polvos, grasas, aceites, combustibles, herrumbre, cascarilla de laminación, residuos de pintura, etc. El nivel requerido de limpieza superficial variará de acuerdo a las restricciones operacionales existentes, del tiempo y de los métodos disponibles para la limpieza, del tipo de superficie presente y del sistema de pintura escogido, ya que las pinturas poseen diferentes grados de adherencia sobre las superficies metálicas”

De igual manera (Sayre, 2015) define que la preparación superficial metálica involucra todos los procedimientos que se debe cumplir antes de aplicar el recubrimiento para evitar presencia de agentes contaminantes como partículas de polvo o restos de abrasivo que estén impregnados en la superficie, que puedan afectar el anclaje del recubrimiento.

A demás Moron (2015) indica que “La superficie deberá estar libre de defectos de construcción como: salpicadura de soldadura, porosidad, rebabas, filos cortantes, entre otros. Eliminados mediante limpieza manual y motriz (según Norma SSPC–SP2, SSPC–SP3). Si se detectara presencia de contaminación por aceite y/o grasa impregnada, ésta deberá ser removida con espátula y trapo, posteriormente se lavará de manera puntual dicha zona con detergente industrial y abundante agua dulce según la Norma SSPC–SP1” (pag.37)

a) **Procesos de limpieza.**- La limpieza superficial metálica implica la preparación de superficie metálica con la eliminación de contaminantes visibles y no visibles :

1) **Contaminantes visibles.**- Se refiere a los contaminantes como grasas, aceites, restos de pintura y otros que puedan estar presentes en la superficie que impidan la adherencia de la capa de recubrimiento.

2) **Contaminantes no visibles.**- Se refiere a los contaminantes como los cloruros que pueden ser causantes del inicio de la corrosión.

La preparación de superficie metálica implica tres pasos importantes :

1) **Pre – limpieza o pre preparación de superficie.**- en esta etapa se realiza la inspección de defectos de fabricación como restos de soldadura, pegotes y filos cortantes, los cuales son eliminados con herramientas manuales según las normas SSPC–SP2 o herramientas motrices según las normas SSPC–SP3. Se identifican contaminantes como grasa, aceite los cuales son removidos con solventes según las normas SSPC–SP1 Además se identificas el grado de corrosión que tiene la estructura.

2) **Limpieza o preparación de superficie.**- Se realiza con el método de chorro abrasivo, en medio seco, que utiliza el aire a alta presión como medio de transporte del abrasivo. En este caso los abrasivos poseen suficiente energía que impactan en la superficie metálica, removiendo los contaminantes como óxidos, capas de pinturas y cascarillas de laminación. En esta etapa se alcanza calidad de superficie y la rugosidad adecuada según la especificación técnica de la capa de recubrimiento.

3) **Post limpieza o post preparación de superficie.**- En esta etapa se realiza la eliminación de restos de polvo y de escoria utilizando aire presurizado.

b) **Calidad de superficie.**- La preparación de superficies metálicas presenta la calidad de acuerdo a la durabilidad del sistema de recubrimientos, con perfiles de rugosidad que permita el mejor anclaje de la pintura. La SSPC (Steel Structures Painting Council), indica cuatro niveles o grados de preparación superficial, que son: Metal blanco, Metal casi blanco, Comercial y brush off.

1) Superficie metálica al grado metal blanco.- La limpieza superficial metálica al grado de metal blanco se realiza con el método de chorro de abrasivos según las normas (NACE 1/SSPC–SP5), este tipo de superficies presentan una coloración uniforme de blanco gris metálico con 0% de presencia de sombras. Este tipo de superficies se emplea de acuerdo a las especificaciones de los recubrimientos en la capa base, La superficie metálica no presentan contaminantes visibles como restos de aceites, restos de grasas, restos de pintura, polvo o restos de abrasivos generados en la preparación superficial metálica.

La superficie metálica al grado metal blanco es la que se caracteriza con perfil de rugosidad.

2) Superficie metálica al grado casi blanco.- La superficie metálica con grado casi blanco, no presenta restos de contaminantes como aceites, grasas, herrumbre, productos de corrosión, pintura y otras materias extrañas, la cascarilla de laminación es removida completamente, este tipo de superficie presenta ligeras sombras, con un 5% de aceptación por cada pulgada cuadrada según las normas (NACE 2/SSPC–SP10)

3) Superficie metálica al grado comercial.- La limpieza superficial al grado comercial debe estar exento de contaminantes visibles como las grasas aceites y restos de pintura, este tipo de limpieza acepta hasta 33% de presencia de sombras generadas por óxidos o cascarillas de laminación de acuerdo las normas (NACE 3/SSPC–SP6)

4) Limpieza con chorro abrasivo ligero.- La limpieza con chorro abrasivo al grado Brush – Off consiste en la eliminación ligera de herrumbre, pintura desprendida y cascarillas de laminación. Este tipo de superficie se utiliza para aplicar recubrimientos en estructuras que sean expuestas a ambientes agresivos, donde no sea necesario la durabilidad del recubrimiento por mucho tiempo. (SSPC–SP7 / NACE 4)

c) Tipos de limpieza :

1) Limpieza con solvente.- Este tipo de limpieza superficial utiliza solventes orgánicos, detergentes, emulsiones jabonosas y vapor de agua para remover contaminantes visibles como grasas, aceites, polvos o cualquier otro contaminante que pueda estar adherida a la superficie, según la norma

SSPC–SP–1 Es importante Identificar y eliminar los contaminantes antes de realizar la preparación superficial. El procedimiento consiste en la aplicación del solvente con paños o equipos de presión sobre la superficie contaminada, luego realizar el lavado con agua limpia y finalmente secar con aire comprimido.

- 2) **Limpieza manual.**- La limpieza superficial se realiza en forma manual, donde no involucran herramientas de poder ya sean eléctricas o neumáticas, en este tipo de preparación se encuentra el lijado, cepillado, raspado, etcétera. Este tipo de limpieza se realiza en casos donde el chorreado con abrasivo no está permitido o cuando la limpieza es en forma puntual como remover cascarillas de laminación y restos de pintura. Según la norma (SSPC–SP2)
- 3) **Limpieza con herramientas de poder.**- Este tipo de limpieza utiliza herramientas de poder sea eléctricas o neumáticas para remover cascarillas de laminación restos de pintura, óxidos y defectos de fabricación como filos cortantes y restos de soldadura según la normas (SSPC–SP3). Este tipo de limpieza se emplea en lugares donde el uso de del chorro abrasivo es imposible por la ubicación.
- 4) **Limpieza con chorro abrasivo.**- La limpieza superficial se realiza con el uso de abrasivos, como granallas de acero, escoria de cobre, arena de rio, etcétera, que son impactados violentamente en la superficie a limpiar, para ello se utiliza como medio de transporte aire altamente presurizado. Esta técnica permite remover en forma homogénea, cascarillas de laminación, capas de pintura, óxidos y permite alcanzar el perfil de rugosidad, especificado por el tipo de recubrimiento a utilizar, de acuerdo al uso que va a tener la estructura preparada, según las normas (SP–5/SP–6/SP–7/SP–10)
- d) **Grado de corrosión.**- (Sajmoló, 2012, p.34 – 36) clasifica los grados de corrosión de acuerdo a la norma americana SSPC VIS 1– 89 que define cuatro grados de herrumbre (A, B, C, D) de acuerdo al estado de oxidación del metal, La identificación del grado de corrosión es importante para poder clasificar el tipo de limpieza a realizar de acuerdo a la especificación técnica del recubrimiento:

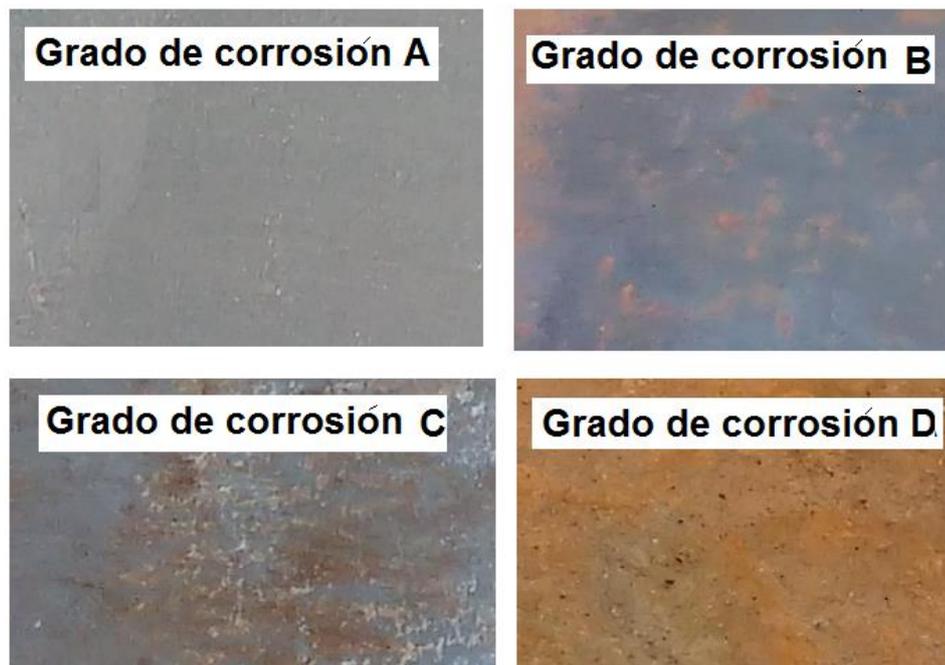


Figura 1. Grados de corrosión de metales

Fuente: elaboración propia

- 1) **Grado de corrosión del tipo A.**- Este tipo de superficie presenta un grado de corrosión al 0% donde la cascarilla de laminación en su superficie permanece intacta, este tipo de metales generalmente son recién fabricados y que no han estado expuestos a agentes corrosivos.
 - 2) **Grado de corrosión del tipo B.**- Este tipo de superficie presenta principios de corrosión, con el inicio del desprendimiento de la cascarilla de laminación, en este tipo de corrosión el sustrato metálico aún no ha sido afectado.
 - 3) **Grado de corrosión del tipo C.**- Este tipo de metales presentan baja presencia de cascarilla de laminación en la superficie metálica debido a la corrosión, el sustrato metálico es intacta.
 - 4) **Grado de corrosión del tipo D.**- Este tipo de corrosión presenta picaduras el sustrato por efectos de la corrosión, no presentas cascarillas de laminación.
- e) **Rugosidad.**- La rugosidad de las superficies metálicas en la limpieza con chorro de abrasivos, es de suma importancia, debido a que es un factor determinante en la prolongación de la durabilidad del recubrimiento metálico.

(Larburu, 2004) Define como las irregularidades superficiales metálicas, que pueden presentar rugosidades en escala menor o mayor que se forman de acuerdo al tratamiento superficial, estas escalas se realizan de acuerdo a la funciones que van a desempeñar.

La norma ISO 1302 : 2002 referente a la Calidad Superficial, indica que la superficie perfecta es ideal debido a que las superficies presentan un grado de rugosidad es decir la superficie perfecta es una abstracción matemática. Para determinar la aspereza de la superficie se definen parámetros que miden, las distancias de la crestas y valles (R_t) respecto a un valor medio de rugosidad (R_a) en una determinada longitud (R_z) de prueba.

- 1) **Línea Media.**- Línea recta que divide en dos zonas el perfil de rugosidad, quedando las crestas por encima de esta línea y las valles por debajo de la misma, el área que forman la línea media y el perímetro superior del perfil es igual al área de la línea media y el perímetro inferior del perfil de rugosidad.

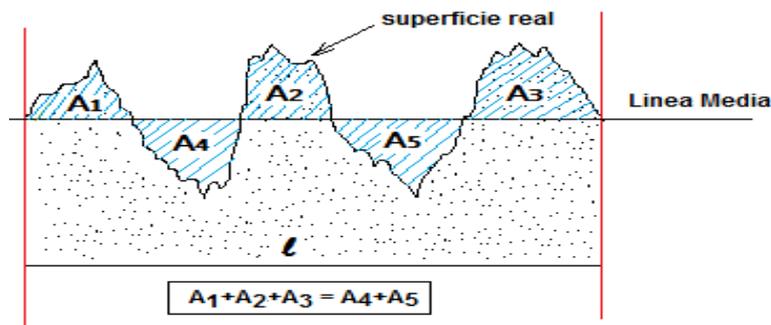


Figura 2. Línea media

Fuente: elaboración propia

- 2) **Rugosidad media.**- R_a es la suma de los valores absolutos de las áreas comprendidas entre la línea media y el perímetro del perfil de rugosidad, dividido entre la longitud del tramo donde se realiza la medición. Es decir el área del rectángulo equivalente al total de las áreas entre la línea media y la superficie real de la rugosidad, tiene por altura R_a y base la longitud de medición.

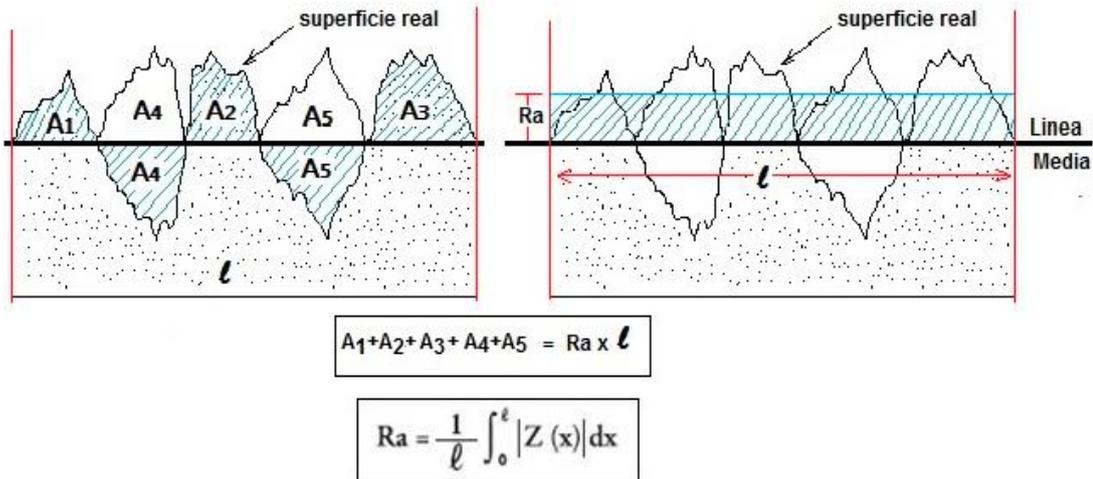


Figura 3. Rugosidad Media

Fuente: elaboración propia

- 3) **Rugosidad total.** - R_t Llamado también rugosidad máxima, indica el valor máximo de la distancia entre el pico más alto (R_p) y la valle más baja (R_v) en el intervalo de medición L .

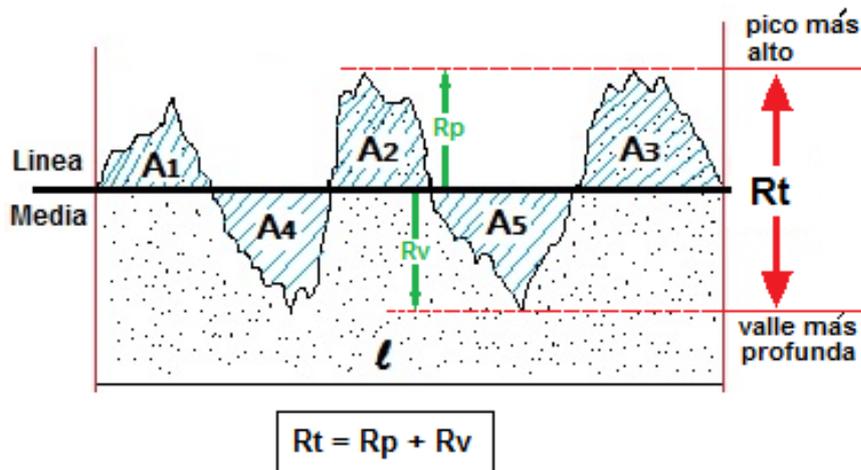


Figura 4. Rugosidad Total

Fuente: elaboración propia

- 4) **Profundidad de rugosidad media.** - R_z es el promedio de las distancias, de los picos más altos y las valles más bajas de cinco tramos en la longitud de prueba, para calcular se divide en 5 zonas de igual longitud el tramo de evaluación, en cada zona se identifica la cresta más alta y la

valle más baja determinando cada Rz, el promedio representa la rugosidad media.

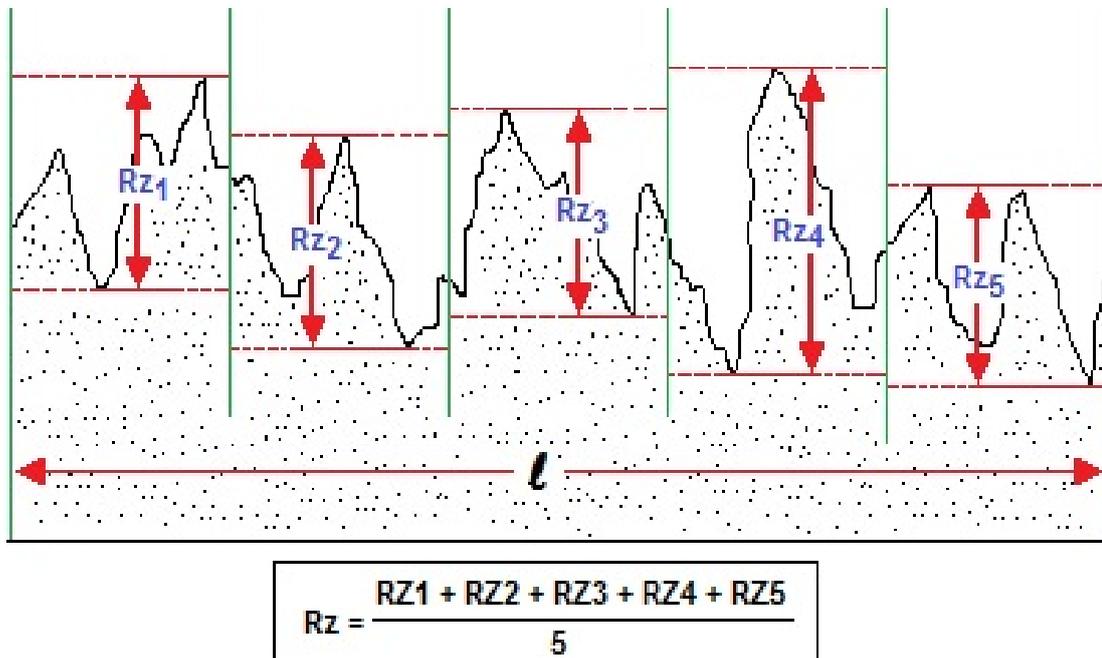


Figura 5. Profundidad de rugosidad media

Fuente: elaboración propia

Las definiciones y cálculos de rugosidad se basan en parámetros que miden picos, valles, áreas, etcétera. Existen métodos e instrumentos para medir estos parámetros y caracterizar el grado de perfil de rugosidad, que es importante para asegurar el adecuado anclaje del recubrimiento y garantizar la protección contra la corrosión del sustrato.

En la industria del recubrimiento y particularmente en la industria de la protección de estructuras metálicas, es de suma importancia el tratamiento de la superficie metálica con características, donde el grado de limpieza y el rango de perfil de rugosidad estén dentro de las especificaciones técnicas del recubrimiento.

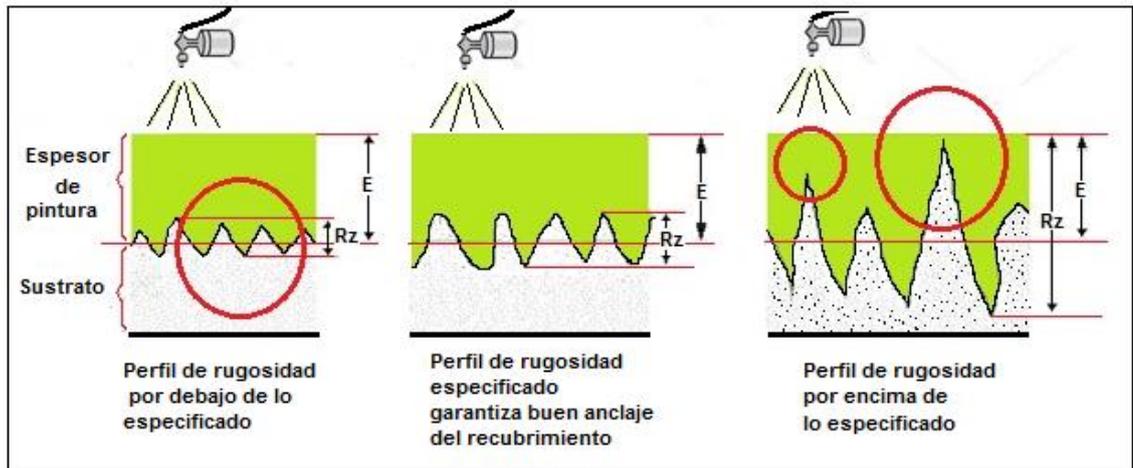


Figura 6. Anclaje de recubrimiento respecto al perfil de rugosidad

Fuente: elaboración propia

Con el fin de maximizar el rendimiento general de un revestimiento, es esencial medir el perfil de rugosidad de la superficie metálica luego de haber sido limpiado y preparado con el método de chorro abrasivo. Si el perfil de rugosidad es demasiado alto, existe el peligro de que las crestas muy altas no estén suficientemente cubiertas a la hora de aplicar el recubrimiento, siendo estos puntos, los causantes de la corrosión prematura o manchas de óxido, por otro lado, si el perfil es demasiado bajo, puede que no haya suficiente anclaje para el espesor de pintura, dando lugar a una mala adhesión y un fallo prematuro como el desprendimiento de la película seca de recubrimiento. El valor del perfil de rugosidad requerido se encuentra establecido, en las especificaciones técnicas de la pintura o de lo contrario en los acuerdos que quedan las partes involucradas en el proceso de aplicación de recubrimiento.

- f) **Métodos de medición de la rugosidad.**- La norma ASTM D4417-115 actualmente describe tres métodos de medición de perfil de rugosidad: método A que consiste en comparar superficies, método B que consiste en usar un micrómetro de profundidad y el método C que consiste en el uso de la cinta réplica.
- 1) **Comparador de superficie: ASTM D4417 Método A.**- Uno de los métodos para medir el perfil de rugosidad de superficies metálicas preparados con chorro de abrasivos es el de comparar con

comparadores que presentan diferentes segmentos, esta comparación se realiza de forma visual y táctil y de acuerdo a ello se puede clasificar en "fino", "medio" o "grueso"

- 2) **Medidor de profundidad/ASTM D4417 – Método B.**- Micrómetros de profundidad consiste en medir los picos más altos con las valles más bajas, este dispositivo consta de una base plana que descansa sobre los picos más altos y una sonda cargada por resortes que cae en la valle más baja del perfil de rugosidad de la superficie metálica.
- 3) **Medidor según cinta réplica/ASTM D4417 – Método C.**- La cinta de réplica es un método simple, barata y de buena correlación y es la más usada en la medición del perfil de rugosidad, la cinta réplica está fabricado de sustrato de poliéster de espesor uniforme (2 mils), en la parte central tiene adherida una capa de espuma con diferentes espesores que sirve para tomar la réplica de la superficie metálica. Este método consiste en adherir la cinta sobre la superficie metálica, luego presionar por la parte central de tal forma que la espuma tome la réplica de la superficie, posteriormente se mide esta réplica en los yunques del micrómetro.
- 4) **Rugosímetro mediante palpador/ ASTM D7127.**- Son dispositivos que miden la rugosidad de la superficie metálica a través de un palpador que contiene una aguja que recorre por las irregularidades de la superficie de manera constante registrando las distancias de los picos a los valles (Rt)

Uno de los métodos más reconocidos utilizados para medir el perfil de superficie de un sustrato de metal, limpiado a chorro de abrasivos, es el elcometer 122 testex réplica tape, junto con un micrómetro de resorte como el elcometer 124.



Figura 7. Métodos de medición de la rugosidad
Fuente: <https://www.neurtek.com/es/academia/pinturas-y-recubrimientos>

El elcometer 122 testex tape consiste en una almohadilla de espuma compresible unida a una tira de soporte de Mylar de 50 μm (2 mils) de espesor que se adhiere a la superficie metálica limpia y seca y el respaldo de mylar se rota en forma circular con una herramienta de bruñido. Hasta que la ventana circular de mylar se vuelva un color gris claro uniforme.

Al rotar la cinta contra la superficie, la espuma se empuja hacia las valles creando una imagen inversa o reflejada del perfil de superficie. Es decir los picos de la espuma representa las valles del sustrato y viceversa.

La cinta es retirada del sustrato Y se mide utilizando un medidor elcometer 124 que se ha puesto a cero correctamente. Se coloca la cinta entre los dos yunques de medición y se suelta la palanca, la lectura del grosor esta dado en las agujillas del elcometer que incluye el grosor de la cinta que es de 50 μm (2mils). Otra alternativa es que se puede configurar el elcometer 124 para restar automáticamente el grosor de la cinta, gire la rueda exterior del cuadrante en el sentido de las agujas del reloj hasta que la aguja apunte a 150 μm u 8 mils.

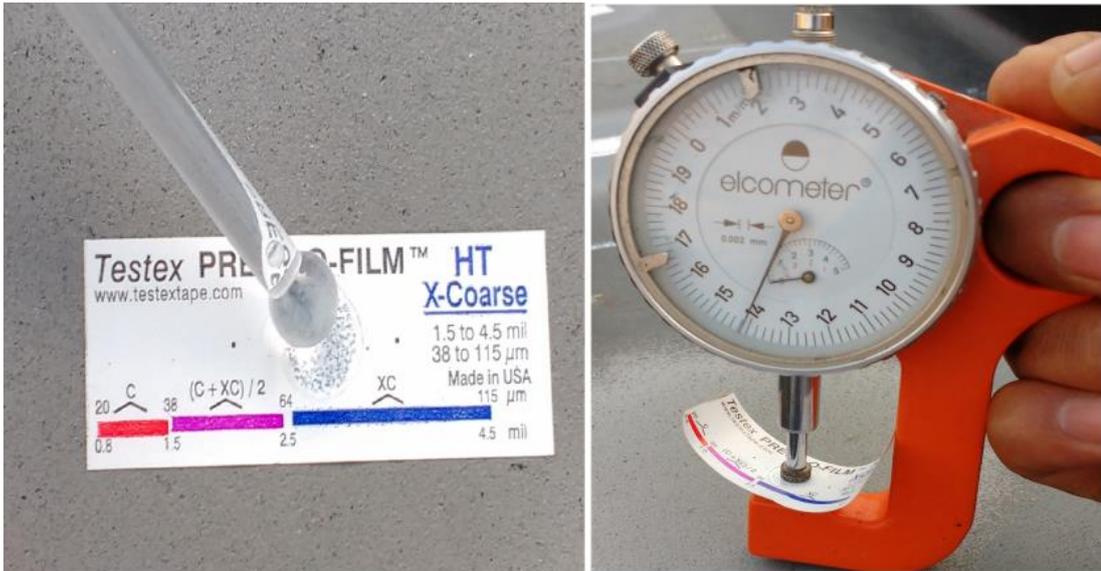


Figura 8. Cinta réplica y medidor de rugosidad.

Fuente: elaboración propia

Cuando el elcometer 124 mide la cinta los yunques se apoyan en los picos de la espuma midiendo la altura del pico junto con el espesor de la cinta, motivo por el cual se resta el espesor de la misma.

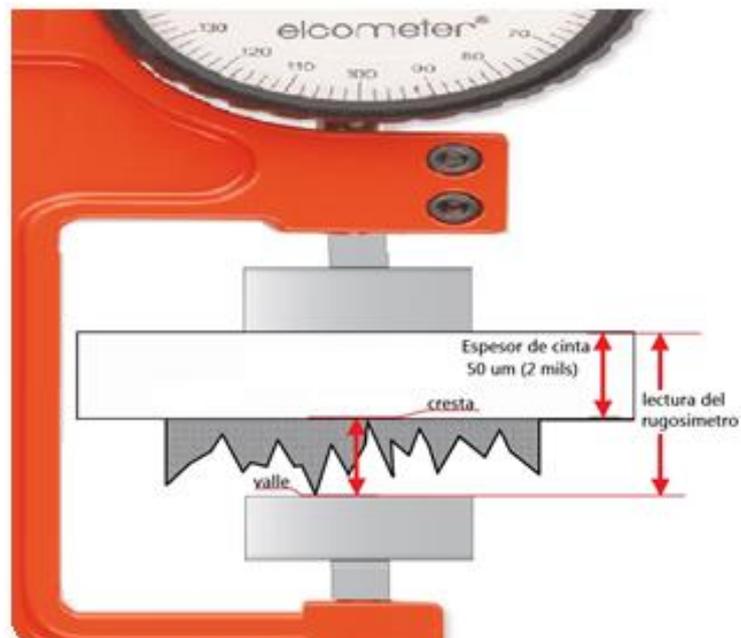


Figura 9. Cinta réplica entre yunques de medidor

Fuente: elaboración propia

La cinta réplica están clasificados de acuerdo al espesor de espuma que presentan con diferentes rangos: Coarse minus (Menos grueso), Coarse (Grueso), X Coarse (Extra grueso) y X Coarse plus (Extra grueso plus)

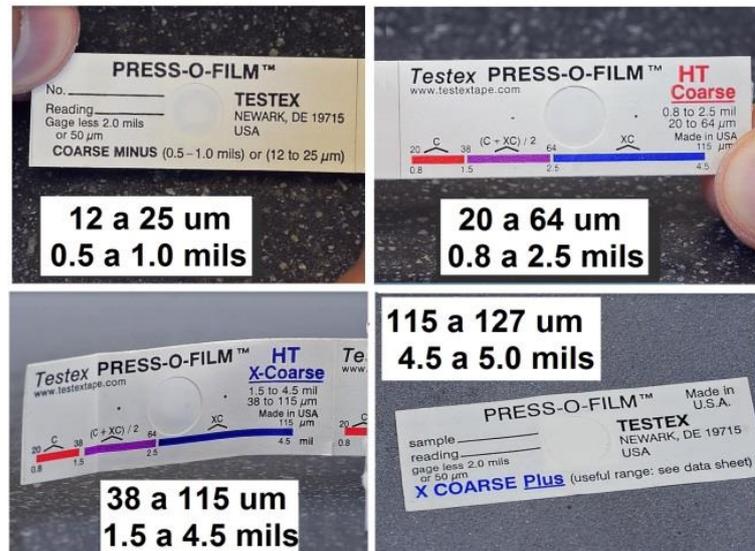


Figura 10. Diferentes rangos de cinta réplica.

Fuente: elaboración propia

La selección de la cinta réplica depende del rango de perfil de rugosidad, es decir de la distancia del valle a las crestas o picos. Si el perfil de rugosidad de la superficie metálica es mayor que el rango de la espuma de la cinta, este no imprimirá correctamente las valles más profundas, motivo por el cual se debe seleccionar la cinta con el rango de espesor adecuado para el tipo de perfil a medir.

Si se obtiene una medida que está en el valor máximo de la cinta su rango está escrito en la pieza de prueba para facilitar seleccione la próxima clasificación de la cinta y vuelva a probar de manera similar si la lectura está en la parte baja de la calificación de la cinta seleccione el siguiente grado y vuelva a realizar la prueba.

Entre la cintas existen superposiciones como por ejemplo entre la gruesa y la súper gruesa la superposición es de 38 – 64 µm o 1,5 – 2,5 mils. Si se mide una lectura de 38 a 64 µm (1,5 – 2,5 mils) se debe tomar una segunda medición en el mismo lugar con el otro grado de cinta.

Si ambos valores están dentro de este rango entonces se saca el promedio de las dos lecturas si el valor esta fuera de este rango se descarta el primer valor esto se muestra en la cinta para mayor claridad. Es importante tener en cuenta que si la fuerza de compresión de los resortes del micrómetro es demasiado grande los yunques trituraran la asuma. Dando una lectura más baja de lo real el elcometer está diseñado para estos casos asegurándose que los yunques no deformen la espuma.

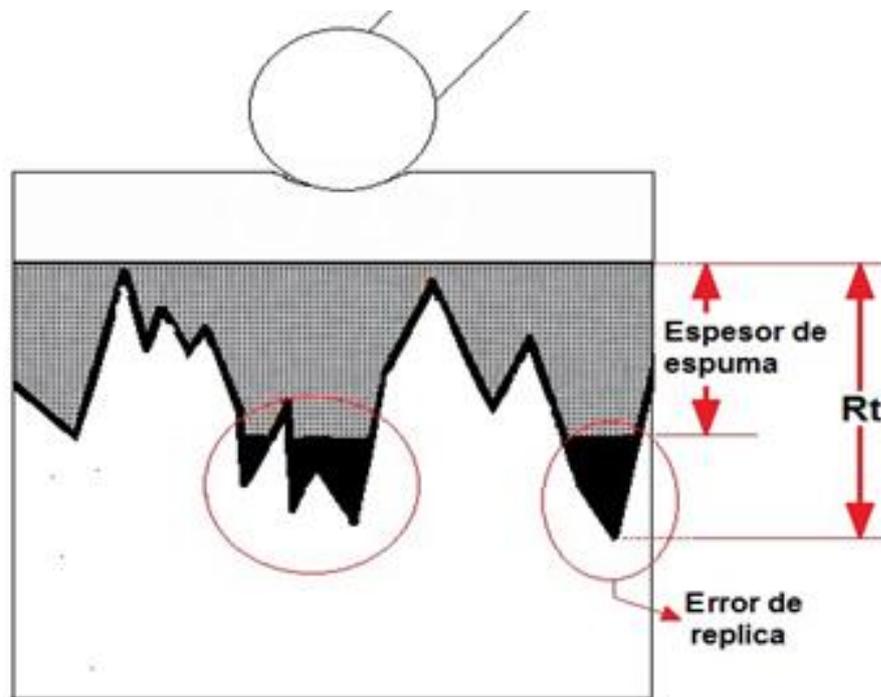


Figura 11. Cinta réplica de espesor inadecuado.

Fuente: elaboración propia

2.2.2. Método chorro abrasivo

Mediante un flujo de aire a presión que lo genera una máquina compresora adecuada y seleccionada de acuerdo a su capacidad se presuriza la máquina de arenado la cual transporta el material abrasivo a la boquilla la cual aceleran el abrasivo dándole una fuerza de corte con la cual se realiza la limpieza de superficies metálicas. El método de chorro abrasivo se define de la siguiente manera según los autores:

“El método de chorreo abrasivo se considera el mejor método de limpieza de superficies de acero porque elimina todo rastro de contaminantes, además que permite darle al sustrato el perfil de anclaje necesario que es fundamental para que la pintura a ser aplicada posteriormente tenga una buena adherencia.” (Nolasco, 2015, p.66)

Por su parte Sajmolo, 2012,p1 define el método de chorro abrasivo como el acto de impactar abrasivos a alta velocidad generado por gases altamente presurizados en este caso el aire, también se puede utilizar agua para la eliminación de contaminantes presentes en la superficie metálica. Chorro abrasivo.

Chorro abrasivo es la operación por la que se propulsa material abrasivo en un fluido presurizado se usa típicamente aire la cual se transfiere la fuerza al material abrasivo contra una superficie para eliminar contaminantes de una superficie, dar forma a un superficie, alisar una superficie rugosa o asperar superficies lisas.

a) Tipos de chorro abrasivo : Hay de dos tipos :

1) Chorro abrasivo seco.- El chorro abrasivo seco se divide en dos grupos :

- **Chorro abrasivo seco a succión.-** Su funcionamiento se basa en el efecto Venturi y de acá viene su nombre de succión. El equipo tiene una pistola de proyección que al atravesar el aire a gran velocidad se genera la succión a este punto se conecta una manguera que va a una tolva donde se encuentra el abrasivo este es succionado y va junto al aire hacia la superficie a tratar.

Esta pistola tiene dos mangueras una para el paso del aire que viene del compresor y otra conectada a la tolva donde se encuentra el abrasivo. El diámetro del inyector determina la cantidad de aire que sale de la pistola y de acuerdo a la boquilla se controla el área superficial a cubrir.

- **Chorro abrasivo seco a presión.-** Este es el más utilizado en los talleres de preparación de superficies y el que se va usar en el trabajo, tiene las ventajas de su movilidad, fácil uso y fácil adaptación a trabajos de gran envergadura.

Este tipo de sistema de arenado por presión se clasifican en :

- **Sistema de presión de funcionamiento continuo (cabinas).**- Son las elegidas cuando el trabajo es de gran volumen en estas cabinas la generación y recuperación de polvos y abrasivo son controladas, y las piezas a limpiar están limitadas por la dimensión de la cabina.

Las ventajas de usar estas cabinas son :

Alta recuperación de abrasivo en un 99%

Se recupera parte del abrasivo por parte del colector

No se requiere equipo de seguridad ya que el operador trabaja en el exterior.

Sistema por Presión funcionamiento intermitente: Usa una cámara única tienen la ventaja de usar varios tipos de abrasivo pero requiere que se detenga el proceso al recargar abrasivo.

La operación de los equipos presurizados es muy sencilla, Se vierte el abrasivo en la parte superior del tanque y una vez cargado éste, se inyecta aire a presión dentro del mismo. El abrasivo fluirá a través de una válvula dosificadora hacia la parte baja en donde se combina con el flujo de aire a presión que acelera la velocidad del abrasivo para expulsarlo por medio de la boquilla y así limpiar el sustrato.

Para elegir el equipo presurizado acorde a las necesidades de la persona o industria que requiera este servicio, deberá tomarse en cuenta :

El volumen de trabajo que va a realizar :

Número de operadores que requiere.

El uso que le va a dar al equipo ya sea ocasional o cotidiano.

El tiempo de uso continuo que requiera del equipo a tratar.

El tamaño del compresor con que cuenta.

- 2) Chorreo abrasivo en medio húmedo.**- Esta técnica consiste en crear un flujo líquido que transporté las partículas abrasivas, normalmente micro esferas de vidrio, siendo esta mezcla acelerada por aire comprimido.

La preparación de superficie consiste en combinar la acción de granallar o arenar de las partículas abrasivas con la acción amortiguadora de la película líquida en el sustrato.

Esta amortiguación permite la abrasión mínima del sustrato, así se logra remover óxidos, revestimientos, cascarillas, etc., mediante este sistema no se malogra la superficie trabajada ya que las partículas no actúan directamente en el sustrato, evitándose riesgos de fractura e incrustaciones.

2.2.3. Usos del método de chorro abrasivo

El chorro de abrasivos es utilizado en diferentes procesos siendo las más importantes los siguientes:

Se utiliza en la limpieza superficial donde permite remover contaminantes como óxidos y cascarillas de laminación en caso de los metales, permite también remover restos de pintura u otro tipo de contaminantes adheridos a la superficie, este proceso es generalmente aplicado en las industrias metalmeccánicas como tratamiento superficial para la aplicación de recubrimientos.

Este método también es utilizado en el tratamiento de las superficies del vidrio o cerámicas en especial en el grabado o el tallado con diferentes tonalidades que se logra con el control de parámetros como la presión.

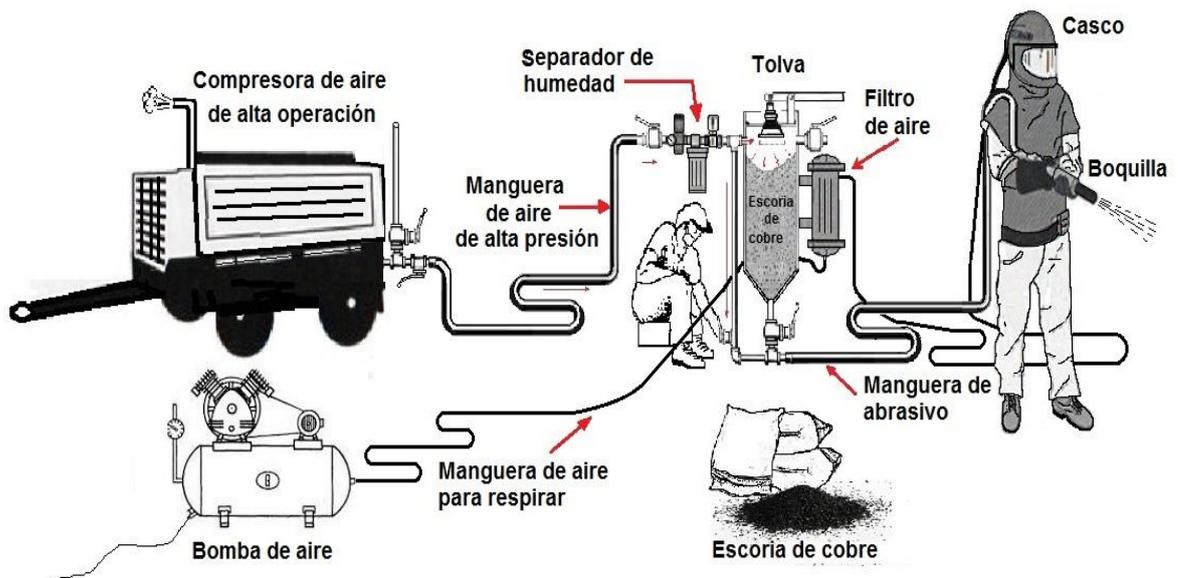
En la actualidad se utiliza en el rasgado de telas con acabados de diferentes texturas como por ejemplo los pantalones jeans. (Sajmoló, 2012)

2.2.4. Componentes básicos de una instalación de chorreo abrasivo

Los componentes básicos de una instalación de arenado o granallado, está constituido de los siguientes equipos :

- a)** Compresor de aire
- b)** Filtro separador de aire y humedad de compresor
- c)** Mangueras de aire
- d)** Tolva
- e)** Sistema Dead Man (Hombre muerto)
- f)** Filtro para línea de aire del operador
- g)** Manguera de arenado
- h)** Boquilla
- i)** Traje y casco de escoreador

Figura 12. Equipos de escoriado



Fuente: elaboración propia

- a) **Compresor de aire.**- Es parte del equipo necesario para la limpieza por chorro abrasivo, los compresores por su uso en diferentes lugares son por lo general portátiles remolcables por otros vehículos y utilizan motores diesel.

Para una correcta preparación superficial se tiene como requisito usar una presión continua mínima de 100 PSI, y un flujo de aire en el rango de 80 a 300 pies cúbicos por minuto. (Nolasco, 2015)

- b) **Filtro Separador de Aire y Humedad.**- Es parte de los equipos necesarios se instala en la línea de aire comprimido, deben ser chequeado y purgados constantemente

Este elemento se instala en la línea de aire comprimido, seleccionándose de tal manera que sea adecuada a la presión y caudal requerido. Los más usados en obra son los de separación ciclónica y filtrado.

Estos filtros deben ser chequeados y purgados constantemente cuando se realiza la actividad de preparación de superficie para evitar que el aire contamine de humedad al abrasivo y este a su vez contamine el sustrato. (Nolasco, 2015)

- c) **Mangueras de aire.**- La manguera para aire es la que conecta el compresor de aire con la Tolva, por lo general su longitud no es muy grande y deberá soportar las presiones de trabajo a que se somete. El principal punto a tomar en cuenta es mantener una distancia adecuada entre el compresor y el área

de trabajo para evitar que los residuos del área de trabajo lleguen al compresor y esté pueda afectar los filtros de aire del motor. (Nolasco, 2015)

El diámetro de la mangueras por lo general está entre 3/4" – 1", en los extremos de las mangueras son usadas conexiones de bronce tipo "garra" para una mayor facilidad y rapidez a la hora de ensamblar y desensamblar el equipo. (Nolasco, 2015)

Es una manguera flexible, ligera y económica para el manejo del aire en equipos y cabinas. Tanto el tubo interior como la cubierta exterior de estas mangueras deben ser resistentes a la abrasión y a la intemperie. (Nolasco, 2015)

- d) Tolva de arenado.**- Estas son máquinas neumáticas de funcionamiento muy simple, son normalizadas de acuerdo a código ASME para recipientes a presión, para dar seguridad a los operadores debido a las presiones altas con las que se trabajan, vienen fabricadas para distintos volúmenes de almacenamiento del abrasivo lo que permite un menor o mayor autonomía de trabajo, luego del cual hay que recargar abrasivo. (Nolasco, 2015)

Todas las tolvas de arenado tienen la misma función esencial, que es la de proporcionar una cantidad de abrasivo a una corriente de alta presión. La diferencia entre un equipo u otro es la capacidad de almacenamiento de abrasivo y la cantidad de cámaras que contengan. (Nolasco, 2015)

Los depósitos van desde 50 hasta los 400 L de almacenamiento, en algunos casos se especifican por kilos de almacenamiento de abrasivo, pero es relativo debido a los diferentes pesos volumétricos entre la arena sílice, la granalla, las esferas de vidrio, etc. (Nolasco, 2015)

Son equipos que permiten una gran movilidad en la obra, donde se sabe que la movilización de equipos implica bastantes complicaciones. Sabemos que las maquinas que se usan en los talleres (cabinas de arenado son para producción continua y de piezas de tamaños pequeños) no son rentables ni posibles debido a su poca movilidad cuando se trata de arenar el interior o exterior de un tanque por ejemplo. (Nolasco, 2015)

- e) Sistema dead man "Hombre muerto".**- Este es un sistema de control remoto mediante el cual el operador puede iniciar o parar el chorro de abrasivo desde la boquilla y obtener el control sobre el trabajo de chorreo de

abrasivos. Este mayor control sobre el chorro se traduce en un ahorro del 20 a 40% en el consumo de abrasivo ya que en el momento que el operador desea parar, solamente tiene que liberar el switch del control remoto para que instantáneamente se cierre el paso del aire y del abrasivo. (Nolasco, 2015)

Pero la mayor prestación de este sistema es la de proporcionar seguridad a las personas que trabajan directamente en la preparación de superficie, ya que el arenador puede sufrir un desmayo o tropezar, escapársele la manguera de arenado o percibir personas no autorizadas en las cercanías, y si no tuviera la posibilidad de controlar el chorro de arena, lo más posible es que sufra el latiguo de la manguera de arenado, impactar directamente chorro de arena a otras personas, lo que ocasionaría fatalidades. Obviamente este sistema trabaja con un switch presionado por el operario arenador y al dejarlo libre el sistema de chorro de abrasivo se corta inmediatamente. (Nolasco, 2015)

- f) Filtro para línea de aire del operador de arenado.**- En el proceso de la preparación de superficie la protección contra la polución es la más crítica, debido a que nunca es conveniente respirar ningún polvo, pero en el caso del arenado se puede respirar sílice libre responsable de una enfermedad de trámite irreversible: la silicosis. (Nolasco, 2015)

También se debe pensar en que aunque se use un abrasivo diferente a la arena sílice, el polvo producido por la pintura, óxidos y otros contaminantes removidos por el chorreo abrasivo son muy nocivos o directamente tan o más tóxicos y peligrosos como la arena misma. (Nolasco, 2015)

Porque se considera la salud de la persona como lo más importante del proceso, es que el aire que llega a la escafandra del operario a través de su línea de aire de respiración debe ser convenientemente filtrada, apta para la respiración humana y con un máximo de 10 ppm de monóxido de carbono en un caudal de aproximadamente 0,5 m³/min. Caudales menores pueden permitir entrada de partículas de polvo y caudales mayores causan irritación en los ojos. Para ello se utilizan dos sistemas. El más difundido es un filtro especialmente diseñado para respiración humana, que recibe aire del equipo compresor y la hace llegar hasta el equipo de protección de presión positiva.

El filtrado del aire requiere retener partículas mayores a $0,5 \mu$, aerosoles de aceite y agua. Además desodorizan el aire para hacerlo agradable para la respiración. (Nolasco, 2015)

Es preferible disponer de un pequeño compresor de aire libre de aceite para alimentar este tipo de filtros. Sin embargo, lo más usual es utilizar el mismo compresor tanto para la impulsión del abrasivo como para el aire de respiración. Aquí hay un riesgo potencial muy elevado debido a que estos compresores son lubricados y es muy factible la emisión de CO por exceso de lubricación o por sobrecalentamiento. En estos casos siempre se debe utilizar una alarma de CO en la línea de aire que llega al operador. Nunca es suficiente la precaución y los cuidados con esta línea de aire que respira el operador, ya que ha sido causa de accidentes con fatalidad. (Nolasco, 2015)

Un requerimiento aceptado para el aire de respiración humana es el siguiente :

- 1) Oxígeno de 19,5% a 23,5%
- 2) Aceite condensado MAX $5 \mu\text{g} / \text{m}^3$
- 3) Monóxido de carbono MAX 10 ppm
- 4) Dióxido de carbono MAX 1 000 ppm (Nolasco, 2015)

Debido a las consideraciones arriba mencionadas~ se usan filtros en modelos para 04 y 06 operadores, ambos tienen cuerpo en acero soldado, rosca para adaptar la entrada de aire, regulador de presión, manómetro, válvula de seguridad, válvula de drenado, espiga de salida para operador, tapón en las demás salidas y un elemento filtrante fácilmente sustituible que tiene distintas etapas de filtrado, entre las cuales destacamos las fibras de poliéster, carbón activado y alúmina activada. Gracias a estas distintas etapas de filtrado, este filtro elimina las partículas sólidas existentes en el aire comprimido, así como el aceite, agua y el olor, suministrando al operador un aire de buena calidad. (Nolasco, 2015)

g) Mangueras de escoriado.- Las mangueras de arenado, son mangueras reforzadas de varias capas de hule natural sin alambres o refuerzos por lo general tienen la capacidad de no generar cargas electrostáticas que puedan crear chispas en lugares peligrosos por ambientes de explosividad. (Nolasco, 2015)

También estas mangueras están diseñadas para soportar la abrasión en el interior de ellas. Por lo general se manejan tramos de 15 m de longitud y con diámetros de interiores de 1" o 1 1/4" para boquillas de 3/8". El diámetro interior de la manguera deberá ser 3 o 4 veces mayor del diámetro interior de la boquilla. (Nolasco, 2015)

En las extremidades de la manguera se usan conexiones de bronce de tipo "garra" y en el extremo final de la manguera una conexión con porta boquilla roscada. Estas mangueras tienen gran resistencia externa al maltrato y el tubo interno le proporciona gran duración, adicionalmente le brinda seguridad en la conducción de las cargas estáticas producto de su operación normal. Por tema de seguridad contra el latiguo de las mangueras al soltarse o deteriorarse un empalme se colocan seguros anti latiguo como uniones entre las mangueras. (Nolasco, 2015)

h) Boquillas de arenado.- La función de las boquillas es reducir el área de salida para así provocar un aumento de presión en la salida y hacer eficiente el sopleteo. Las boquillas para sopleteo se fabrican en varios materiales, de los cuales los más comunes son cerámica, hierro vaciado y carburo de tungsteno. Las dos primeras son más económicas pero con una vida útil de 2 a 4 horas de servicio continuo, en cambio las boquillas de tungsteno son más caras pero con una vida útil aproximada de 300 hasta 800 horas de servicio continuo. Normalmente una sola boquilla no puede ser la solución para todos los requerimientos de aplicación, pues se requiere seleccionar la boquilla adecuada para cada trabajo ya que esta es la mejor forma de asegurar una buena velocidad de trabajo, calidad y eficiencia. (Nolasco, 2015)

Las boquillas se escogen dependiendo del tipo y área a limpiar.

La eficiencia de las boquillas se puede comparar en base a un mismo volumen de aire suministrado, entonces tenemos que :

- 1) Boquilla de 1/4" = 100%
- 2) Boquilla de 5/16" 157% más que la boquilla de 1/4"
- 3) Boquilla de 3/8" = 220% más que la boquilla de 1/4"
- 4) Boquilla de 7/16" 320% más que la boquilla de 1/4"
- 5) Boquilla de 1/2" = 400% más que la boquilla de 1/4" (Nolasco, 2015)

Las boquillas de tipo Venturi se diferencian de las de tipo recto en que las primeras presentan un "acinturamiento" al centro de la boquilla que provoca un aumento en la presión en esa área y una mayor velocidad a la salida, por lo que proporcionan un mayor rendimiento con el mismo suministro de aire. (Nolasco, 2015)

Boquillas de carburo de tungsteno

Diseñadas para lograr un volumen de producción mayor al de las boquillas de diámetro recto en un 40% aproximadamente. Su diseño acelera y distribuye de manera uniforme el abrasivo. Esta boquilla es una de las más conocidas por su gran eficiencia en trabajos de gran demanda de chorro abrasivo. (Nolasco, 2015)

- i) Traje y casco de arenador.-** El traje protector para arenado protege al usuario del impacto de las partículas abrasivas que rebotan. El traje protector para arenado es la mejor alternativa para el trabajo de arenado, ya que combina una excelente relación costo – beneficio con la seguridad y el confort, incluso durante un uso prolongado. Cuenta con una conexión de aire en la parte trasera para mayor flexibilidad y adaptabilidad a diferentes entornos y condiciones extremas de trabajo. (Nolasco, 2015)

Características del protector para arenado: Casco realizado en fibra de vidrio, en su interior posee un gorro acolchado. Visor de vidrio con un policarbonato en la parte interna para protección en el caso de rotura del vidrio. Un cuello elastizado para evitar el ingreso de partículas de arena y un delantal de cuerina protege el tórax. Válvula de bronce en la parte posterior del casco, para la entrada de aire. (Nolasco, 2015)

2.2.5. Escoria

Es el material que se utiliza como medio de desgaste en las superficies, la escoria pueden ser de diferentes materiales, tamaños de diámetros, dependiendo su elección por la dureza, precio, abundancia y otras características que considere el usuario.

Tabla 1*Perfil de anclaje de abrasivos*

<u>Abrasivo</u>	<u>Perfil de Anclaje</u>				
	25 µm	37 µm	50 µm	63 µm	75-100 µm
Arena Silica	Malla 30/60	Malla 30/60	Malla 30/60	Malla 30/60	Malla 30/60
Granalla de	G80	G50	G40	G40	G25
Granalla de	S110	S170	S280	S330	S390
Garnet	Malla 80	Malla 36	Malla 36	Malla 16	Malla 16
Óxido de	Angular 100	Angular 50	Angular 36	Angular 24	Angular 16

Fuente: Publicado por SSPC-SP COM en Noviembre 1 de 2004

a) Tipos de abrasivos :

- 1) **Arena sílica.**- La arena sílica es un tipo de abrasivo muy utilizado por el bajo costo de su adquisición lo perjudicial en el uso de limpieza por el método de chorro de abrasivos es que emite alta concentración de polvo con la emisión de sílice debido a su fragilidad presentado riesgo en la salud de los operarios para los cuales la seguridad debe estar en alta prioridad.
- 2) **Óxido de aluminio.**- Este abrasivo angular es uno de los más populares en el mercado debido a su rapidez en la limpieza, además de la profundidad en su corte y aceptable tasa de reutilización. (Nolasco, 2015)
Según el tesista Nolasco, indica que es uno de los más utilizado por su gran corte y poder de reutilización y poder de abrasividad.
- 3) **Carburo de silicio.**- Es el abrasivo más duro, afilado y costoso en el mercado. Está clasificado como 13 en la escala de Mohs', haciéndolo ideal cuando se requiere un corte fino, pero profundo, al igual que para

remover residuos tratados con calor de partes endurecidas. Este abrasivo tiene también un buen número de re-usos, ya que cuando las partículas se estrellan sobre la superficie y se fragmentan en partículas más pequeñas no pierden su filo, por lo que siguen teniendo una buena acción de corte a pesar de reducir su tamaño. (NOLASCO, 2015, p. 88)

El tesista considera a este material ideal para superficies que requieren ser removidos lo más rápidos posible y tener menos exposición con el trabajador, es un abrasivo de alto costo y gran poder cortante y reutilizable.

- 4) Escoria de cobre.-** La escoria de cobre es un abrasivo que se obtiene como desecho en la purificación del cobre en los hornos pirometalúrgicos de alta temperatura, son considerados como contaminantes pasivos debido a que se encuentran ocupando extensas áreas. La escoria de cobre como abrasivo genera buenos resultados para a tenacidad y dureza que presenta, es por ello que son utilizados en la limpieza superficial metálica además tiene un contenido bajo de sílice.

En material el tesista Nolasco indica que por la abundancia y gran dureza y gran poder de corte, y su bajo costo, este abrasivo ha tomado gran uso.

2.3. Conceptual

Limpieza superficial metálica son todos los procedimientos que permiten eliminar contaminantes como óxidos, restos de pintura y cascarillas de laminación, se inicia con la etapa de pre limpieza superficial, donde se realiza la inspección de las estructuras metálicas caracterizando el grado de corrosión que presentan, se identifican defectos de fabricación como filos cortantes, restos de soldadura y pegotes, además de contaminantes como grasas y aceites, seguidamente se procede a la eliminación de los defectos de fabricación con herramientas manuales o de poder y la eliminación de grasas y aceites con lavado. La etapa de pre limpieza superficial es de suma importancia ya que una mala inspección permite la presencia de los agentes mencionados, siendo estos contaminantes o defectos de fabricación puntos donde la preparación superficial sea defectuosa generando una mala adherencia del recubrimiento sobre el metal

con espesores fuera de lo especificado y por lo tanto sean puntos de inicio de la corrosión.

La etapa de limpieza superficial involucra el funcionamiento en conjunto de los equipos con el fin de generar el chorro de abrasivos a alta presión dentro de la cabina de escoriado. Con este método se eliminan óxidos, restos de pintura y cascarillas de laminación. Hasta alcanzar la calidad de superficie especificado como por ejemplo al metal blanco, al metal comercial según normas (SSPC, NACE e ISO). En esta parte del proceso se alcanza el perfil de rugosidad de la superficie metálica de acuerdo a las especificaciones técnicas de las pinturas o recubrimientos que permitirán el buen anclaje del recubrimiento sobre el sustrato, prolongando de esta manera la durabilidad de las estructuras metálicas frente a la corrosión, según norma ASTM D-4417

El uso de escoria de cobre como abrasivo es una alternativa en la limpieza superficial metálica debido a la dureza y tenacidad que presenta, la granulometría adecuada permite alcanzar el perfil de rugosidad deseado sobre la superficie metálica.

Los diferentes grados de limpieza superficial metálica se requieren de acuerdo a lo que indica en las especificaciones técnicas del sistema de protección anticorrosiva. Siendo las más solicitadas:

- a) **Grado metal blanco según norma SSPC – SP5.**- en este tipo de limpieza se asegura que la estructura esté libre de contaminantes visible como grasa, aceites, restos de pintura, cascarillas de laminación, sin la presencia de sombras de óxido.
- b) **Grado metal casi blanco según norma SSPC – SP10.**- en este tipo de limpieza se asegura que la estructura esté libre de contaminantes visibles como grasa, aceites, restos de pintura y cascarillas de laminación. Este tipo de proceso debe estar representado con el 95% de limpieza por unidad de área.
- c) **Grado metal comercial SSPC – SP6.**- Este tipo de limpieza acepta un 33% de sombras generadas por óxidos o cascarillas de laminación por unidad de área estando el 67% libres contaminantes como grasas, aceites y defectos metal mecánicos.

2.4. Definición de términos básicos

- a) **Abrasivo.**- Es una herramienta de trabajo que se utiliza para pulir amolar devastar y acabar. Esta herramienta de trabajo o sustancia en algunos casos que se usan en diferentes industrias tiene como meta actuar sobre otros materiales.
- b) **Chorro abrasivo.**- Descarga de fluido a alta presión que transporta partículas abrasivas con el fin de remover materiales como herrumbres, pinturas, etc.
- c) **Escoria.**- Sustancia vítrea que se forma por la flotación de impurezas en el Crisol en los hornos metalúrgicos.
- d) **Perfil del anclaje.**- Es la geometría de la superficie metálica que está caracterizado por la distancia de picos a los valles con el fin de alcanzar la mayor adherencia de la capa de recubrimiento (pintura).
- e) **Rugosidad.**- Son las asperezas de una superficie a nivel de micrómetros que depende del acabado para el cual han sido preparados.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general.

La optimización del proceso de la limpieza superficial metálica mediante chorro abrasivo utilizando escoria de cobre, se logrará cuando el perfil de rugosidad descansa en el intervalo de 1 a 3 milésimas de pulgada (mils).

3.1.2. Hipótesis específicas.

- 1) Al finalizar el proceso de limpieza metálica, se obtendrá el grado de metal blanco libre de contaminantes.
- 2) Los factores más relevantes que afectan la operación de limpieza por el método de chorro abrasivo a presión y granulometría constante son :
 - a) Angulo de impacto del abrasivo a la superficie metálica
 - b) Distancia de impacto
 - c) Tiempo de proceso

3.2. Definición conceptual de variables

1) Variable dependiente

Y = La optimización del proceso de limpieza superficial metálica con perfil de rugosidad especificado.

2) Variable independiente

Método chorro abrasivo con escoria de cobre.

3.2.1. Operacionalización de variables

Tabla 2*Variables dimensionales e indicadores*

VARIABLES DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES
Y = La optimización del proceso de limpieza superficial metálica con perfil de rugosidad especificado.	Variación de perfil de Rugosidad	- Rugosidad medida con cinta réplica

VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES
Método chorro abrasivo con escoria de cobre.	Porcentaje de presencia de cascarilla de laminación u óxidos.	- De 100% a 0%
	X1 = Angulo de impacto del abrasivo sobre superficie metálica	- Valor del ángulo
	X2 = Distancia de boquilla a superficie metálica	- Valor de la distancia
	X3 = Tiempo de escoriado	- Intervalos de tiempo

Fuente: elaboración propia

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Tipo y diseño de investigación

- a) **Por su diseño interpretativo.**- Es experimental ya que las pruebas realizadas se basaron en la evaluación y análisis e interacción según nuestro diseño de factores.
- b) **Por el énfasis en la naturaleza de los datos manejados.**- Los datos obtenidos fueron de carácter cuantitativo
- c) **Por su finalidad.**- La investigación fue de tipo aplicada ya que los resultados están orientados a optimizar y mejorar el método del chorro abrasivo que se realiza en la empresa PROINMSA SAC
- d) **Por el ámbito de desarrollo.**- De planta, se realizaron las pruebas en la empresa PROINMSA SAC sobre planchas metálicas que son usadas para construir estructuras metálicas.

4.2. Método de investigación

El método realizado en la presente investigación se ha desarrollado de acuerdo al diagrama mostrado en la **Figura 13 (Ver pag. N° 45)** y el diseño experimental mostrado en la **Figura 14 (Ver pag. N° 46)**

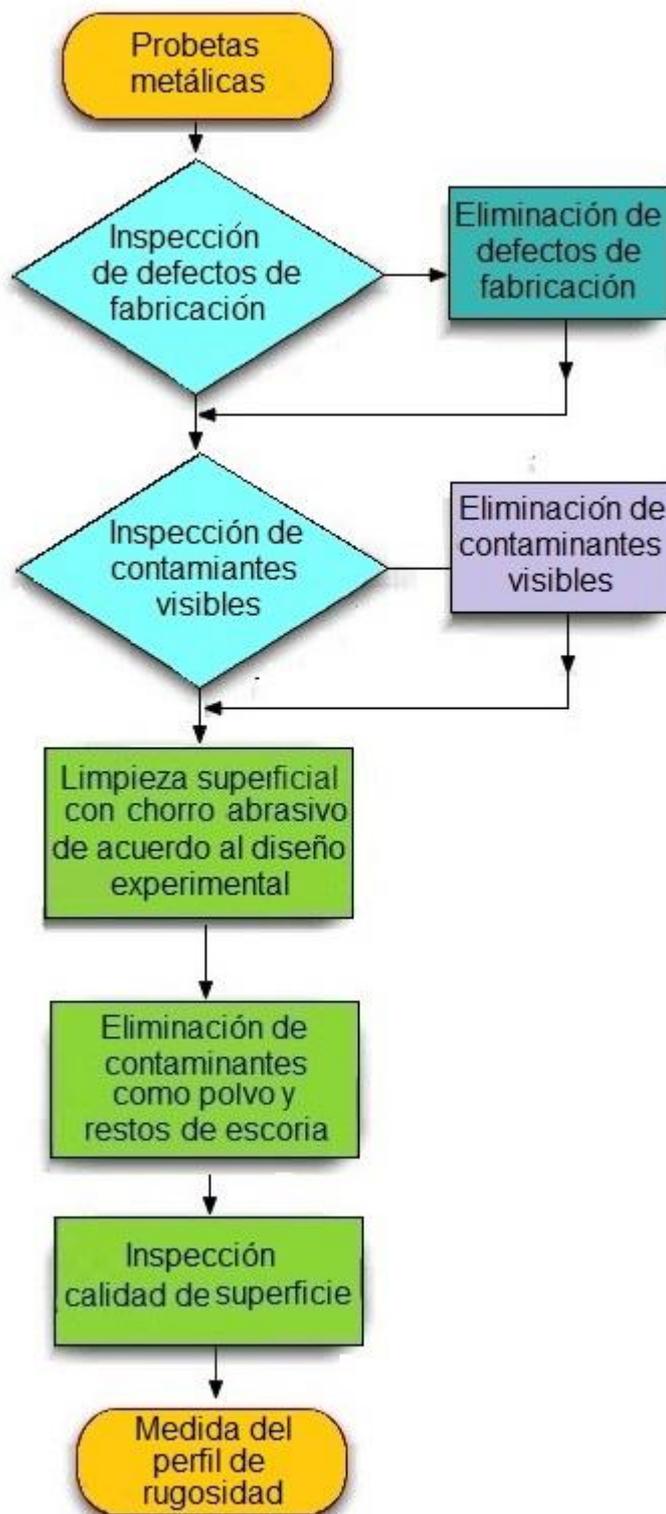


Figura 13. Método de Investigación

Fuente: elaboración propia

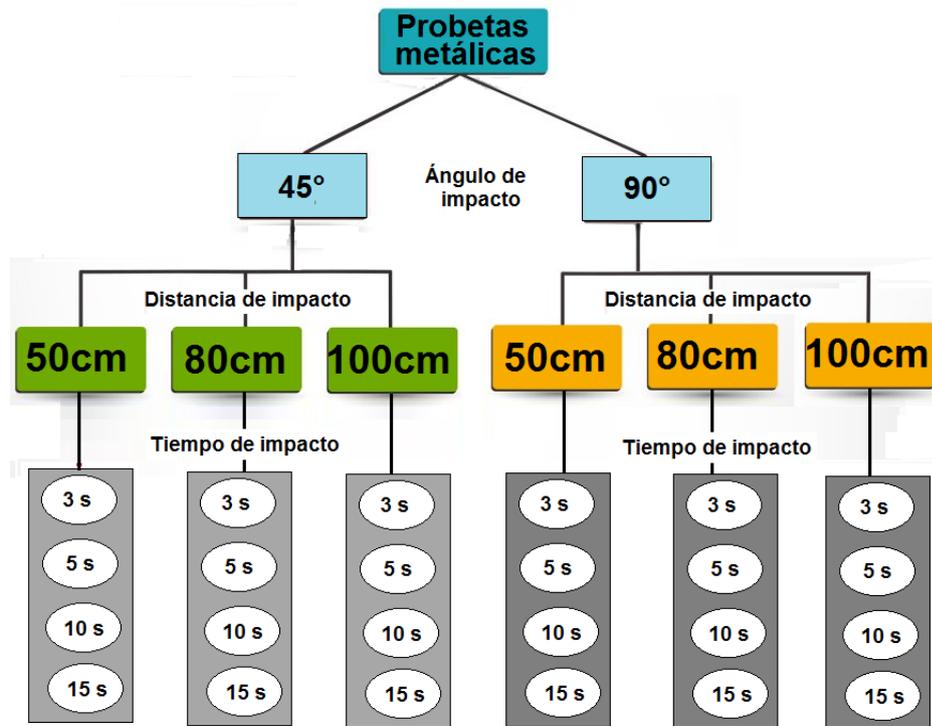


Figura 14. Diseño experimental
Fuente: elaboración propia

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

Estará conformada por un lote de estructuras metálicas entre vigas, canaletas y planchas en la empresa PROINMSA SAC.

4.3.2. Muestra

Para la presente investigación la muestra está conformada por 24 probetas metálicas rectangulares de 20cm de ancho y 30cm de largo con grado de corrosión Tipo A. Esta cantidad de probetas se obtiene por el diseño factorial $2 \times 3 \times 4 = 24$ pruebas.

4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

PROINMSA SAC empresa de fabricación de estructuras metálicas preparación de superficie y pintura, ubicado en el distrito de Puente Piedra, departamento de Lima en Perú; el periodo desarrollado de la investigación fue por 7 meses; iniciado en enero 2019 y finalizado en Agosto 2019

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

Las técnicas e instrumentos que se utilizaron, para la recopilación, procesamiento y despliegue de la información son :

4.5.1. Técnicas

Las principales técnicas que se han utilizado para la recolección de información son :

- a) Entrevista.-** Al operario que realiza el escoriado, mediante preguntas elaboradas sobre la aplicación del chorro abrasivo para la limpieza superficial metálica.
- b) Medición.-** La distancia de la boquilla a la plancha metálica, el perfil de rugosidad y el tiempo.
- c) Comparación.-** En la calidad de superficie (comercial o blanco)
- d) Revisión Bibliográfica.-** Se ha consultado tesis, revistas e internet.
- e) Observación de campo.-** El correcto funcionamiento de los equipos de escoriado, la calidad de superficie metálica, el grado de corrosión y defectos de fabricación de los metales.
- f) Uso de probetas.-** La disposición de probetas metálicas de 20 cm x 30 cm
- g) Chorro de abrasivos.-** Técnica de impactar abrasivos sobre la superficie metálica con el fin de eliminar cascarillas de laminación y óxidos.

4.5.2. Instrumentos

- a) Equipos de limpieza superficial.-** Los equipos que se utilizaron en la limpieza superficial operaron conjuntamente con el fin de generar el chorro de abrasivo de escoria de cobre sobre las superficies metálicas, los cuales se describen a continuación :
 - 1)** Compresora de aire con rodamiento del tipo tornillo con motor diésel de operación pesada para alto rendimiento, con sistema de operación automático con generación de 90 PSI de presión.
 - 2)** Tolva de escoriado de cabina simple con circuito de aire presurizado y control manual de operación discontinua, debido a que el abrasivo es alimentado sin presión por la parte superior y tiene una capacidad de 300 L



Figura 15. Compresora y tolva
Fuente: elaboración propia

- 3) Manguera de caucho con refuerzo textil de 15 m de longitud con diámetros de interiores de 1".
- 4) Boquillas o pico de proyección de escoriado de 3/8"



Figura 16. Manguera y boquillas
Fuente: elaboración propia

- 5) Extractor de humedad
- 6) Filtro para línea de aire del operador de Escoriado
- 7) Traje y Casco de escoriado



Figura 17. Extractor de humedad – Traje de escoriado
Fuente: elaboración propia

b) Equipos de medición :

- 1) Medidor de perfil de rugosidad (micrómetro con cinta réplica)
- 2) Wincha
- 3) Cronómetro
- 4) Regla tipo escuadra de 45°

c) Materiales :

- 1) Abrasivo (escoria de cobre)
- 2) Planchas de metal de 20 cm x 30 cm de grado de corrosión del tipo A



Figura 18. Escoria y probetas
Fuente: elaboración propia

4.6. Análisis y procesamiento de datos

4.6.1. Preparación superficial metálica

Involucra diferentes etapas que se cumplieron con el fin de alcanzar la calidad de superficie y el perfil de rugosidad especificado, dichas etapas se detallan a continuación.

- a) Inspección visual pre - limpieza superficial.**- Los contaminantes visibles defectos de fabricación y grado de corrosión fueron identificados en el total de las planchas usadas como probetas.
- b) Contaminantes Visibles (ASTM D3276).**- Se realizó la inspección de contaminantes en elementos en Fierro Negro de las planchas de metales usados como probetas, se identificó restos de grasa en la superficie, se realizó la eliminación de los contaminantes con detergente industrial biodegradable Deterjet 20 en todas las probetas contaminadas según las norma. SSPC-SP1
- c) Defectos de fabricación (NACE RP 0178).**- Se realizó la inspección de las probetas identificando, filos cortantes y restos de soldadura, los cuales fueron eliminados con herramientas de poder (esmeril)

- d) Estado de oxidación (SSPC – VIS1).**- El grado de oxidación o corrosión de las probetas fueron del Tipo "A", con cascarilla de laminación intacta. Presentó grado de corrosión tipo "B" solo en forma puntual.
- e) Inspección del abrasivo (SSPC – ab2 / ab3).**- Se realizó la inspección de la escoria de cobre el cual presento características angulares con presencia de finos según las normas SSPC – ab2 / ab3
- f) Cámara de escoriado manual.**- La escoria utilizada es recuperada en forma manual con palas y llevada a una zona de filtros donde se separan los finos de la escoria mediante un ventilador. Luego es clasificada en tamices y almacenada en las tolvas para ser reutilizada.
- g) Determinación de aceite.**- Se realizó la prueba "vial test" a la escoria de cobre para determinar presencia de aceite y grasa, lo cual resulto exento de las mismas, permitiendo el uso como abrasivo en la limpieza superficial metálica.
- h) Determinación de conductividad en el abrasivo.**- Se realizó la prueba de conductividad en la escoria obteniéndose un valor de 174 $\mu\text{S}/\text{cm}$, este valor de Conductividad en el Abrasivo son menores al valor máximo admisible (1 000 μ siemens/cm), según la norma ASTM D – 4940/SSPC – AB3
- i) Inspección del aire.**- Esta prueba se realizó para la detección de humedad y grasas en la línea de aire para la limpieza de polvo en las probetas. La línea de aire se dirigió hacia un papel en blanco a una distancia de 0,80 m por 30 segundos aproximadamente y observó que el papel blanco estaba exento de humedad y grasas según la norma (ASTM D 4285)



Figura 19. Inspección de humedad y grasa
Fuente: elaboración propia

- j) Inspección del escoriado (SSPC vis 1).**- Se inspecciono la calidad de la superficie al grado Metal Blanco, según norma SSPC–SP5
- k) Presencia de cloruros en la superficie recién escoriada (SSPC – Guía 15).**- Se realizó la extracción de sales en la superficie recién escoriada por el método analítico Swabbing – Quantab de iones cloruros, el cual resultó menor a 28 ppm [Cl-]. Dicho valor es aceptado por ser menor al valor máximo admisible de 50ppm [Cl-] para estructuras pintadas y expuestas al ambiente.



Figura 20. Inspección extracción de sales
Fuente: elaboración propia

- I) **Post – limpieza (ISO 8502 – 3).**- Se realizó la evaluación de la post limpieza identificando presencia de polvo menor a la clase 02 según patrón visual, para eliminar las mismas se aumentó la presión de la línea de aire comprimido y el tiempo de limpieza.

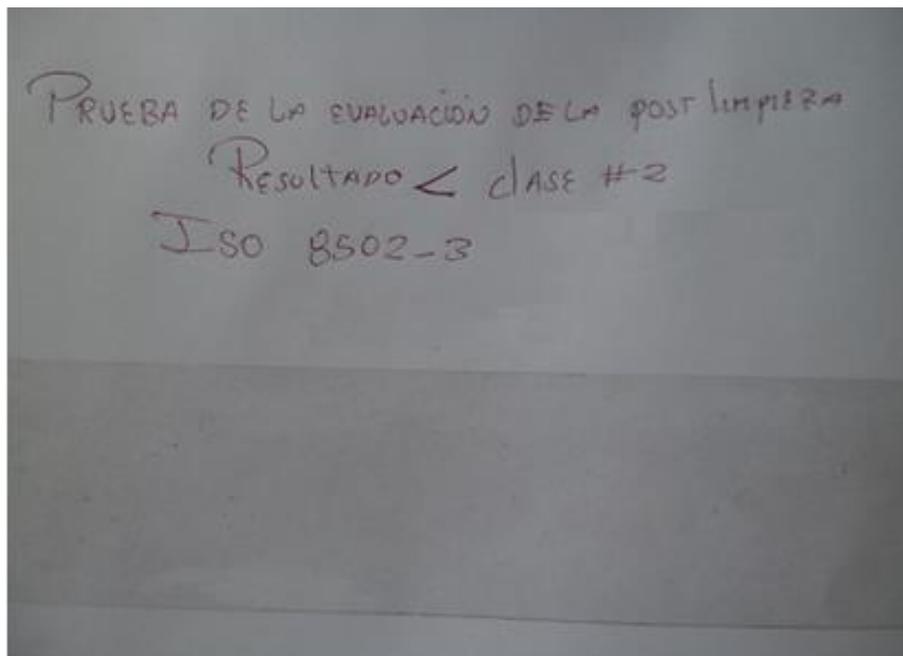


Figura 21. Prueba de evaluación post limpieza.
De acuerdo al ISO 8502-3 la cual resultó menor a la clase #2
Fuente: elaboración propia

4.6.2. Desarrollo experimental

Las diferentes pruebas de limpieza superficial metálica con el método de chorro abrasivo con escoria de cobre, fueron realizados con la variación de parámetros que influyen en el perfil de rugosidad :

- a) La distancia de la boquilla de escoriado al punto de impacto en la superficie metálica.
- b) El tiempo de exposición de la superficie metálica en la línea de disparo de los abrasivos.
- c) El ángulo de impacto

La presión del aire generada por la compresora se mantuvo constante a 90 PSI, la caída de presión a 88 PSI a la salida de la boquilla de escoriado, el cual fue medido constantemente con la prueba de la “aguja hipodérmica” según la norma ASTM D 4285



Figura 22. Prueba de aguja hipodérmica (ASTM-D4285).
Con la que se determina la caída de presión de la compresora a la boquilla.
Fuente: elaboración propia

La granulometría de la escoria que se uso es de grano medio que se muestra en la

Tabla 3 Granulometría de escoria de

Tabla 3

Granulo de escoria de cobre

Malla US	12	18	30	50	70	ciego
Micrones	1680	1000	595	297	210	ciego
MAXIMO	10%	40%	50%	25%	7%	3%
MINIMO	0%	20%	30%	10%	1%	0%

Fuente: elaboración propia



Figura 23. Escoriado

Fuente: elaboración propia

Para el desarrollo experimental se han utilizado como probetas planchas metálicas rectangulares de ancho de 20 cm y de largo 30 cm, con un grado de corrosión del tipo A con cascarillas de laminación intacta, dichas probetas fueron identificadas de acuerdo al tipo de prueba.

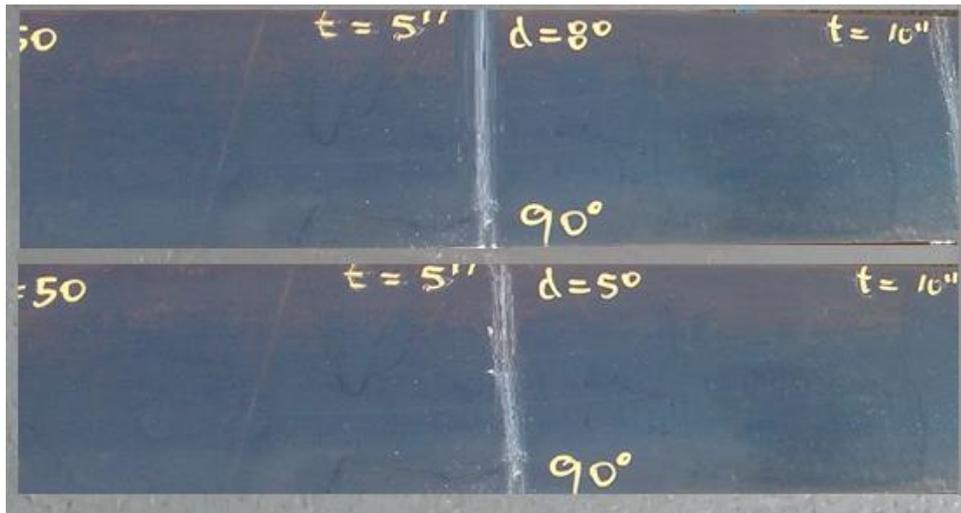


Figura 24. Probetas rotuladas
Fuente: elaboración propia

Se prepararon 24 probetas, de las cuales la mitad fueron escoriados con un ángulo de impacto de 90° y la otra mitad con ángulo de impacto de 45° , en condiciones que a continuación se detallan :

- a) En el caso de 90° , la boquilla de escoriado fue alineado en forma perpendicular a la superficie de la lámina metálica, asegurando que el ángulo de impacto de los abrasivos sea de 90° . El disparo de los abrasivos se realizó a las distancias de 50 cm, 80 cm y 100 cm, medidos desde la boquilla de escoriado al punto de impacto en la superficie metálica de la probeta, para cada distancia se utilizó, cuatro probetas y cada una de ellas fueron escoriados con intervalos de tiempo de 3, 5, 10 y 15 segundos respectivamente.
- b) En el caso de 45° , La boquilla de escoriado fue alineado con la superficie metálica con un ángulo de 45° , de igual manera que el caso anterior el disparo de los abrasivos se realizaron a las distancias de 50 cm, 80 cm y 100 cm. y en cada distancia se escoriaron 4 probetas con intervalos de tiempo de 3, 5, 10 y 15 segundos respectivamente.

En las probetas que se escoriaron con ángulo de impacto de 90° , la eliminación de la cascarilla de laminación fue en forma radial del centro hacia las periferias, quedando registrada la huella de los impactos en forma circular como se muestra en la **Figura 25 (Ver pag N° 56)** La Parte central de las probetas tiene un perfil de rugosidad ligeramente más alto que las periferias, esto debido

a que el impacto de las partículas del abrasivo a la parte central de la superficie metálica fue en forma perpendicular. Por otro lado las probetas cuyo ángulo de impacto fue de 45° presentan una huella de forma ovalada.

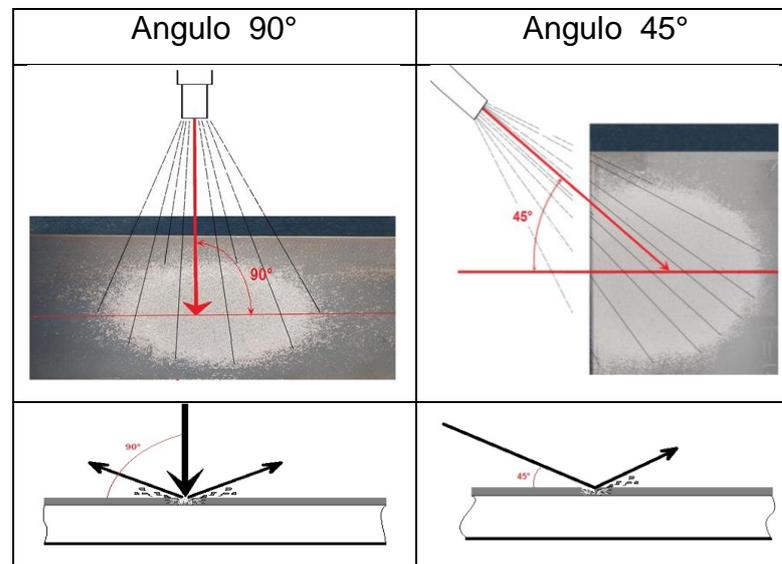


Figura 25. Angulo de disparo respecto a superficie
Fuente: elaboración propia

La eliminación de contaminantes como polvo y restos de escoria presentes en la superficie metálica escoriada, se realizó con aire comprimido según la norma ISO 8502-3, para garantizar la medida exacta con el método de la cinta réplica.

La medida del perfil de rugosidad se realizó con el método de la cinta réplica utilizando un rugosímetro elcometer, para lo cual las cintas réplica s fueron adheridas en las superficies metálicas recién escoriadas, seguido se realizaron el bruñido de la parte central de la cintas, hasta la coloración gris, cada cinta se ha medido con el rugosímetro.



Figura 26. Medición de rugosidad con cinta réplica
Fuente: elaboración propia

Para asegurar la medida que represente el perfil de rugosidad de la muestra, se realizaron medidas en tres puntos dentro del área escoriada, y cuyo promedio represente la rugosidad de la probeta.

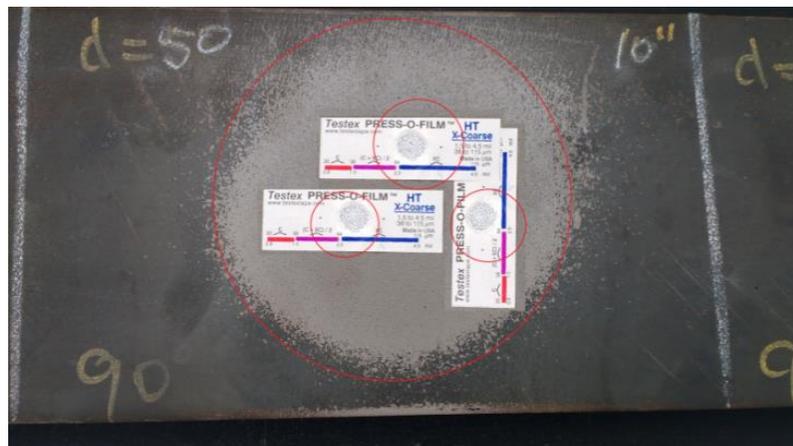


Figura 27. Medición de rugosidad en 3 puntos
Fuente: elaboración propia

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

En el desarrollo experimental la obtención de la rugosidad se realizó con las siguientes variables de operación :

- a) Ángulos : 90° y 45°
- b) Distancias : 0,5 m, 0,8 m y 1,0 m
- c) Tiempos : 3, 5, 10 y 15 segundos

Se adecuaron 24 probetas de 20 cm x 30 cm con grado de corrosión A. En cada probeta, al finalizar la limpieza superficial metálica con el método de chorro abrasivo, se realizaron 3 medidas, donde el promedio representa la rugosidad de la probeta. La medición y recolección de los datos se realizaron en unidades de micrómetros, los cuales se muestran en los siguientes cuadros, clasificados de acuerdo al ángulo de impacto del abrasivo con la superficie metálica :

Tabla 4

Datos de la medida del perfil de rugosidad con ángulo de disparo de 90° en μm :

Angulo de impacto	Distancia De impacto	Tiempo de impacto	Rugosidad en μm			
			Medida1	Medida2	Medida3	Promedio
90°	0.5m.	Probeta 1 3 S.	111	110	112	111.0
		Probeta 2 5 S.	114	116	113	114.3
		Probeta 3 10 S.	116	118	118	117.3
		Probeta 4 15 S.	125	126	123	124.7
	0.8m.	Probeta 5 3 S.	78	76	79	77.7
		Probeta 6 5 S.	85	84	85	84.7
		Probeta 7 10 S.	86	89	88	87.7
		Probeta 8 15 S.	94	95	95	94.7
	1.0m.	Probeta 9 3 S.	68	69	69	68.7
		Probeta10 5 S.	74	72	71	72.3
		Probeta11 10 S.	81	80	81	80.7
		Probeta12 15 S.	89	87	87	87.7

Fuente: elaboración propia

Tabla 5*Datos de la medida del perfil de rugosidad con ángulo de disparo de 45°*

Angulo de impacto	Distancia De impacto	Tiempo de impacto		Rugosidad en μm			
				Medida1	Medida2	Medida3	Promedio
45°	0.5m.	Probeta 1	3 S.	104	103	100	103.3
		Probeta 2	5 S.	108	107	105	106.7
		Probeta 3	10 S.	109	109	107	108.3
		Probeta 4	15 S.	116	115	114	115.0
	0.8m.	Probeta 5	3 S.	75	76	76	75.7
		Probeta 6	5 S.	79	78	78	78.3
		Probeta 7	10 S.	82	83	84	83.0
		Probeta 8	15 S.	91	92	89	90.7
	1.0m.	Probeta 9	3 S.	64	65	66	65.0
		Probeta10	5 S.	67	69	67	67.7
		Probeta11	10 S.	78	77	77	77.3
		Probeta12	15 S.	86	87	84	85.7

Fuente: elaboración propia

El análisis estadístico se desarrolló utilizando el programa Minitab 18 y SPSS, basados en el diseño factorial. Se establecieron tres factores siendo el primer factor el ángulo con dos niveles, el segundo factor la distancia con tres niveles y el tercer factor tiempo con cuatro niveles, por lo cual resulta un diseño factorial de 2 x 3 x 4 para un total de 24 pruebas experimentales.

Se trabajaron en unidades mils que es la milésima parte de una pulgada, debido a que es la más usada en los talleres metal mecánico.

Tabla 6*Resultados de rugosidad en unidades de mils*

X1 Angulo (°)	X2 Distancia (m)	X3 Tiempo (s)	Y Rugosidad (mils)	
1er grupo de 12 probetas				
90°	0.5 m	Probeta 01	3 s	2.3701
		Probeta 02	5 s	2.5013
		Probeta 03	10 s	2.6194
		Probeta 04	15 s	2.9081
	0.8 m	Probeta 05	3 s	1.0577
		Probeta 06	5 s	1.3333
		Probeta 07	10 s	1.4514
		Probeta 08	15 s	1.7270
	1.0 m	Probeta 09	3 s	0.7034
		Probeta 10	5 s	0.8478
		Probeta 11	10 s	1.1759
		Probeta 12	15 s	1.4514
2do grupo de 12 probetas				
45°	0.5 m	Probeta 01	3 s	2.0682
		Probeta 02	5 s	2.1995
		Probeta 03	10 s	2.2651
		Probeta 04	15 s	2.5276
	0.8 m	Probeta 05	3 s	0.9790
		Probeta 06	5 s	1.0840
		Probeta 07	10 s	1.2677
		Probeta 08	15 s	1.5696
	1.0 m	Probeta 09	3 s	0.5591
		Probeta 10	5 s	0.6640
		Probeta 11	10 s	1.0446
		Probeta 12	15 s	1.3727

Fuente: elaboración propia

5.1.1. Pruebas de hipótesis relativas a medias

Se realizaron las pruebas de normalidad, para determinar el comportamiento normal u homogéneo de los resultados experimentales, para lo cual dichos resultados fueron evaluados en dos grupos, uno para el ángulo de 45° y otro para el ángulo de 90°

Tabla 7

Normalidad: X2 Distancia, para ángulo de 45

	X2 Distancia	Kolmogorov- Smirnov ^a			Shapiro- Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Y Rugosidad	50	0.2500	4	.	0.9528	4	0.7335
en mils	80	0.2072	4	.	0.9479	4	0.7029
	100	0.2457	4	.	0.9318	4	0.6049

Fuente: elaboración propia usando SPSS

Ho : Datos presentan distribución normal (hipótesis nula)

Ha : Datos No presentan distribución normal (hipótesis alterna)

Si Significancia = $p < 0,05$ ($p < 5\%$) se rechaza Ho y se acepta Ha

El test de Shapiro – Wilk (se utiliza para un número de datos menor a 50)

Distancia 50 : Significancia = $p = 0,7335 > 0,05 \rightarrow$ Distribución NORMAL

Distancia 80 : Significancia = $p = 0,7029 > 0,05 \rightarrow$ Distribución NORMAL

Distancia 100 : Significancia = $p = 0,6049 > 0,05 \rightarrow$ Distribución NORMAL

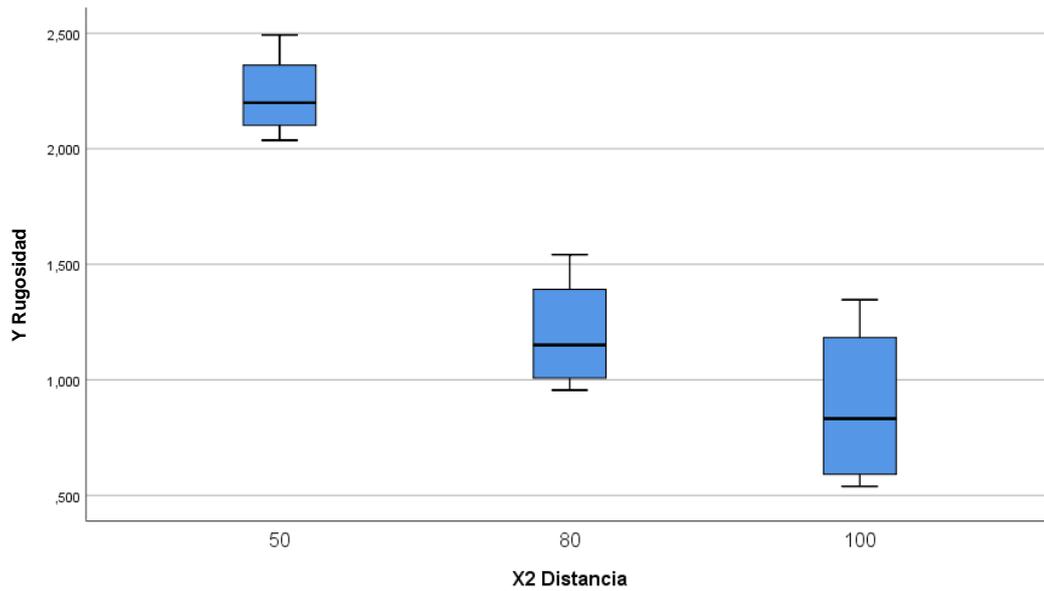


Figura 28. Distribución X2 distancia – Y rugosidad
Fuente: elaboración propia usando SPSS

Tabla 8

Normalidad: X3 Tiempo, para ángulo de 45°

	X3 Tiempo	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Y	3	0.279	3	.	0.938	3	0.521
Rugosidad en mils	5	0.282	3	.	0.936	3	0.511
	10	0.321	3	.	0.882	3	0.329
	15	0.326	3	.	0.874	3	0.306

Fuente: elaboración propia usando SPSS

Ho : Datos presentan distribución normal

Ha : Datos No presentan distribución normal

Si Sig. = $p < 0,05$ se rechaza Ho y se acepta Ha

El test de Shapiro – Wilk

Tiempo 3 : Significancia = $p = 0,521 > 0,05 \rightarrow$ Distribución NORMAL
 Tiempo 5 : Significancia = $p = 0,511 > 0,05 \rightarrow$ Distribución NORMAL
 Tiempo 10 : Significancia = $p = 0,329 > 0,05 \rightarrow$ Distribución NORMAL
 Tiempo 15 : Significancia = $p = 0,306 > 0,05 \rightarrow$ Distribución NORMAL.

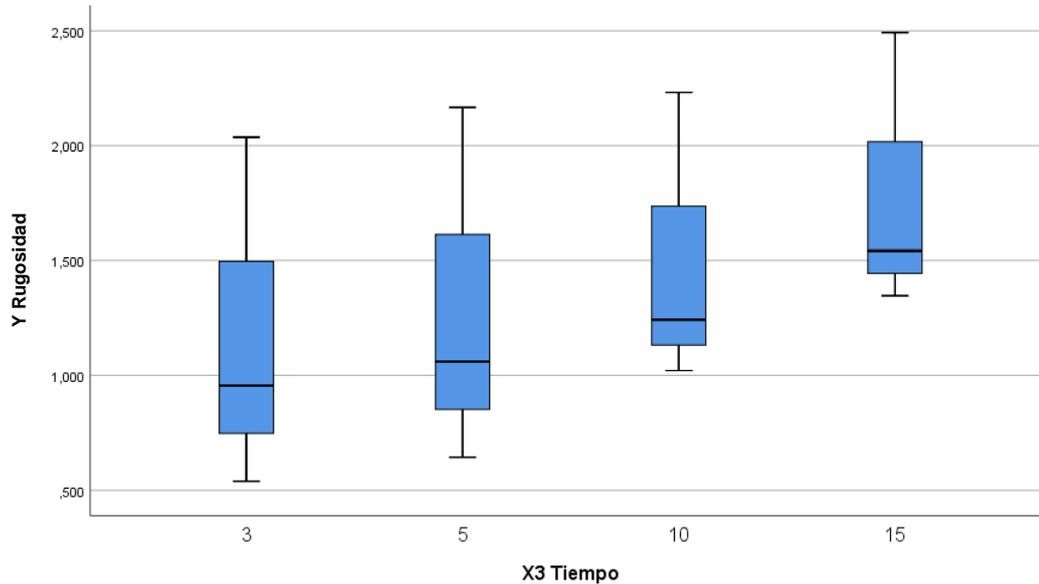


Figura 29. Distribución X3 tiempo – Y rugosidad
 Fuente: elaboración propia usando SPSS

Tabla 9

Normalidad: X2 Distancia, para ángulo de 90°

	X1	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk			
		Distancia	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Y Rugosidad en mils	50		,216	4	.	,960	4	,781
	80		,166	4	.	,996	4	,986
	100		,221	4	.	,957	4	,760

Fuente: elaboración propia usando SPSS

Ho : Datos presentan distribución normal (hipótesis nula)

Ha : Datos No presentan distribución normal (hipótesis alterna)

Si Significancia = $p < 0,05$ ($p < 5\%$) se rechaza Ho y se acepta Ha

El test de Shapiro – Wilk (se utiliza para un número de datos menor a 50)

Distancia 50 : Significancia = $p = 0,781 > 0,05 \rightarrow$ Distribución NORMAL
 Distancia 80 : Significancia = $p = 0,986 > 0,05 \rightarrow$ Distribución NORMAL
 Distancia 100 : Significancia = $p = 0,760 > 0,05 \rightarrow$ Distribución NORMAL

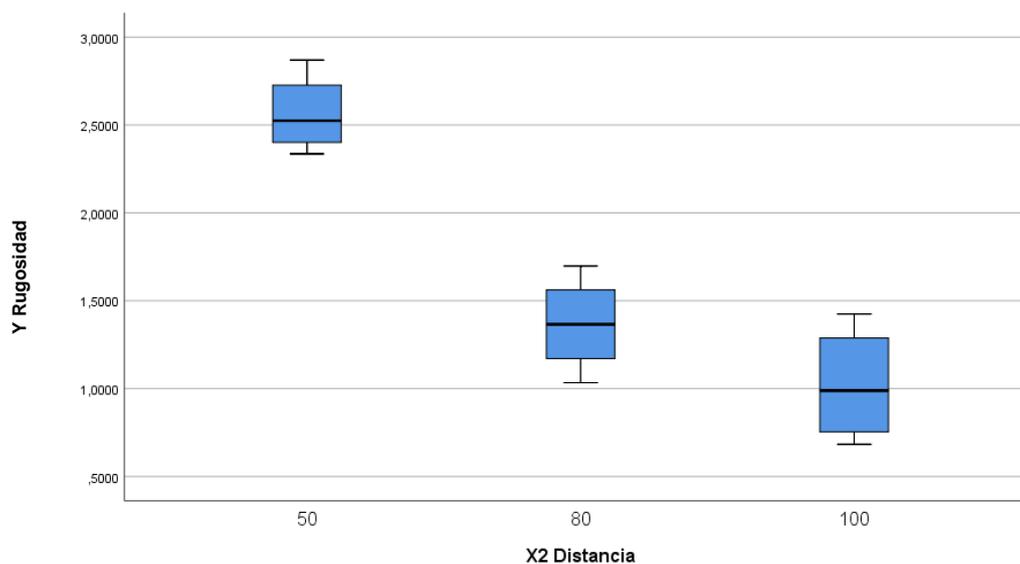


Figura 30. Distribución X2 distancia – Y rugosidad
 Fuente: elaboración propia usando SPSS

Tabla 10

Normalidad: X3 Tiempo, para ángulo de 90°

	X2 Tiempo	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Y Rugosidad en mils	3	,309	3	.	,901	3	,388
	5	,272	3	.	,946	3	,553
	10	,318	3	.	,887	3	,345
	15	,318	3	.	,886	3	,342

Fuente: elaboración propia usando SPSS

Ho : Datos presentan distribución normal

Ha : Datos No presentan distribución normal

Si Sig. = $p < 0,05$ se rechaza Ho y se acepta Ha

El test de Shapiro – Wilk

Tiempo 3 : Significancia = $p = 0,388 > 0,05 \rightarrow$ Distribución NORMAL

Tiempo 5 : Significancia = $p = 0,553 > 0,05 \rightarrow$ Distribución NORMAL

Tiempo 10 : Significancia = $p = 0,345 > 0,05 \rightarrow$ Distribución NORMAL

Tiempo 15 : Significancia = $p = 0,342 > 0,05 \rightarrow$ Distribución NORMAL

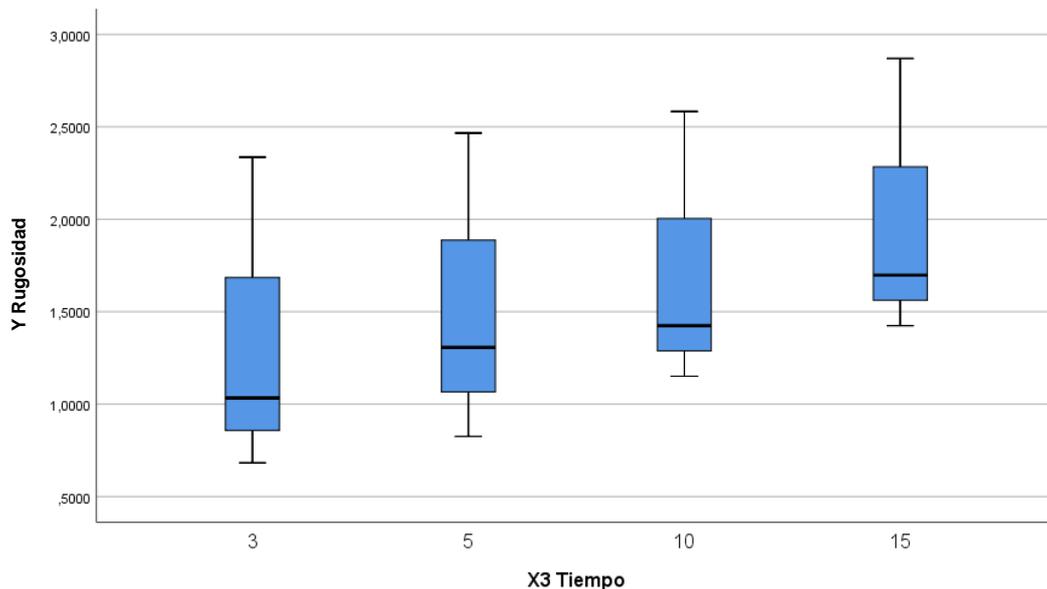


Figura 31. Distribución X3 tiempo – Y rugosidad
Fuente: elaboración propia usando SPSS

De acuerdo a la prueba estadística de Shapiro – Wilk el comportamiento tiene una desviación Normal, donde las significancias se encuentran por encima del 5% de probabilidades.

5.2. Resultados inferenciales

5.2.1. Análisis Factorial

Se tiene el objetivo de estudiar la influencia de 3 factores X1–ángulo, X2–distancia, X3–tiempo en el perfil de rugosidad obtenido.

Por lo que se trata de un modelo con 3 factores: El X1–ángulo (con 2 niveles), X2–distancia (con 3 niveles) y X3–tiempo (con 4 niveles)

La variable que va medir las diferencias entre los tratamientos es el perfil de rugosidad expresado en mils. (milésima de pulgadas)

Se combinan todos los niveles de los 3 factores por lo que tenemos 24 pruebas a realizar.

Variable respuesta: Perfil de rugosidad en mils.

Factor1 : Ángulo que tiene 2 niveles. Es un factor de efectos fijos ya que viene decidido que niveles concretos se van a utilizar.

Factor2 : Distancia que tiene 3 niveles. Es un factor de efectos fijos que viene decidido que niveles se van a utilizar.

Factor3 : Tiempo que tiene 4 niveles. Es un factor de efectos fijos que viene decidido que niveles se van a utilizar.

Análisis univariado de varianza.

Tabla 11

Factores inter-sujetos

		N
X1 Angulo	45	12
	90	12
X2 Distancia	,5	8
	,8	8
	1,0	8
X3 Tiempo	3	6
	5	6
	10	6
	15	6

Nota: (N número de casos individuales de cada nivel)

Fuente: elaboración propia usando SPSS

Tabla 12*Pruebas de efectos inter-sujetos*

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	10,896 ^a	17	0.641	449.922	0.000
Intersección	57.283	1	57.283	40209.053	0.000
X1Angulo	0.266	1	0.266	186.625	0.000
X2Distancia	9.161	2	4.580	3215.202	0.000
X3Tiempo	1.342	3	0.447	314.083	0.000
X1Angulo * X2Distancia	0.045	2	0.023	15.922	0.004
X1Angulo * X3Tiempo	0.004	3	0.001	0.906	0.492
X2Distancia * X3Tiempo	0.078	6	0.013	9.139	0.008
Error	0.009	6	0.001		
Total	68.188	24			
Total corregido	10.905	23			

Variable dependiente: Y Rugosidad en mils

Fuente: elaboración propia usando SPSS

Nota : Mayor estadístico F implica mayor variación de la rugosidad.

Suprimiendo (X1 Ángulo * X3 Tiempo) nivel de significación del 5% : se obtiene.

Tabla 13*Pruebas de efectos inter-sujetos*

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	10,893 ^a	14	0.778	563.847	0.000
Intersección	57.283	1	57.283	41512.760	0.000
X1Angulo	0.266	1	0.266	192.676	0.000
X2Distancia	9.161	2	4.580	3319.449	0.000
X3Tiempo	1.342	3	0.447	324.266	0.000
X1Angulo * X2Distancia	0.045	2	0.023	16.439	0.001
X2Distancia * X3Tiempo	0.078	6	0.013	9.435	0.002
Error	0.012	9	0.001		
Total	68.188	24			
Total corregido	10.905	23			

Variable dependiente: Y Rugosidad en mils

Fuente: elaboración propia usando SPSS

Las significancias se encuentran próximas a cero, por lo tanto este modelo será el de estudio a realizar. Se observa que las variables más relevantes son los que se indican en la tabla anterior, siendo distancia la más influyente en el perfil de rugosidad frente al tiempo y al ángulo.

Pruebas post hoc (comparaciones a posteriori – distancia)

Aplicando el método de Tukey

Tabla 14*Y Rugosidad en mils - HSD Tukeya,b*

X2	N	Subconjunto		
		1	2	3
1,0	8	0.954102		
0,8	8		1.282878	
0,5	8			2.397786
Sig.		1.000	1.000	1.000

Fuente: elaboración propia usando SPSS

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a) Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8 000

b) Alfa = 0,05

De acuerdo a estos resultados se comprueba que para una distancia de 0.5 metros se produce una mayor rugosidad y para una distancia de 1,0 m la menor rugosidad.

Pruebas post hoc (comparaciones a posteriori – tiempo)

Tabla 15*Y Rugosidad en mils - HSD Tukeya,b*

X3 Tiempo	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
3	6	1.263889			
5	6		1.411458		
10	6			1.608941	
15	6				1.895399
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: elaboración propia usando SPSS

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

- a) Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6 000
- b) Alfa = 0,05

Comprobamos que para un tiempo de 15 se produce una mayor rugosidad y para un tiempo de 3 la menor rugosidad.

El factor presión tiene dos niveles por lo tanto no se puede aplicar el método de comparaciones múltiples.

Podemos resolverlo calculando las rugosidades medias del factor ángulo por análisis estadístico descriptivo.

De acuerdo al análisis estadístico descriptivo mostrado en el cuadro anterior se observa que a un ángulo de impacto de 45° grados produce una rugosidad cuya media tiene un valor de 1,439 mils que es menor que a los valores generados con ángulo de impacto de 90° grados cuyo valor es 1,650 mils.

Acontinuacion se presentan graficas que indican los valores de la rugosidad según las variables analizadas.

Tabla 16*Análisis estadístico descriptivo factor ángulo*

X1 Angulo			Estadístico	Desv. Error
Y Rugosidad en mils	45	Media	1.439670	0.1882389
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	1.025359 1.853981
		Media recortada al 5%	1.431231	
		Mediana	1.294271	
		Varianza	0.425	
		Desv. Desviación	0.6520786	
		Mínimo	0.5391	
		Máximo	2.4922	
		Rango	1.9531	
		Rango intercuartil	1.1621	
		Asimetría	0.305	0.637
		Curtosis	-1.248	1.232
	90	Media	1.650174	0.2125226
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	1.182415 2.117933
		Media recortada al 5%	1.636188	
		Mediana	1.424479	
		Varianza	0.542	
		Desv. Desviación	0.7361998	
		Mínimo	0.6823	
		Máximo	2.8698	
		Rango	2.1875	
		Rango intercuartil	1.3704	
		Asimetría	0.438	0.637
		Curtosis	-1.244	1.232

Fuente: elaboración propia usando SPSS

5.2.2. Diagrama de Pareto

El siguiente diagrama de Pareto muestra los efectos de los factores sobre la variable respuesta, ordenados de mayor a menor, con línea de referencia de 2,12 de efecto estandarizado, observándose que la distancia tiempo y ángulo superan esta valla por ser los más relevantes en el proceso. Los otros efectos son poco influyentes en la variable respuesta con valores que no superan la valla, por lo que no serán considerados.

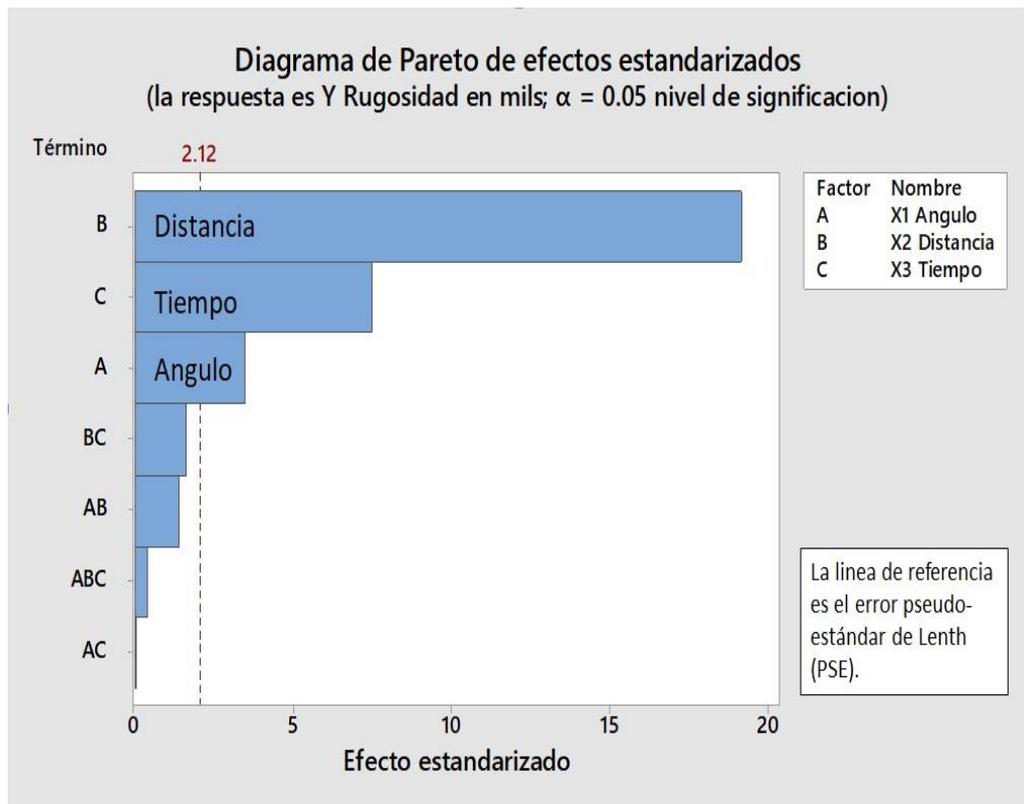


Figura 32. Diagrama de Pareto
Fuente: elaboración propia usando Minitab 18

5.2.3. Gráfica de medias marginales

Se observa la interacción en una gráfica $x - y$ de los datos experimentales en la rugosidad.

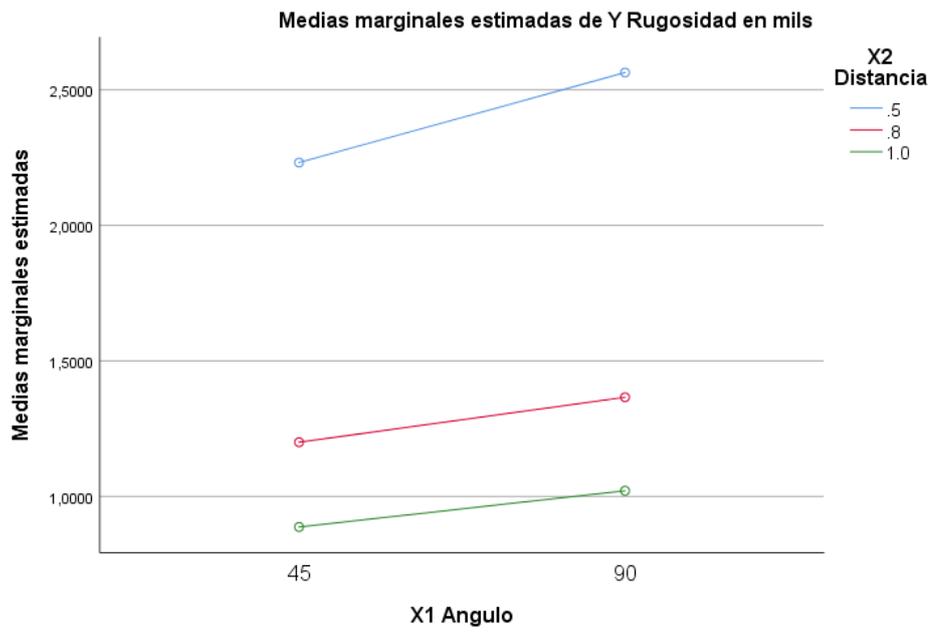


Figura 33. Media rugosidad - X1 ángulo, X2 distancia
Fuente: elaboración propia usando SPSS

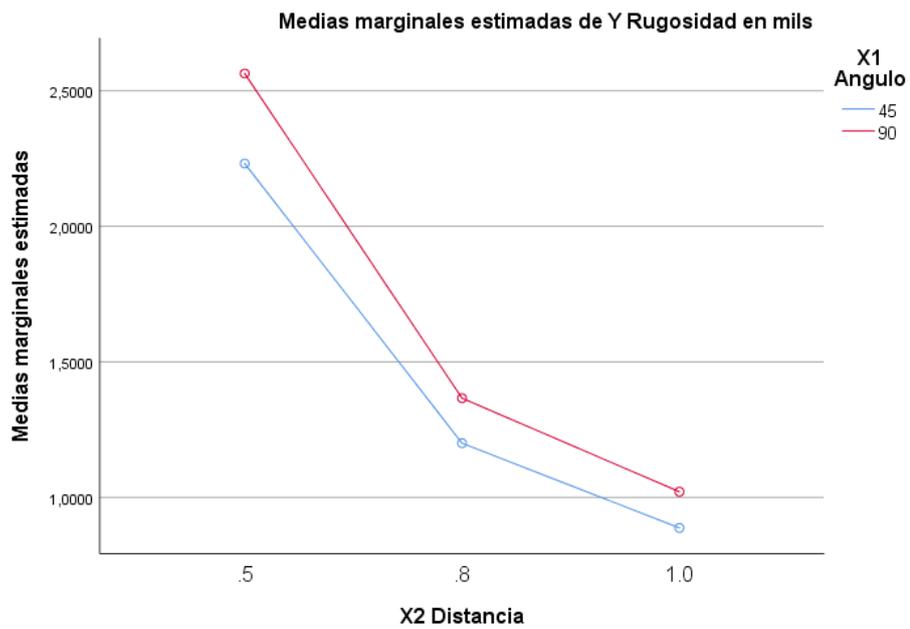


Figura 34. Media rugosidad - X2 distancia, X1 ángulo
Fuente: elaboración propia usando SPSS

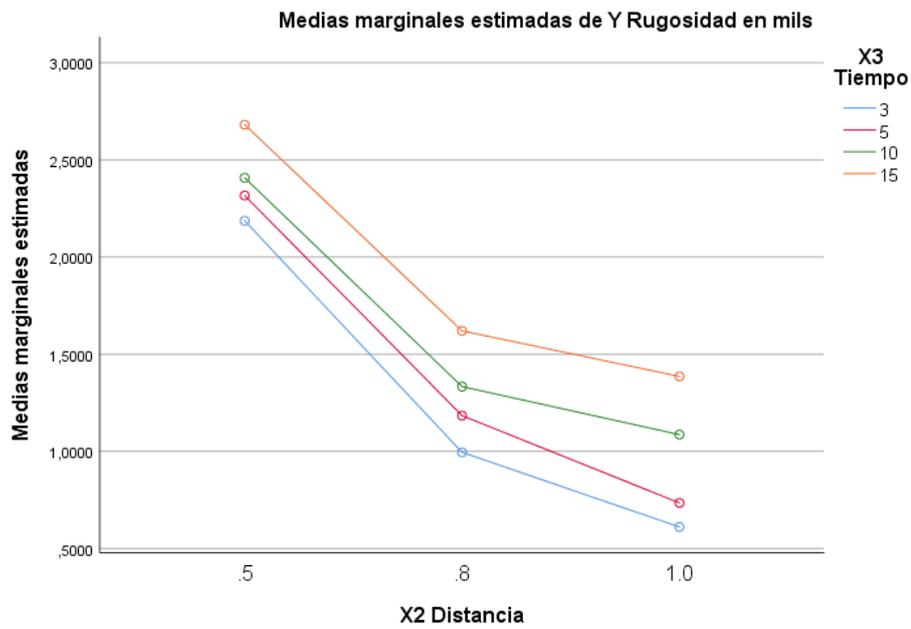


Figura 35. Media dugosidad - X2 distancia, X3 tiempo
Fuente: elaboración propia usando SPSS

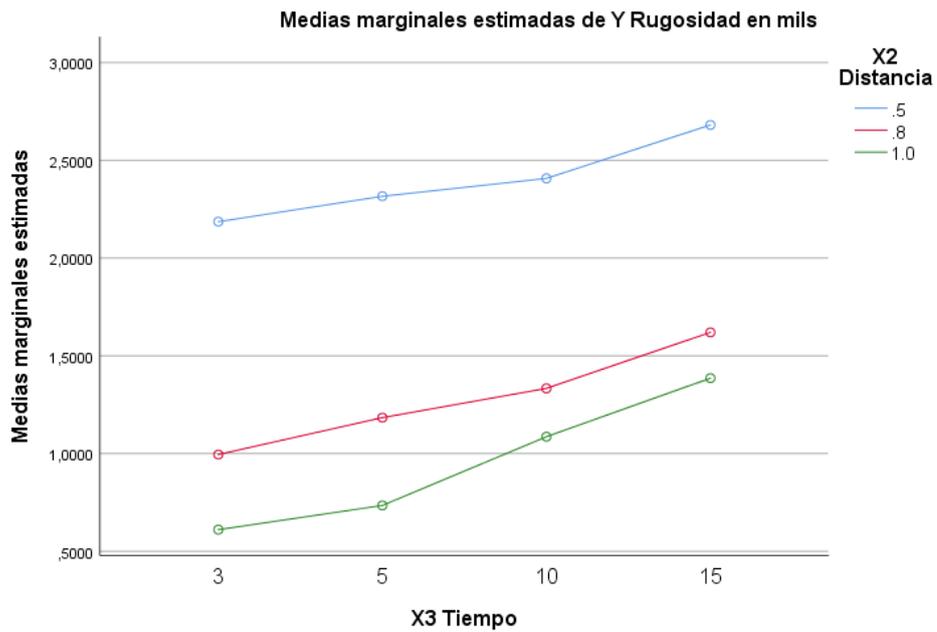


Figura 36. Media dugosidad - X3 tiempo, X2 distancia
Fuente: elaboración propia usando SPSS

5.2.4. Regresión lineal multivariable

Tabla 17

Resumen del modelo con nivel de confianza del 95%

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,978 ^a	0.957	0.950	0.1537369

Fuente: elaboración propia usando SPSS

a) Predictores: (Constante), X3 Tiempo, X2 Distancia, X1 Angulo

Tabla 18

Anova

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	10.432	3	3.477	147.131	,000 ^b
Residuo	0.473	20	0.024		
Total	10.905	23			

Fuente: elaboración propia usando SPSS

a) Variable dependiente : Y Rugosidad en mils

b) Predictores: (Constante), X3 Tiempo, X2 Distancia, X1 Ángulo

Tabla 19*Coefficientes*

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
	B	Desv. Error	Beta	t	Sig.
1 (Constante)	3.116	0.163		18.842	0.000
X1 Angulo	0.005	0.001	0.156	3.354	0.003
X2 Distancia	-2.976	0.153	-0.900	-19.335	0.000
X3 Tiempo	0.051	0.007	0.349	7.505	0.000

Fuente: elaboración propia usando SPSS

a) Variable dependiente : Y Rugosidad en mils

Modelo:

$$Y = 3.116 + 0.00471 * X1 - 2.976 * X2 + 0.05097 * X3$$

Ecuación que gobierna el proceso de limpieza superficial metálica reflejada en la rugosidad con variables de ángulo (X1), distancia (X2) y tiempo (X3)

Tabla 20*Evaluación de variables en el modelo*

X1 Angulo	X2 Distancia	X3 Tiempo	Y Rugosidad en mils	Y (no estandarizado)
90	0.5	3	2.3701	2.20495
90	0.5	5	2.5013	2.30689
90	0.5	10	2.6194	2.56173
90	0.5	15	2.9081	2.81657
90	0.8	3	1.0577	1.31213
90	0.8	5	1.3333	1.41407
90	0.8	10	1.4514	1.66891
90	0.8	15	1.7270	1.92375
90	1.0	3	0.7034	0.71692
90	1.0	5	0.8478	0.81885
90	1.0	10	1.1759	1.07369
90	1.0	15	1.4514	1.32853
45	0.5	3	2.0682	1.99279
45	0.5	5	2.1995	2.09473
45	0.5	10	2.2651	2.34957
45	0.5	15	2.5276	2.60441
45	0.8	3	0.9790	1.09997
45	0.8	5	1.0840	1.20191
45	0.8	10	1.2677	1.45675
45	0.8	15	1.5696	1.71159
45	1.0	3	0.5591	0.50476
45	1.0	5	0.6640	0.60669
45	1.0	10	1.0446	0.86153
45	1.0	15	1.3727	1.11637

Fuente: elaboración propia

5.2.5. Gráficas de superficie del modelo obtenido

Se observa la relación de dos factores manteniendo el resto de factores a nivel constante sobre la variable respuesta usando el modelo matemático.

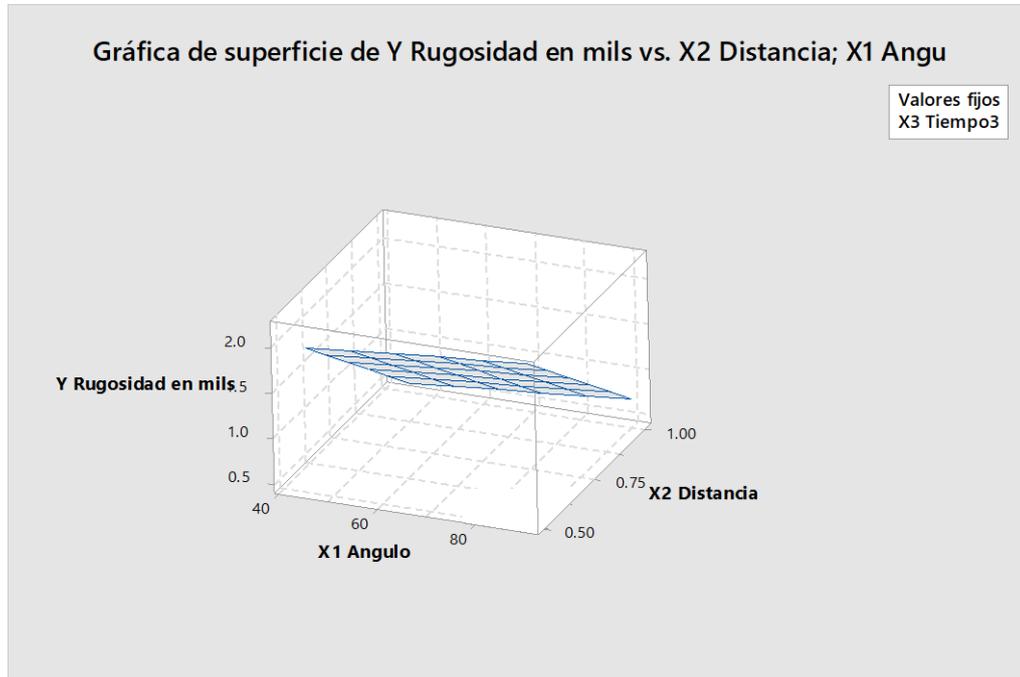


Figura 37. Diagrama de superficie rugosidad vs ángulo con distancia
Fuente: elaboración propia usando Minitab 18

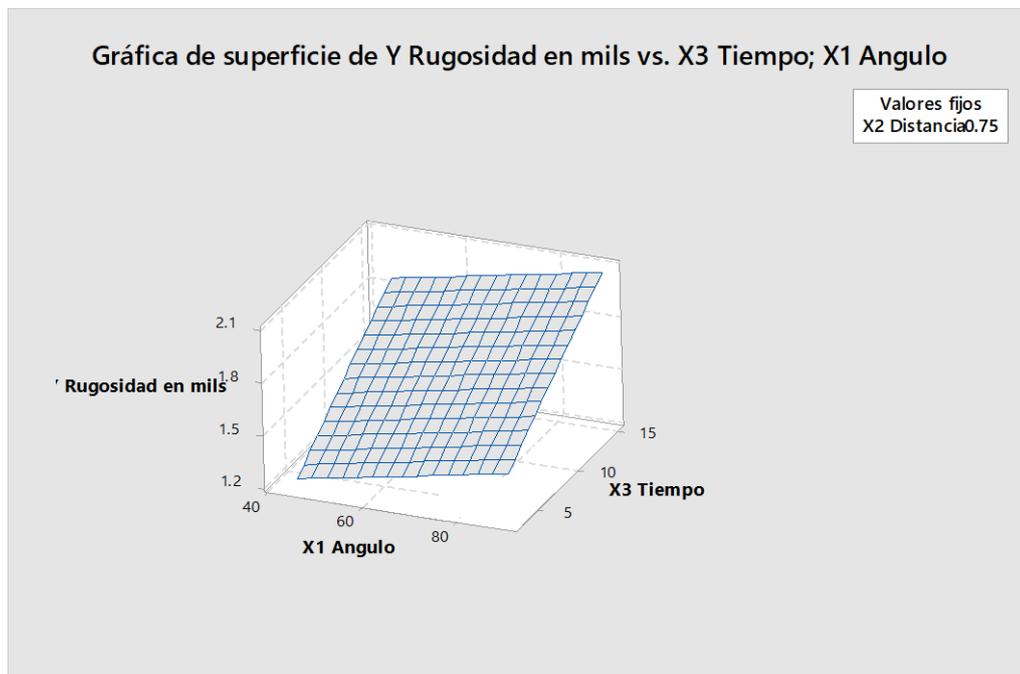


Figura 38. Diagrama de superficie: rugosidad vs ángulo con tiempo
Fuente: elaboración propia usando Minitab 18

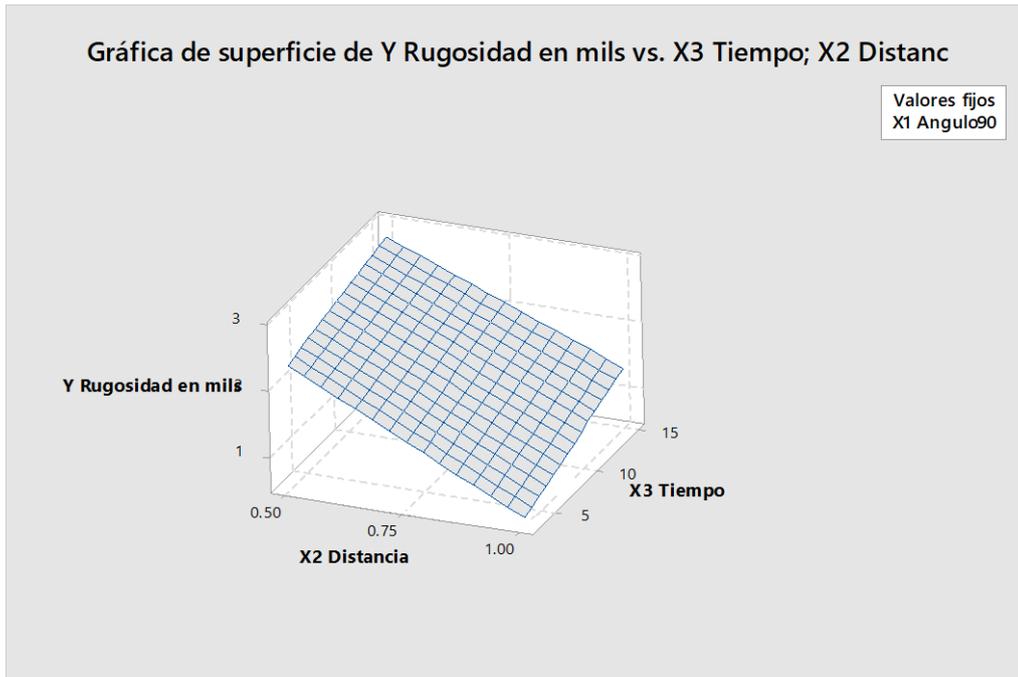


Figura 39. Diagrama de superficie rugosidad vs distancia con tiempo
 Fuente: elaboración propia usando SPSS

5.3. Otro tipo de resultados estadísticos, de acuerdo a la naturaleza del problema y la Hipótesis

5.3.1. Optimización de respuesta : Y Rugosidad en mils

Tabla 21

Parámetros de optimización

Respuesta	Meta	Inferior	Objetiv o	Superio r	Importanci a
Y Rugosidad en mils	Objetiv o	0.55905 5	2	2.90814	1

Fuente: elaboración propia usando Minitab 18

Tabla 22*Rangos de variables*

Variable	Valores
X1 Angulo	90
X2 Distancia	(0.5; 1)
X3 Tiempo	3

Fuente: elaboración propia usando Minitab 18

Tabla 23*Solución*

Solución	Y Rugosidad				
	X1 Angulo	X2 Distancia	X3 Tiempo	en mils Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	90	0.568866	3	2	1

Fuente: elaboración propia usando Minitab 18

Tabla 24*Predicción de respuesta múltiple*

Variable	Valor de configuración
X1 Angulo	90
X2 Distancia	0.568866
X3 Tiempo	3

Fuente: elaboración propia usando Minitab 18

Tabla 25

Respuesta de optimización

Respuesta	EE de			
	Ajuste	ajuste	IC de 95%	IP de 95%
Y Rugosidad en mils	2.0000	0.0648	(1.8648; 2.1352)	(1.6497; 2.3503)

Fuente: elaboración propia usando Minitab 18



Figura 40. Grafica de optimización

Fuente: elaboración propia usando Minitab 18

Se obtiene como respuesta la distancia optima de 0.568866m a un tiempo de 3 segundos y un ángulo de 90°

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

Con relación a la hipótesis general, en la cual usando escoria de cobre se optimiza el proceso de limpieza superficial metálica cuando la rugosidad descansa en el intervalo de 1 a 3 mil, se demuestra que de acuerdo con el modelo matemático formulado en el numeral 5.3 del presente trabajo, los datos obtenidos experimentalmente se encuentran dentro del intervalo de la medida del perfil de rugosidad; quedando de esta manera demostrada esta hipótesis.

Con este modelo se obtiene la distancia óptima para realizar el proceso de limpieza superficial bajo las condiciones de tiempo mínimo, para lo cual se debe considerar el ángulo a 90° dado que experimentalmente es la que permite obtener perfiles de rugosidad más alto. En tal sentido, tomando en cuenta las condiciones indicadas, la distancia óptima resulta en 0.5689 m

Con respecto a la hipótesis específica que al finalizar el proceso se obtendrá el grado de metal blanco libre de contaminantes, después del proceso de limpieza superficial metálica, las probetas presentaron un grado de limpieza de metal blanco, especificada en la norma SSPC SP5, libre de cascarilla de laminación y contaminantes como presencia de sales de acuerdo al método analítico Swabbing – Quantab.

Respecto de la hipótesis específica relacionada con los factores más relevantes que afectan la operación de limpieza por el método de chorro abrasivo a presión y granulometría constante, se demuestra que, manteniendo constantes la granulometría de la escoria de cobre y la presión de aire de la compresora, los factores más relevantes que afectaron a la operación fueron la distancia de impacto, tiempo de operación y ángulo de impacto.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

El presente trabajo cuenta con una metodología que determina parámetros como ángulo de impacto, distancia de impacto y tiempo que influyen en el perfil de rugosidad, donde se alcanzó valores óptimos entre 1 a 3 mils de rugosidad de superficie metálica, por otra parte el Ing. Edgar Sarabia Lugo en su tesis “ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DEL PROCESO

DE SANDBLAST SOBRE ACABADO SUPERFICIAL DE PLACAS METÁLICAS DE ACERO AISI 1018. CASO DE ESTUDIO: CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES TAPIA.” utiliza parámetros como: diámetro de boquilla, grado de malla de arena, alcanzando valores óptimos de perfil de rugosidad de 1.55mils.

CONCLUSIONES

- 1) De acuerdo al modelo matemático de regresión lineal multivariable se concluye que el proceso de limpieza superficial metálica toma valores entre 0.504756mils a 2.816567mils con una confianza del 95% rango inscrito en la ficha técnica de recubrimiento; siendo la distancia de escoriado más apropiada de 0.5689m con ángulo de impacto de 90° y tiempo de 3 segundos.
- 2) En todas las pruebas realizadas, con ángulos de 45 y 90° , distancias de 50,80 y 100cm y tiempos de 3,5,10 y 15 segundos, se alcanzaron a caracterizar el metal, al grado de “metal blanco”, con 0% de presencia de cascarillas de laminación y óxidos, libres de contaminantes según las pruebas de cloruros (Swabbing – Quantab) que resulto ser menor a 50ppm según la norma SSPC – Guía 15 y determinación de polvo según la prueba, “método de la cinta adhesiva” resultando ser menor a la clase 02 según patrón visual (ISO 8502 – 3)
- 3) El análisis estadístico realizado con Minitab 18, muestra en el diagrama de Pareto los factores que tienen efecto en la variable respuesta y sobrepasan la línea de referencia y son la distancia, tiempo y ángulo además da como resultado un modelo matemático que gobierna este proceso :

$$Y = 3,116 + 0,00471 * X1 - 2,976 * X2 + 0,05097 * X3$$

RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda hacer más pruebas para corroborar si otros factores no correlacionados también pueden ser considerados en el modelo.
- 2) Realizar ensayos con otros tipos de materiales abrasivos a fin de ser utilizados en la escoriación.
- 3) Realizar pruebas con tiempos de escoriado menor a 3 segundos para obtener más datos experimentales y mejorar el modelo matemático.
- 4) Realizar las pruebas de rugosidad con un valor mayor de 3 mils.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- cleantool.org. (21 de Abril de 2019). *cleantool.org*. Obtenido de cleantool.org:
http://www2.cleantool.org/lang/sp/mat_cleaning/09_reinigungprozess.htm
- Cymmateriales, S. (21 de abril de 2019). <https://cym.com.ar>. Obtenido de <https://cym.com.ar>: <https://cym.com.ar/intranet/Preparacion-de-superficies-previo-a-la-aplicacion-de-un-revestimiento-Pintura.pdf>
- Ginjaume, A., & Torre, F. (2005). *Ejecución de procesos de mecanizado, conformado y montaje*. España: Paraninfo.
- Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna*. Mexico: Prentice Hall.
- Larburu, N. (2004). *Maquinas. Prontuario. Tecnicas máquinas herramientas*. Madrid: Thomson Editores.
- Naval, C. (21 de Abril de 2019). <http://chorrnaval.com>. Obtenido de <http://chorrnaval.com>: <http://chorrnaval.com/servicios-chorrnaval/chorreado-abrasivo/>
- Nazer, A., Payá, J., Borrachero, M., & Monzó, J. (2016). *Revista de Metalurgia*. Obtenido de Revista de Metalurgia CENIN CSIC: <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/1396/1583>
- Nolasco, W. C. (2015). *Diseño de un plan de recubrimiento con pintura industrial y mantenimiento para disminuir la corrosión en tanques de combustión diésel para centrales termoeléctricas*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Del Callao, Callao.
- Pannoni, F. D. (2006). La prevención de la corrosión en estructuras metálicas. *Acero Latinoamericano*, 496, 20.

- Sajmoló, J. J. (2012). *Uso de la escoria de mata de níquel como material abrasivo en el proceso de limpieza por el método de sandblasting, para estructuras metálicas*. Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Saldarriaga, J. M. (2006). *Optimización del proceso de preparación de superficie en el servicio industrial de la marina*. Tesis de pregrado, Universidad de Piura, Piura.
- Saravia, E. (2017). *Estudio de la influencia de los parámetros del proceso de sandblast sobre acabado superficial de placas metálicas de acero aisi 1018. caso de estudio: construcciones industriales tapia*. Tesis de maestría, Ciateq, Sahagun.
- Sayre, M. L. (2015). *Tratamiento de limpieza superficial en estructuras de acero al carbono y su impacto en la industria metalmeccánica*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional De Ingeniería, Lima.

Sitios URL

- http://www2.cleantool.org/lang/sp/mat_cleaning/09_reinigungprozess.htm
- http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3397_C.pdf
- https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1217/ING_445.pdf?sequence=1
- http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3613/1/sayre_qm.pdf
- <http://www.metalcym.com.br/informes/preparacion-de-superficies-previo-a-la-aplicacion-de-un-revestimiento-pintura/?lang=es>
- <https://cym.com.ar/intranet/Preparacion-de-superficies-norma-SSPC-granallado-cymmateriales-shotblasting.pdf>
- <https://www.utp.edu.co/cms-utp/data/bin/UTP/web/uploads/media/contratacion/documentos/granallado-normas-preparacion-de-superficie.pdf>
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Abrasivo>
- <https://es.slideshare.net/MelbizdelAngel/chorro-abrasivo>

- <https://definicion.de/escoria/>
- <http://www.infocorrosion.com/index.php/capacitacion/palabra-del-dia/item/549-perfil-de-anclaje>
- <http://www3.fi.mdp.edu.ar/tecnologia/archivos/TecFab/10.pdf>)
- https://www.olympus-ims.com/es/knowledge/metrology/roughness/2d_parameter/
- [https://www.neurtek.com/es/academia/pinturas-y-recubrimientos/perfil-de-superficie-y-rugosidad-comparacion-de-metodos-de-medicion.](https://www.neurtek.com/es/academia/pinturas-y-recubrimientos/perfil-de-superficie-y-rugosidad-comparacion-de-metodos-de-medicion)

ANEXOS

- Matriz de Consistencia

“ÓPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE LIMPIEZA SUPERFICIAL METALICA UTILIZANDO ESCORIA DE COBRE. MÉTODO DEL CHORRO ABRASIVO”

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cómo optimizar el proceso de la limpieza superficial metálica mediante chorro abrasivo, utilizando escoria de cobre?	Optimizar el proceso de la limpieza superficial metálica mediante chorro abrasivo, utilizando escoria de cobre.	La optimización del proceso de la limpieza superficial metálica mediante chorro abrasivo utilizando escoria de cobre, se logrará cuando el perfil de rugosidad descansa en el intervalo de 1 a 3 milésimas de pulgada (mils).	Y = La optimización del proceso de limpieza superficial metálica con perfil de rugosidad especificado.	Variación del perfil de rugosidad.	- Rugosidad medida con cinta réplica	Aplicada
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICA	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cuáles son las características de la superficie metálica a tratar?	Definir la característica de la superficie metálica a tratar.	Al finalizar el proceso de limpieza metálica, se obtendrá el grado de metal blanco libre de contaminantes.	Método chorro abrasivo con escoria de cobre.	Superficie metálica al grado metal blanco.	- 0% de presencia de cascarilla de laminación y oxido.	Experimental
¿Cuáles son los factores más relevantes que afectan la operación a presión y granulometría constante?	Determinar los factores más relevantes que afectan la operación a presión y granulometría constante	Los factores más relevantes que afectan a la operación a presión y granulometría constante son: - Ángulo de impacto del abrasivo a la superficie metálica. - Distancia de impacto - Tiempo de proceso		X1 = Ángulo de impacto del abrasivo sobre superficie metálica X2 = Distancia perpendicular de boquilla a superficie metálica X3 = Tiempo de escoriado	- Grados sexagesimales - metros (m) - segundos (s)	

- Normas de tratamiento superficial metálica

Pre – Preparación de Superficie	Sí	No	Norma de Referencia	Admisibilidad
Se eliminaron contaminantes visibles			ASTM D3276	0%
Se eliminaron contaminantes no visibles			SSPC – Guía 15	< 50 ppm [Cl]
Se identificaron las zonas de difícil pintado			SSPC Vol. 1	0%
Se eliminaron las zonas propensas a corrosión			NACE RP 0178	0%
Se tiene corrosión avanzada			SSPC – VIS2	NA

Preparación de Superficie	Si	No	Norma de Referencia	Admisibilidad
El aire comprimido está limpio			ASTM D4285	0% aceite y humedad
El abrasivo está libre de finos y aceite			SSPC – AB2 / AB3	0%
El abrasivo tiene conductividad admisible			SSPC – AB2 / AB3 / ASTM D4940	< 1000 μ siemens
Se determinó la temperatura de la superficie			ASTM D3276/E337	5 – 49°C
Se determinó la temperatura de rocío			ASTM D3276/E337	<u>T_{sup}</u> - <u>Trocio</u>
Se determinó la humedad			ASTM D3276/E337	HR < 85%
Las condiciones ambientales son favorables			SSPC-PA1	Hoja Técnica
Se alcanzó el grado de limpieza especificado			SSPC-SP5	0% contaminantes
Se alcanzó la rugosidad especificada			ASTM D4417	<u>1.5 – 2.5 mils</u>
Se evaluó la post limpieza			ISO 8502-3	> Clase 1

DIMETCOTE 9

Imprimante a base de zinc Inorgánico

AMERCOAT®

DESCRIPCIÓN, VENTAJAS Y USOS

- El mejor imprimante contra la corrosión. Llamado también "galvanizado en frío" porque evita la corrosión del acero mediante protección galvánica.
- En una sola capa brinda desempeño sobresaliente en diferentes condiciones atmosféricas.
- Alto contenido de polvo de zinc que asegura una prolongada protección y bajos costos de mantenimiento.
- Alta resistencia a la abrasión.
- Aplicado con airless o equipo convencional no produce over spray, inclusive en climas calientes.
- Gran aplicabilidad incluyendo filos y esquinas.
- Mínima área de quemada durante trabajos de soldadura, reduciendo áreas de retoque.
- Con una sola capa, sin acabado, soporta soluciones salinas, derivados de petróleo, solventes, aceite animal y aceite vegetal.
- Cumple especificación SSPC-Paint 20 para pinturas ricas en zinc.
- Satisface la norma ASHTO y la especificación AISC para juntas emperradas en puentes.
- Cumple con Norma NORSOK M501 (sistema 1) y servicio en ISO 12944 - C5M.
- Donde se quiera reducir la frecuencia de mantenimiento.
- En una sola capa, para pintado de estructuras metálicas sometidas a ambientes rurales o marinos. Y con un acabado epóxico si se tiene ambientes industriales de alta corrosividad.
- Plataformas marinas, estructuras, tuberías, exteriores de tanques, puentes, pilotes, diques y en general toda estructura de acero donde se requiera mantenimiento mínimo.

DATOS FÍSICOS

Acabado	Mate	% de zinc en película seca	86%
Color	Verde	Espesor película seca	2 - 5 mils (50 - 125 micrones)
Componentes	Dos	Rendimiento teórico	36.9 m ² /gal. a 2.5 mils seco
Relación de mezcla (En volumen)	0.77 de líquido 0.23 de polvo	Disolvente	Amercoat 101ZN
Curado	Evaporación de solventes y reacción con la humedad atmosférica.	Tiempo de vida útil	24 horas a 21 °C
Sólidos en volumen	62% ± 3%	Resistencia a la temperatura	En seco 400 °C

El rendimiento real depende de las condiciones de aplicación y del estado de la superficie.

A temperaturas mayores a 180 °C el color del Dimetcote 9 puede variar.

Para mayores detalles de resistencia física y química consultar con el Departamento Técnico de CPPQ.

PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

- **Acero nuevo**
Arenado comercial según norma SSPC-SP6.
- **Acero antiguo**
Arenado cercano al metal blanco según norma SSPC-SP10.

La duración de la pintura depende del grado de preparación de la superficie.

El perfil de rugosidad recomendado es de 1 a 3 mils (25 a 75 micrones). Valores mayores son aceptables, pero requieren que se incremente el espesor de película seca para equiparar la protección.

MÉTODO DE APLICACIÓN

- **Equipo airless**
Similar a Graco Bulldog 33:1 boquilla 0,021" a 0,023" con filtro malla 30.
- **Equipo convencional a presión**
Similar a Devilbiss MBC-Zinc boquilla 64D con regulador de presión, filtros de aceite y humedad. Además requiere agitación constante.

TIEMPOS SECADO 21 °C (ASTM D1640)

Al tacto	5 - 10 minutos
Al tacto duro	10 - 20 minutos
Repintado mínimo	24 horas
Repintado máximo	
Consigo mismo	24 horas
Acabado mínimo	Ilimitado

CONDICIONES DE APLICACIÓN

Temperatura	Mínima	Máxima
De la superficie	-18 °C	54 °C
Del ambiente	-18 °C	49 °C
Humedad Relativa	50%	90%

La temperatura de la superficie debe ser 3 °C mayor que el punto de rocío.

PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN

1. Verifique que se disponga de todos los componentes, además del disolvente recomendado.
2. Homogenice la pintura agitando el componente líquido. Use un agitador tipo Jiffy neumático.
3. Vierta el líquido en un envase limpio, agite y agregue el polvo lentamente mezclando totalmente los dos componentes.
4. Para facilitar la aplicación agregue un máximo de 1/4 de galón del disolvente Amercoat 1012N por galón de pintura preparada y agite la mezcla otra vez.
5. Filtre la mezcla con una malla 30 y aplique adecuadamente.
6. Aplique la pintura preparada antes de sobrepasar su tiempo de vida útil. Se aplicará una capa uniforme de pasadas paralelas traslapadas en 50%.
7. De no alcanzarse el espesor recomendado, aplique una capa adicional antes de las 24 horas.
8. Aplique el acabado dentro del "tiempo de repintado" recomendado.

IMPRIMANTES RECOMENDADOS

- No requiere imprimante.

ACABADOS RECOMENDADOS

- Para pintar acabados, realizar un "mist coat" o "thin coat". Sólo así se reducirá la formación de pinholes y ampollas.
- Se pueden usar los siguientes productos: Amercoat 385, Amerlock 400, acabados epóxicos similares AMERCOAT.

DATOS DE ALMACENAMIENTO

▪ Peso por galón		9.1 ± 0.2 Kg
	Líquido	3.0 Kg
	Polvo	6.1 Kg
▪ Punto de inflamación		
	Líquido	17 °C

Se garantiza buena estabilidad en almacenamiento hasta por 6 meses si se almacena bajo techo a temperaturas entre 4 °C a 38 °C.

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

- Lea la hoja de seguridad de cada componente antes del empleo.
- El uso o manipuleo inapropiado de este producto puede ser nocivo para la salud o causar explosión.
- No use este producto sin antes tomar todas las precauciones de seguridad. Estas deben incluir: adecuada ventilación, iluminación a prueba de explosión, vestimentas adecuadas, guantes, máscaras para vapores orgánicos o con alimentación de aire sobre todo en espacios limitados como interiores de tanque u otros.
- Si usted necesita mayores detalles, consultar con el Departamento Técnico de CPPQ S.A.

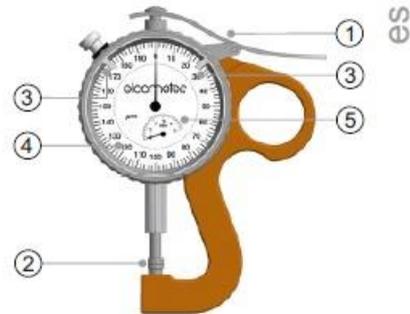
Fuente: Qroma

- **Manual de rugosímetro**

elcometer®

1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MEDIDOR

- 1 Palanca
- 2 Yunques
- 3 Marcadores de límites superior e inferior
- 4 Escala grande
- 5 Escala pequeña



2 CONTENIDO DE LA CAJA

- Medidor de espesor de láminas Elcometer 124
- Guía del usuario

3 TOMA DE UNA LECTURA

3.1 ANTES DE COMENZAR

- 1 Establezca el valor cero; compruebe que las caras de medición del yunque están limpias. Libere el tornillo de cabeza estriada de la parte superior izquierda del dial y gire la escala hasta que el '0' se alinee con el extremo de la aguja larga.
- 2 Sitúe los marcadores de límites superior e inferior en el borde exterior del dial según resulte necesario.

3.2 UTILIZACIÓN DEL ELCOMETER 124

- 1 Abra las mordazas empleando la palanca de la parte superior del dial.
- 2 Introduzca la muestra entre los yunques y suelte suavemente la palanca.
- 3 Para calcular el espesor:
 - a) Multiplique el número de vueltas completas contadas en la escala pequeña por el valor de la escala grande; Métrico: 200 μm / Británico: 10 mil
 - b) Sume el espesor indicado en la escala superior

La aguja larga indica pequeños cambios en el espesor, mientras que la aguja corta muestra el número de vueltas completas que ha dado la aguja larga.



Medidor métrico:
Espesor de 1,656 mm



Medidor británico:
Espesor de 82,4 mil

3 TOMA DE UNA LECTURA (continuación)

es 3.3 UTILIZACIÓN DEL ELCOMETER 124 CON CINTA RÉPLICA TESTEX® ELCOMETER 122

La Cinta réplica Testex® Elcometer 122 consta de dos capas de plástico; una capa suave que presenta una impresión de la superficie rugosa y una capa dura de 50 µm (2 mil) de espesor que actúa como sustrato de la capa suave. Solo es preciso registrar el espesor de la capa suave.

El Elcometer 124 puede configurarse para restar automáticamente el espesor de la capa dura del espesor total de la cinta.

- 1 Asegúrese de que las caras del yunque están limpias.
- 2 Afloje el tornillo de cabeza estriada situado cerca de la parte superior del dial y gire la escala grande en sentido horario hasta que la aguja larga señale a 150 µm u 8 mil.
- 3 Apriete el tornillo de cabeza estriada.

Las lecturas de las muestras de Cinta réplica Testex® Elcometer 122 serán indicadas ahora directamente por la aguja larga, al haber restado 50 µm o 2 mil del espesor total.

La Cinta réplica Testex® Elcometer 122 está disponible en cuatro rangos de perfil y puede adquirirse de Elcometer o de su proveedor local de productos Elcometer.

4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

	Métrico	Británico
Rango de medición	5 mm (5000 µm)	0,25 pulgadas (250 mil)
Cada división: Escala pequeña	0,2 mm (200 µm)	0,010 pulgadas (10 mil)
Cada división: Escala grande	0,002 mm (2 µm)	0,0001 pulgadas (0.1 mil)
Valor completo de la escala grande	0,2 mm (200 µm)	0,010 pulgadas (10 mil)
Dimensiones del medidor	120 x 95 x 25 mm (4,7 x 3,7 x 1,0 pulgadas)	
Peso del medidor	254 g (9 onzas)	
El Medidor de espesor de láminas Elcometer 124 puede utilizarse conjuntamente con la Cinta réplica Testex® Elcometer 122 conforme a:		
ASTM D4417-C, BS ISO 8503-5, NACE RP 0287, US Navy NSI 009-32, US Navy PPI 63101-000		



- Prueba de conductividad de abrasivo



RESULTADOS DE ANALISIS

Cliente : PROINMSA S.A.C.
Asunto : **Prueba de conductividad de Abrasivo**
Fecha : 17 de Mayo del 2019

Antecedentes:

Se evaluó las sales solubles contenidos en el abrasivo, mediante el método de conductividad, sales solubles en agua, Referencia: Sigma Coating, sheet 1490, versión Junio 2007, especificación para minerales abrasivos, Sheet 1491

Datos Generales:

Prueba : Análisis de sales totales por el método de conductividad
Procedencia : Desconocida
Abrasivo : escoria de cobre
Condiciones Ambientales : Humedad relativa : 74%
: Temperatura ambiental : 21°C

Equipo de Medición : TDScan 40
Rango de medición : 0- 1999 $\mu\text{S} / \text{cm}$.
Método Referencial : Dansk Ingeniorforening. Recommendation for the corrosion protection of steel structures 1982

Nº de pruebas : 1
Valor obtenido : 174 $\mu\text{S} / \text{cm}$.

Observaciones:

- El abrasivo cuya muestra fue evaluada, se encuentra dentro de los límites de aceptación para preparación de superficie metálica.
- El valor máximo permitido de sales solubles en agua en los minerales abrasivos es de 250 $\mu\text{S} / \text{cm}$.


Rafael Salazar Saenz
GERENTE GENERAL
PROINMSA S.A.C



Ing. Aquiles León Ribera.
Inspector de Recubrimientos
Corporación Mara S.A.

CORPORACION MARA S.A.
Planta y Oficinas: Jr. Perseo 251 – La Campiña / Chorrillos – Lima 09 – Perú
Teléfono: (51-1) 467-6777 / Fax: 2512438 – Email: ventas@corpmara.com

ANEXOS

FIG N°1 Prueba al blanco



FIG N° 2 Homogenización del Abrasivo



FIG N° 3 Conductividad del abrasivo



- Autorizacion de Proinmsa



RUC: 20525013775

Servicios de Arenado, escoriado, granallado y Pintura Industrial
FABRICACIONES DE ESTRUCTURAS METALICAS, TANQUES
DISEÑOS Y REPARACIONES DE SOLDADURA Y PINTURA

AUTORIZACION

Yo, Ing. Rafael Salazar Sáenz, Gerente general de la Empresa, autorizo a los señores David Mitma Ramírez, Arturo Vela Chamoli y Gustavo Mera Paucar, para que puedan utilizar la instalación de la empresa en el desarrollo de su tesis "Limpieza superficial metálica con escoria de cobre, método chorro abrasivo" por el periodo que se les sea conveniente.

Atentamente

.....
Rafael Salazar Saenz
GERENTE GENERAL
PROINMSA S.A.C

.....
Ing. Rafael Salazar Sáenz
Gerente general

OFICINA Y PLANTA: Av. Juan Pablo II Mz. R1 Lt. 1
Altura del Km. 35.5 de la panamericana norte puente piedra - zapallar
RPC: 987755918 9877559807
Pagina Web: WWW.proinmsac.com