

MODIFICACIÓN DEL PERFIL DE ANCLAJE DE MALLAS DE ACERO  
INOXIDABLE AISI SAE 304 POR PROYECCIÓN DE ABRASIVOS

NÉSTOR YECID SERRANO GUIZA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES  
BUCARAMANGA

2018

MODIFICACIÓN DEL PERFIL DE ANCLAJE DE MALLAS DE ACERO  
INOXIDABLE AISI SAE 304 POR PROYECCIÓN DE ABRASIVOS

NÉSTOR YECID SERRANO GUIZA

Trabajo de grado (modalidad proyecto de investigación) para optar al título de  
Ingeniero Metalúrgico

Director

PEDRO LUIS DELVASTO ANGARITA  
Doctor en Ciencia y Tecnología de Materiales

Codirector

JULIO ANDRÉS PEDRAZA AVELLA  
Doctor en Química

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES  
BUCARAMANGA

2018

## DEDICATORIA

*Este proyecto está dedicado a mis padres, Custodia Guiza y Ernesto Serrano, quienes a me formaron y me guiaron por el camino de la superación, También quiero dedicarle este trabajo a mi hermano Ernet, a mi tía Elcida Constanza y Javier Arturo, por confiar en mí y brindarme su apoyo en todo momento.*

*A mis amigos Luis Charrís, Javier Gualdron, Diana Bohórquez, Sergio Gonzalez, Jefferson Bolaños, Tatiana pinto, Miguel Suarez, Juan José Cuadrado. Por último quiero dedicarle este trabajo a la ingeniera Paula Alejandra Calderón, gracias por el apoyo incondicional.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la UIS, el GIMBA y al CIC por el préstamo de equipos y aulas para para el desarrollo de este proyecto.

Al profesor Pedro Luis Delvasto Angarita por brindarme la oportunidad de desarrollar este proyecto bajo su dirección.

A mi codirector el Dr. Julio Andrés Pedraza Avella por su dirección y su apoyo para la realización de este proyecto.

A mi codirectora la Ing. Mari Inés Jaramillo Gutiérrez por bríndame su apoyo, su dirección y estar siempre muy pendiente del avance del proyecto.

A mi tutor el Ing. Jeferson Ruiz por bríndame su apoyo y conocimientos para el desarrollo del proyecto.

A la Dra. Elcy María Córdoba por el préstamo de sus instalaciones y equipos para la realización del proyecto.

Al laboratorio de Microscopia de Confocal, Metalografía por prestarme sus servicios para la realización del proyecto.

A los profesores Ana, Sandra, Pedro, Andrés, Carlos Oviedo, Jaime, Carlos Galan, Mauricio, Julio, Sergio, Amparo, Ángel, Elcy, Liliana que aportaron a mi formación profesional.

A los técnicos Juan Domingo Carreño y Sergio Andres Gonzalez por su colaboración en el laboratorio.

A todos mis amigos de la Universidad, Tatiana, Miguel, Diana, Juan Jose, Jefferson, Orlando, a los trillisos: Charris, Gualdron, Sergio Lorica.

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>15</b>
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>18</b>
<b>3.1. OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....</b>	<b>18</b>
<b>4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS METODOLÓGICAS.....</b>	<b>20</b>
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>25</b>
<b>5.1. CARACTERIZACIÓN POR ANÁLISIS QUÍMICO POR ESPECTROSCOPIA DE EMISIÓN ÓPTICA (OES) A LA MALLA DE SUMINISTRO.....</b>	<b>25</b>
<b>5.2. ANÁLISIS METALOGRÁFICO DE LAS MALLA DE ACERO INOXIDABLE AISI SAE 304.....</b>	<b>26</b>
<b>5.3. ANÁLISIS DE DUREZA .....</b>	<b>27</b>
<b>5.4. ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL DE LAS MUESTRAS SOMETIDAS A PROYECCIÓN DE ABRASIVOS.....</b>	<b>29</b>
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>39</b>
<b>7. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>40</b>

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
9. BIBLIOGRAFÍA .....	44
10. ANEXOS.....	48

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Características de los abrasivos comercialmente.....	20
<b>Tabla 2.</b> Condiciones de operación de proyección de abrasivos en la Procesadora del Cristal.....	22
<b>Tabla 3.</b> Diseño experimental para el cálculo de pruebas a realizar. ....	23
<b>Tabla 4.</b> Resultados de análisis químico por espectroscopia de emisión óptica (OES).....	25
<b>Tabla 5.</b> Resultados de rugosidad para la malla de suministro y malla proyectada en la empresa Procesadora del Cristal.....	32
<b>Tabla 6.</b> Resultados de rugosidad para cada abrasivo a diferentes presiones, obtenidos mediante microscopia de confocal. ....	33

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diagrama de flujo del procedimiento metodológico. ....	19
<b>Figura 2.</b> Micrografías de mallas de acero inoxidable AISI SAE 304 antes de la proyección de abrasivo a a) 100X, b) 200X y después de la proyección de c) 100X y d) 200X. ....	27
<b>Figura 3.</b> a) Grafica de dureza vs distancia desde la superficie, b) Micrografía a 50X de la malla de suministro, con indentaciones de microdureza (puntos rojos). ..	28
<b>Figura 4.</b> Fotografías de mallas de acero inoxidable AISI SAE 304 para, a) suministro sin proyección, b) proyectada con óxido de aluminio en la Procesadora del Cristal, c) proyectada óxido de aluminio (F24), d) proyectada con granalla, e) proyectada óxido de aluminio (F60), f) proyectada silicato de aluminio (A3) a una presión de 80 psi.....	30
<b>Figura 5.</b> Medición de la rugosidad de la superficie en 3D realizada a 560X para: a) malla de acero inoxidable AISI SAE 304 (malla de suministro) y b) malla proyectada con óxido de aluminio en la Procesadora del Cristal Ltda.....	31
<b>Figura 6.</b> Medición de la rugosidad de la superficie en 3D para malla de acero inoxidable AISI SAE 304 proyectada con: a) óxido de aluminio (F24) a 80 psi y b) silicato de aluminio (A3) a 100 psi. ....	34
<b>Figura 7.</b> Grafica de rugosidad promedio vs granulometría para el abrasivo óxido de aluminio a una presión de 80 psi. ....	35
<b>Figura 8.</b> Comportamiento de la rugosidad respecto a la presión para cada tipo de abrasivo. ....	37
<b>Figura 9.</b> Grafica de rugosidad vs durezas de los abrasivos (granalla, óxido de aluminio y silicato de aluminio), para una presión de 80 psi. ....	38

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo A.</b> Fichas técnicas de los abrasivos entregadas por la empresa FABCOM S.A.S.....	48
<b>Anexo B.</b> Resultados de proyección de abrasivos en monedas de acero inoxidable AISI SAE 304.....	51
<b>Anexo C.</b> Ficha técnica malla acero inoxidable.....	55
<b>Anexo D.</b> Resultados Microscopia Confocal mallas proyectadas en el CIC.....	56

## RESUMEN

**TÍTULO:** MODIFICACIÓN DEL PERFIL DE ANCLAJE DE MALLAS DE ACERO INOXIDABLE AISI SAE 304 POR PROYECCIÓN DE ABRASIVOS

**AUTORES:** Néstor Yecid Serrano Guiza\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Perfil de anclaje, abrasivo, electrodepositado.

**DESCRIPCIÓN:** En los últimos años el Grupo de Investigación en Minerales, Biohidrometalurgia y Ambiente (GIMBA) ha realizado investigaciones en torno a la producción de hidrógeno, utilizando como electrodos mallas acero inoxidable AISI SAE 304 con un recubrimiento de níquel electrodepositado. Sin embargo, durante estos trabajos se observó el desprendimiento del recubrimiento de níquel, lo cual en su momento fue atribuido a la falta de tratamiento superficial del sustrato (malla de acero inoxidable). En el presente trabajo se evaluó la modificación superficial mediante la proyección de abrasivos, en busca de una mayor rugosidad y una mayor área superficial que mejoren el perfil de anclaje. Se evaluaron cuatro tipos de abrasivos: granalla de acero esférica S330 (0,71 mm), óxido de aluminio F24 (0,595-0,841 mm), óxido de aluminio F60(0,210-0,297 mm), silicato de aluminio A3 (0,2-1,4 mm), a diferentes presiones de proyección 60, 80 y 100 psi. Las probetas fueron analizadas antes y después del proceso de proyección de abrasivos por estudios metalográficos para evidenciar cambios a causa del proceso, además la morfología y la rugosidad obtenida se evaluaron mediante microscopia de Confocal. Las características de los abrasivos que beneficiaron al aumento de la rugosidad fueron: tamaño, forma y dureza, ya que como resultado se obtuvo que las mejores condiciones de rugosidad, se consiguieron con partículas de gran tamaño, forma angular y durezas altas. El material particulado óxido de aluminio F24 a una presión de 80 psi fueron las mejores condiciones para la obtención de un perfil de anclaje (36,87  $\mu\text{m}$ ).

---

\* Proyecto de investigación

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales.  
Director: Ph.D. Pedro Luis Delvasto Angarita. Codirector: Dr. Julio Andrés Pedraza Avella

## ABSTRACT

**TITLE:** MODIFICATION OF THE ANCHORAGE PROFILE OF STAINLESS STEEL MESHES AISI SAE 304 BY PROJECTION OF ABRASIVES.

**AUTHORS:** Néstor Yecid Serrano Guiza\*\*

**KEYWORDS:** anchorage profile, abrasive, electrodeposited.

**DESCRIPTION:** In recent years, the Research Group on Minerals, Biohydrometallurgy and the Environment (GIMBA) has conducted research on the production of hydrogen, using stainless steel AISI SAE 304 mesh electrodes with an electrodeposited nickel coating. However, during these works the detachment of the nickel coating was observed, which at the time was attributed to the lack of surface treatment of the substrate (stainless steel mesh). In the present work the surface modification was evaluated by the projection of abrasives, in search of a greater roughness and a greater superficial area that improve the anchorage profile. Four types of abrasives were evaluated: spherical steel shot S330 (0.71 mm), aluminum oxide F24 (0.595-0.841 mm), aluminum oxide F60 (0.210-0.297 mm), aluminum silicate A3 (0.2- 1.4 mm), at different projection pressures of 60, 80 and 100 psi. The specimens were analyzed before and after the process of projection of abrasives by metallographic studies to show changes due to the process, in addition the morphology and roughness obtained were evaluated by Confocal microscopy. The characteristics of the abrasives that benefited the increase in roughness were: size, shape and hardness, since as a result it was obtained that the best roughness conditions were obtained with large particles, angular shape and high hardness. The particulate material aluminum oxide F24 at a pressure of 80 psi were the best conditions for obtaining an anchor profile (36.87  $\mu\text{m}$ ).

---

\* investigation project

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales.  
Adviser: Ph.D. Pedro Luis Delvasto Angarita. Coadviser: Dr. Julio Andrés Pedraza Avella

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el Grupo de Investigación en Minerales, Biohidrometalurgia y Ambiente (GIMBA) ha realizado investigaciones en torno a la producción de hidrógeno en busca de obtener una fuente de energía viable y amigable con el medio ambiente. Para la obtención de dicha fuente de energía ( $H_2$ ) se han empleado procesos de electrólisis y fotoelectrolisis, los cuales cumplen la función de disociar el agua, produciendo hidrógeno y oxígeno [1][2]. En estos procesos se han empleado mallas de acero inoxidable AISI SAE 304 como sustrato con un recubrimiento de níquel electrodepositado. Sin embargo, también se observó el desprendimiento del recubrimiento de níquel, lo cual en su momento fue atribuido a la falta de tratamiento superficial del sustrato (malla de acero inoxidable).

Para mejorar la adherencia del níquel en las mallas, es posible modificar superficialmente el sustrato y obtener de un perfil de anclaje adecuado para electrodepositar el níquel. Existen diferentes métodos de tratamiento superficial que garantizan la eliminación de impurezas, tales como, el tratamiento con solventes, con proyección de abrasivo y por agentes atmosféricos. Sin embargo, el tratamiento por proyección de abrasivo es de particular interés porque, además de eliminar impurezas, proporciona una mayor rugosidad y por tanto una mayor área superficial. Estas son características deseables en el proceso de electrolisis ya que permiten una mayor adherencia del níquel y un aumento del área superficial del sustrato. Si bien, el tratamiento por proyección de partículas es ampliamente utilizado, se hace necesario establecer las condiciones óptimas para obtener un perfil de anclaje tal que mejore la adherencia del depósito de níquel. Por esta razón, en el presente trabajo se busca evaluar ciertas variables del proceso tales como presión y tipo de abrasivo y así poder identificar bajo qué condiciones se pueden encontrar el perfil de anclaje adecuado y la mayor área superficial del sustrato.

## 2. ANTECEDENTES

Desde hace más de dos décadas se han establecido criterios para la preparación de superficies antes de la aplicación de recubrimientos, tal es el caso del Manual de Ingeniería del Diseño (1997), en donde se presentan las especificaciones para la limpieza con abrasivos. En el manual de ingeniería del diseño de 1997, con el título de selección y especificaciones de pinturas industriales, se habla de la preparación de las superficies antes de realizar el proceso de sandblasting, para su limpieza superficial por proyección de abrasivos, también mencionan las restricciones que se tienen para realizar un proceso de chorro abrasivo. Posteriormente, en el 2003 el centro de investigación en ingeniería biomédica (CREB), realizó una investigación con el fin de aumentar la rugosidad del material de titanio comercialmente puro (c.p.t.), para ello se realizó el proceso de granallado, con diferentes abrasivos y tamaños de partículas y así analizaron sus características superficiales. Con este estudio se observó que el proceso de granallado genera un aumento del área superficial y una resistencia a la corrosión electroquímica, esto se puede atribuir a la compresión de tensiones superficiales residuales inducidos por el granallado [3].

En Argentina (2010) en el laboratorio de investigación de metalurgia física (LIMF), se realizaron pruebas de laboratorio para mejorar la rugosidad por el método de chorro abrasivo a un material inoxidable (AISI SAE 316LVM) y así poder mejorar fijación mecánica del implante. El resultado principal de este estudio no fue satisfactorio ya que no se pudo obtener la rugosidad óptima, por motivos que las partículas en el chorro de abrasivos no son de tamaño uniforme [4]. En la Universidad de Ciencia de Materiales y Ingeniería, de China (2016), se realizó un tratamiento superficial a un acero AISI SAE 1090 por el método de chorro abrasivo y variando el tamaño del material particulado, con el fin de realizar un estudio, para determinar que material era más eficiente a la hora de aumentar la resistencia al desgaste [5]. En el año 2001 los investigadores V.K. Tolpygo, D.R. Clarke y K.S. Murphy publicaron un artículo que habla sobre una modificación

superficial del platino por el proceso de granallado, buscando realizar un recubrimiento de Níquel-Aluminio[6]. Un aporte de este trabajo es evaluar como el tratamiento superficial de mallas de acero inoxidable por chorro abrasivo o granallado, puede mejorar las características superficiales.

## **MARCO TEÓRICO**

**Proyección de abrasivos:** Es un tratamiento superficial que consiste en trabajar en frío un metal, impactando directamente contra este una corriente de partículas de forma esférica llamados comúnmente bolas. Esta acción es equivalente a ejercer un trabajo de pequeños martilleos sobre la superficie del metal.

**Perfil de anclaje:** Cuando hablamos de perfil de anclaje nos referimos al grado de rugosidad que presenta el material en la superficie para que el recubrimiento que se va aplicar se adhiera fácilmente. Dicho perfil se reduce a la formación de crestas y valles, los cuales se pueden apreciar como un sistema montañoso en la superficie, y para la medición de la rugosidad se debe tomar la altura entre los valles y las crestas, dicha medición de la rugosidad se da en milésimas de pulgadas en el sistema inglés y en micrometros en el sistema internacional [7].

**Diseño experimental:** Prácticamente todo los campos de estudio llevan a cabo experimentos, por lo general para descubrir algo acerca de un proceso o sistema particular. En un sentido literal, un experimento es una prueba. En una perspectiva más formal, un experimento puede definirse como una prueba o serie de pruebas en las que se hacen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema para observar e identificar las razones de los cambios que pudieran observarse en las respuestas de salida.

En general, los experimentos se usan para estudiar el desempeño de procesos y sistemas. El proceso o sistema puede por lo general visualizarse como una combinación de máquinas, métodos, personas u otros recursos que transforman cierta entrada (con frecuencia un material) en una salida que tiene una o más respuestas observables. Los objetivos del experimento podrían comprender los siguientes, determinar cuáles son las variables más influyentes sobre la salida

deseada y mantener dichas variables controladas para que casi siempre este cerca del valor nominal de la salida, otro objetivo es controlar que los efectos de las variables no controlables sean mínimos [8].

**Abrasivos:** Se le llama material abrasivo a cualquier tipo de sustancia mineral, empleada en procesos artesanales e industriales para trabajar a otros materiales o piezas determinadas mediante diferentes procesos mecánicos, con el fin de darle otro acabado, textura o forma. A continuación se describen algunos abrasivos (ver Anexo A):

- Óxido de aluminio: Es un corindón artificial con un grano muy duro y resistente. Apto para trabajos de limpieza a chorro en cabinas y cuartos de granallado, posee una alta capacidad de reciclaje y puede ser utilizado para limpieza y tratamiento de superficies desde madera, pasando por acero al carbón, vidrio, cobre, aluminio, bronce e incluso acero inoxidable, lo que lo hace muy versátil. Se comercializa en colores marrón y blanco [9].
- Granalla de acero (esférica): Este abrasivo se produce mediante la fusión de restos de chatarra cuidadosamente seleccionada, a la cual se le da un tratamiento con calor especial que asegura una óptima solidez y microestructura. Esta granalla se comercializa en una sola dureza y es apropiada para uso en sistemas de chorreo cerrado [9].
- Silicato de aluminio: Este abrasivo proviene de la escoria de carbón mineral utilizado en las termoeléctricas, la cual, después del proceso de fusión, es triturada y tratada especialmente para obtener diferentes tamaños de grano y dureza que dan un excelente resultado en cuanto a perfil de anclaje y limpieza de la superficie [9].

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar los procesos de proyección de abrasivos para la modificación superficial del perfil de anclaje en mallas de acero inoxidable AISI SAE 304.

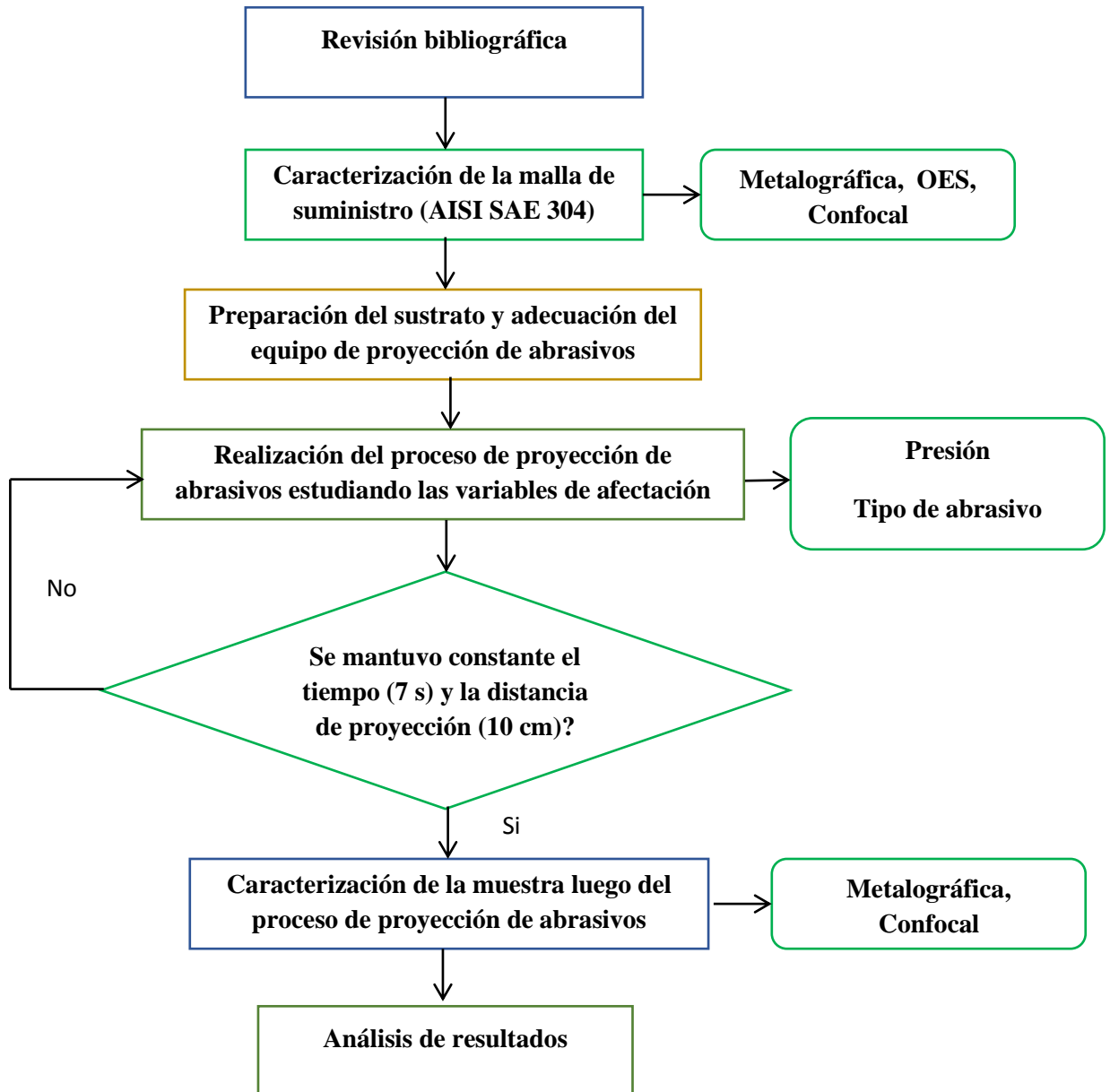
#### **3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar las características superficiales del sustrato antes de realizar el proceso de chorro abrasivo.
- Evaluar el efecto de las variables de operación del proceso de chorro abrasivo tales como presión y tipo de abrasivo en el perfil de anclaje del sustrato.
- Establecer el efecto del proceso de chorro abrasivo sobre las características superficiales adquiridas por el sustrato durante el proceso de chorro abrasivo.

#### 4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La metodología del trabajo se mostrara en el esquema de la fig. 1

**Figura 1.** Diagrama de flujo del procedimiento metodológico.



#### 4.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS METODOLÓGICAS.

##### **Etapa 1: Revisión bibliográfica**

###### **Actividad 1.1:** Búsqueda, adquisición y revisión de material bibliográfico

Se revisaron diversas fuentes bibliográficas como libros especializados, artículos recientemente publicados en revistas nacionales e internacionales y bases de datos referentes a los temas de interés en esta investigación.

##### **Etapa 2: Preparación del sustrato**

###### **Actividad 2.1:** Selección y compra de abrasivos.

Con la revisión bibliográfica realizada previamente y según la disponibilidad de los materiales, se seleccionaron los abrasivos empleados en este trabajo (Granalla, Óxido de Aluminio F24, Óxido de Aluminio F60 y Silicato de Aluminio), ya que son de bajo costo y amigables con el medio ambiente. Las características de los abrasivos que se tuvieron en cuenta se pueden apreciar en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Características de los abrasivos comercialmente

<b>Abrasivo</b>	<b>Dureza [Mohs]</b>	<b>Granulometría [mm]</b>	<b>Forma</b>
<b>Granalla S330</b>	5	0,71-0,85 Promedio: 0,78	Esférica
<b>Óxido de aluminio F24</b>	9	0,595-0,841 Promedio: 0,718	Angular
<b>Óxido de aluminio F60</b>	9	0,21-0,297 Promedio: 0,254	Angular
<b>Silicato de aluminio A3</b>	7	0,2-1,4 Promedio: 0,8	Angular

**Actividad 2.2:** caracterización inicial del sustrato

Se realizó la caracterización de la malla de suministro (ver Anexo C), para lo cual se cortó 1 centímetro cuadrado de la malla de acero inoxidable y se procedió al montaje en baquelita debido al espesor reducido del material, posteriormente se realizó la preparación metalográfica siguiendo la norma ASTM E3 [10], el cual consistió en un desbaste (desde la lija 80 hasta la lija 1500) y pulido (paños con ilumina de 3  $\mu\text{m}$  y alúmina de 0,5  $\mu\text{m}$ ) del material, como último paso se realizó un ataque electrolítico a la pieza con ácido oxálico al 10% (por 4 min), para la revelación de su microestructura (ASTM E407 [11]). Las muestras se caracterizaron por microscopía óptica (OM) en el equipo OLYMPUS GX71, para identificar la microestructura y sus fases. Se realizaron 5 tomas de microdureza con una carga de 50 gF y un tiempo de sostenimiento de 16 segundos (equipo INNOVATEST 400 series) en el sustrato, siguiendo la norma ASTM E384 [12] para corroborar el tipo de material. Además de las anteriores técnicas mencionadas, se realizó un pulido hasta obtener una superficie plana de la malla a la cual se le ejecuto un análisis químico por espectroscopia de emisión óptica (OES) en el equipo Q8 MAGELLAN BRUKER con el método de cuantificación para acero del tipo Níquel Cromo.

**Etapa 3: Evaluación de las variables de operación del proceso de chorro abrasivo.****Actividad 3.1:** Selección de variables y rangos de operación

Las variables de operación que se analizaron y se seleccionaron de acuerdo a estudios previos reportados en la literatura y por la empresa Procesadora del Cristal Ltda. Así se determinó cuáles variables que tienen mayor afectación (Presión y tipo de abrasivo) y cuales no tanto (ángulo de impacto, distancia y tiempo). Luego de determinar las variables, se seleccionó los rangos de variación cada una.

**Actividad 3.2:** Diseño experimental

A partir del número de variables y niveles de cada una, se seleccionó un diseño factorial para analizar la interacción entre cada una de las variables. Como variable de respuesta tendremos la rugosidad de la superficie.

Ya que se conocen la cantidad de variables que van a afectar el sistema (las que se van a modificar) y las que no van a afectar el sistema (variables que se van a mantener constante).

Se realizó un estudio preliminar, utilizando un diseño experimental 2k (por cada tipo de abrasivo), en el que se tenía en cuenta como variables la presión, tipo de abrasivo y el tiempo, al realizar las pruebas se descartó el manejo de la variable tiempo debido a que al efectuar los ensayos de proyección de abrasivos era necesario mantener constante la zona proyectada, para así tener un control de la afectación de la variable tiempo en la rugosidad del material. Por este motivo se descartó el tiempo como variable de afectación, se tiene más detalle en el Anexo B.

Luego de realizar los estudios preliminares se realizó un estudio en el cual se estableció como variables a modificar la presión y tipo de abrasivo, a partir de esta información se realizó un diseño factorial 2<sup>2</sup> [8].

Las condiciones a las cuales se realizó la proyección de abrasivos en la procesadora se pueden apreciar en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Condiciones de operación de proyección de abrasivos en la Procesadora del Cristal.

Tipo de abrasivo	Presión [Psi]	Tiempo [s]	Distancia [cm]	Granulometría
Óxido de aluminio	80-100	7-10	10	60

Tomando en cuenta los datos suministrados por la procesadora (Tabla 2) y la información encontrada en la literatura, se seleccionó el rango de presión, la

distancia y el tiempo de aplicación (en toda la superficie de la malla) de la proyección de abrasivos [13], además se recibió un entrenamiento de los técnicos del CIC (Corporación para la Investigación de la Corrosión) y la Procesadora del Cristal Ltda., para realizar una adecuada y correcta proyección de abrasivos en toda la superficie de la malla.

Utilizando el diseño experimental 2<sup>2</sup>, y los datos suministrado por la procesadora, se seleccionó el rango de presión a trabajar y se planteó el diseño experimental a realizar, el cual se puede apreciar en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Diseño experimental para el cálculo de pruebas a realizar.

Abrasivo	Presión [psi]			
	60	80	100	Σ
Granalla	2	2	2	6
Óxido de Al (F24)	2	2	2	6
Óxido de Al (F60)	2	2	2	6
Silicato de Al (A3)	2	2	2	6
<b>Número total de pruebas</b>				24

**Actividad 3.3:** Proceso de chorro abrasivo

Se realizaron los ensayos de proyección de abrasivos, posteriormente a esto se realizó una preparación tanto de las piezas, del equipo y los abrasivos y luego si se procedió a la realización de las pruebas (con los respectivos equipos de protección personal). La proyección de abrasivos se ejecutó en las instalaciones de CIC, en cual consistía en una cabina de acrílico, una manguera de presión, una pistola, un regulador de presión, una tolva y un compresor de aire, el procedimiento consiste en adiciona el abrasivo a la tolva y encender el compresor para que así salga disparado las partículas. En el momento de proyectar el abrasivo se tuvo en cuenta que la probeta estuviera bien sujeta y se procedió a

realizar el chorreado de abrasivo a una distancia de 10 cm por 7 segundos, de tal forma que en toda la malla impactaran las partículas.

**Etapa 4: Determinación de las propiedades superficiales del sustrato luego del proceso de chorro abrasivo.**

**Actividad 4.1:** Caracterización del sustrato luego del proceso de chorro abrasivo. Se realizó caracterización metalográfica de las probetas mediante el equipo de Microscopía Óptica y Confocal, con el cual se pudo determinar la rugosidad de la superficie. Así mismo se pudo determinar los perfiles de anclajes para cada prueba.

**Actividad 4.2:** Análisis de resultados

El alcance del perfil de anclaje se correlacionó con las condiciones de operación mediante el análisis de los resultados obtenidos por Microscopía Óptica Confocal Y OM (Microscopía Óptica).

**Etapa 5: Socialización del proyecto**

**Actividad 5.1:** Presentación de resultados y documentación

Se realizaron 3 seminarios en el GIMBA con el fin de analizar resultados parciales.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. CARACTERIZACIÓN POR ANÁLISIS QUÍMICO POR ESPECTROSCOPIA DE EMISIÓN ÓPTICA (OES) A LA MALLA DE SUMINISTRO.

Los resultados del análisis químico de la malla de acero inoxidable con tratamiento superficial previo se presentan en la tabla 4, en la cual se puede apreciar que los porcentajes de composición de los elementos principales del material son: 67,78 % Hierro (Fe), 21,62% Cromo (Cr) y 7,619 % de Níquel. Teniendo en cuenta que un acero inoxidable se caracteriza por tener porcentajes entre 8-10,5 de Ni y 18-20 de Cr, se puede concluir que de acuerdo a lo presentado en la tabla 4, las probetas de estudio presentan una composición similar a la del acero inoxidable AISI SAE 304.

**Tabla 4.** Resultados de análisis químico por espectroscopia de emisión óptica (OES).

<b>%C</b>	<b>%Si</b>	<b>%Mn</b>	<b>%P</b>
<b>0,033</b>	<b>0,463</b>	<b>1,773</b>	<b>0,030</b>
<b>%Cr</b>	<b>%Mo</b>	<b>%Ni</b>	<b>%Al</b>
<b>21,62</b>	0,105	7,619	0,025
<b>%Cu</b>	<b>%Nb</b>	<b>%Ti</b>	<b>%V</b>
<b>0,138</b>	0,030	0,0097	0,168
<b>%Sn</b>	<b>%As</b>	<b>%B</b>	<b>%Fe</b>
<b>0,010</b>	0,049	0,0087	67,78

## **5.2. ANÁLISIS METALOGRÁFICO DE LAS MALLA DE ACERO INOXIDABLE AISI SAE 304**

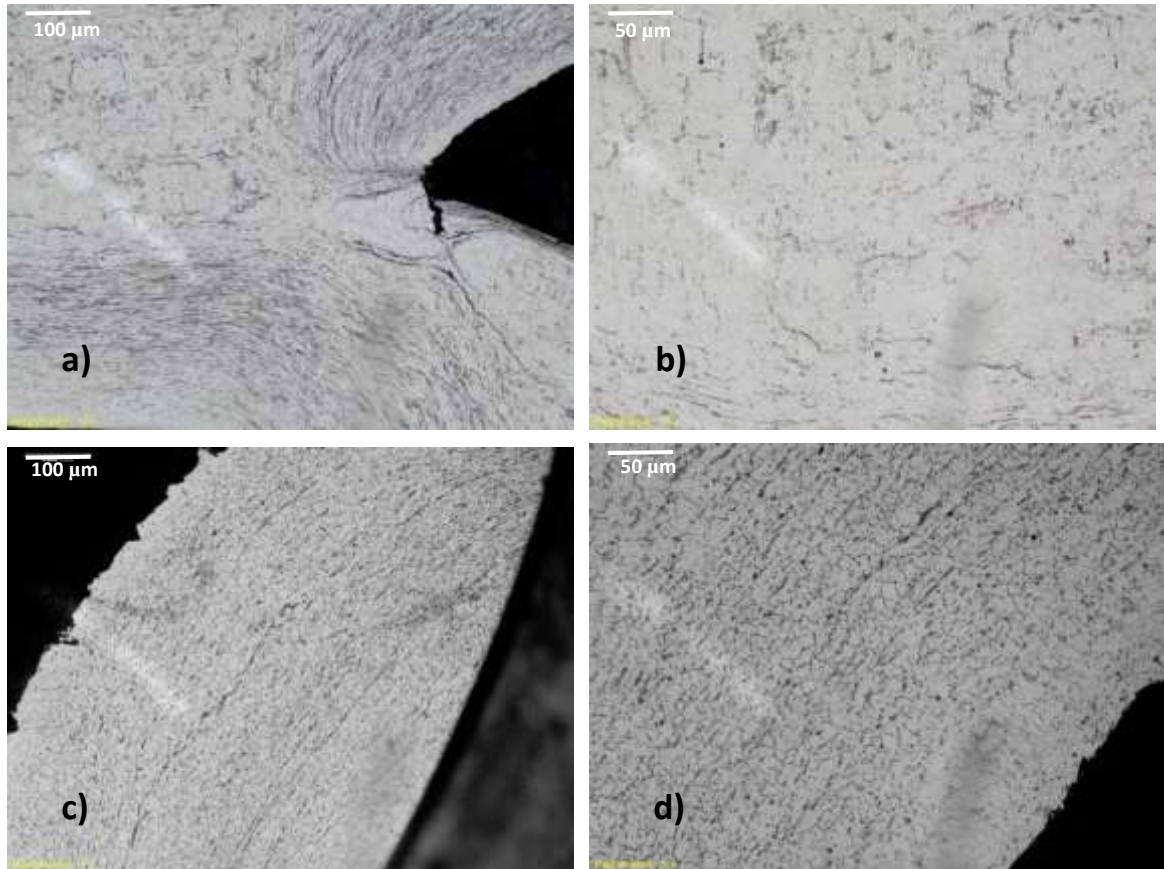
Para identificar la microestructura del material suministrado (malla de acero inoxidable AISI SAE 304) por la empresa Colmallas S.A. (ver Anexo C) se realizó un análisis metalográfico, en el cual se aprecia una estructura con textura en dirección a la deformación plástica como se muestra en la Fig. 2a.

La muestra se caracterizó por microscopía óptica (OM), la cual reveló una microestructura monofásica, con fase austenita ( $\gamma$ ), en Fig. 2b, los granos equiaxiales no se pueden apreciar, debido a la deformación plástica generada por el laminado y troquelado. Esta deformación plástica genera un cambio en la forma y tamaño del grano, además crea endurecimiento por deformación, lo cual conlleva a un incremento de la dureza [14].

La microestructura con fase austenítica estable, se presenta en aceros inoxidables con altos contenidos de níquel, por tal motivo se afirma que el material corresponde a un acero inoxidable AISI SAE 304 [15].

Luego de la proyección de abrasivos, se realizó una caracterización metalográfica, para ver el comportamiento de la microestructura luego de este proceso. Comparando las imágenes de la Fig. 2, se puede decir que se presentó un cambio en la estructura, debido a la aparición de los granos equiaxiales y una disminución de las marcas generadas por la deformación plástica del laminado y troquelado, esto se le atribuye a la proyección de abrasivos [16].

**Figura 2.** Micrografías de mallas de acero inoxidable AISI SAE 304 antes de la proyección de abrasivo a a) 100X, b) 200X y después de la proyección de c) 100X y d) 200X.

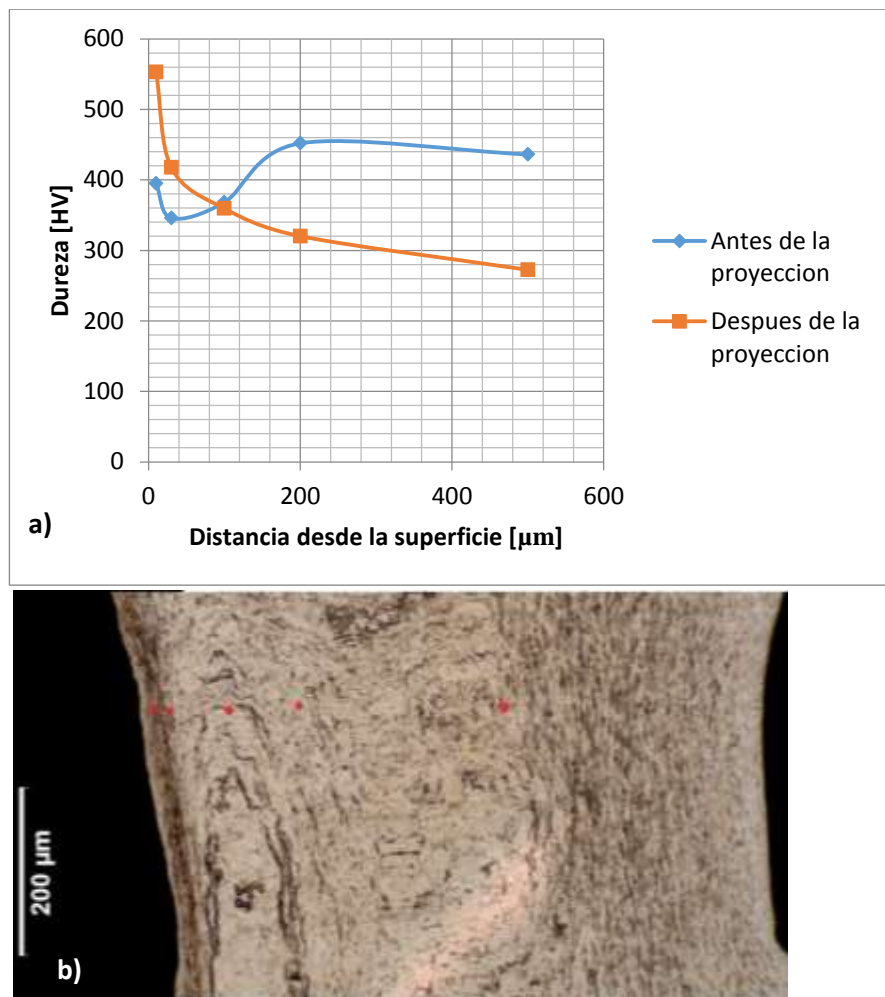


### 5.3. ANÁLISIS DE DUREZA

En la Fig.3 se puede observar que la microdureza de las mallas de acero inoxidable AISI SAE 304, la cual fue comparada con la información suministrada por la empresa Colmallas S.A. (ficha técnica). Los aceros inoxidables por medio del trabajado en frío pueden alcanzar altas durezas, ya que son muy dúctiles y pueden conseguir altos porcentajes de deformaciones en frío, lo que conlleva a altos valores de dureza [17]. La dureza típica de una pieza de acero inoxidable según la

literatura es de 14 HRC (225 HV) [18] y analizando los resultados obtenidos se pudo apreciar que la dureza promedio del sustrato es de 403,3 Hv y la máxima dureza tomada fue de 451,9 HV, lo cual indica que las mallas de acero inoxidable 304 presentan un alto porcentaje de trabajado en frio, y por ese motivo hubo un incremento en la dureza del sustrato. Analizando los resultados obtenidos y la información suministrado por la empresa Colmallas S.A. (mallas de acero inoxidable AISI SAE 304, laminadas en frio), se puede afirmar que la información es consistente con lo esperado.

**Figura 3.** a) Grafica de dureza vs distancia desde la superficie, b) Micrografía a 50X de la malla de suministro, con indentaciones de microdureza (puntos rojos).



Luego de la proyección de abrasivos se realizó tomas de microdureza y se obtuvo un valor promedio de dureza de 384,3 HV y un valor máximo de 552,6 HV. Los puntos rojos mostrados en Fig. 3b, indican los lugares de las indentaciones. Los resultados arrojadas luego del chorro de abrasivo prestan un aumento dureza cerca de la superficie del material y una disminución en el centro (ver Fig. 3a), esto se le atribuye a la deformación plástica generada por el impacto del abrasivo. El proceso de proyección de abrasivos en superficies metálicas, además de generar desprendimiento de material superficial, genera aumento en la dureza superficial del material base (acero inoxidable), debido al endurecimiento por deformación plástica [19].

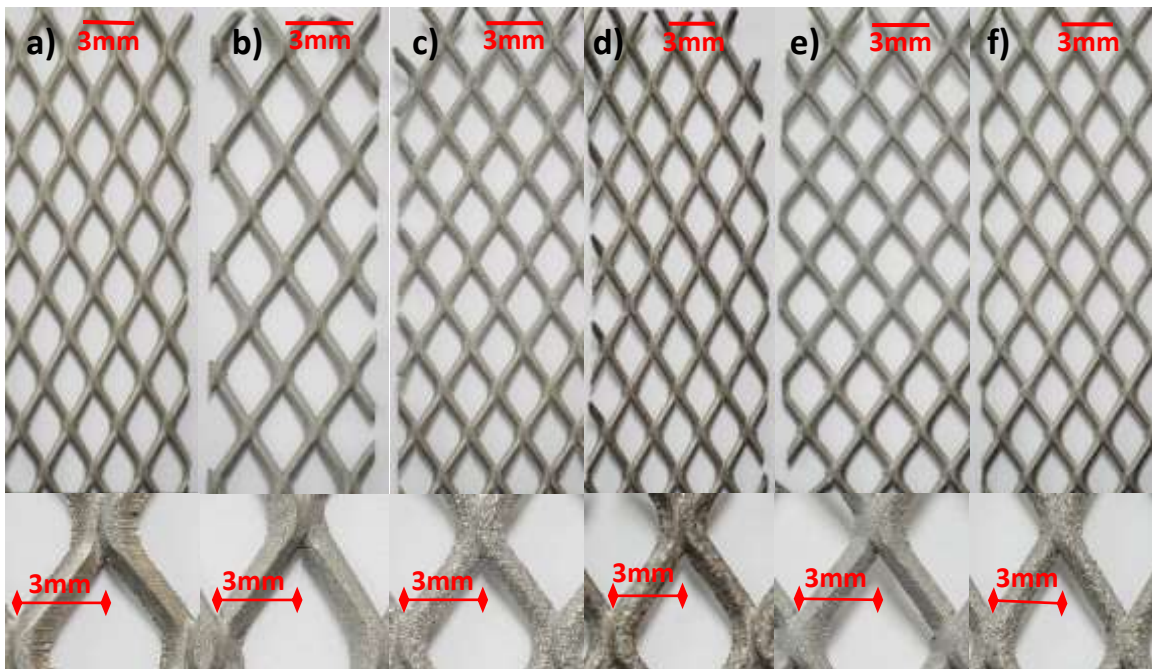
#### **5.4. ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL DE LAS MUESTRAS SOMETIDAS A PROYECCIÓN DE ABRASIVOS**

En la Fig. 4 se presentan imagines de la superficie de las mallas de acero inoxidable luego del tratamiento superficial con diferentes abrasivos, en la cual se aprecia una diferencia de brillo y un cambio en la superficie de la malla, esto puede atribuirse a que cada malla presenta una rugosidad diferente. Contrastando la malla de la procesadora y las mallas de CIC (las cuales sufrieron una proyección de abrasivos) con la malla de suministro, se observa que presentan una modificación superficial, lo cual indica un aumento de la rugosidad superficial y por tal motivo un aumento del área superficial [20].

Se puede diferenciar la morfología de las mallas proyectadas con abrasivo esférico (granalla) y las proyectadas con abrasivo angulares (óxido de aluminio y silicato de aluminio), esta diferencia se presenta por que las partículas circulares al impactar desprenden poco material de la superficie, ya que su geometría no permite cortes profundos, en cambio las partículas angulares al ser impactadas en el material, generan cortes profundos, lo cual conlleva a perfiles de rugosidad mayores, esto

se debe a que su forma angular genera grandes diferencias de altura entre la crestas y los valles [17].

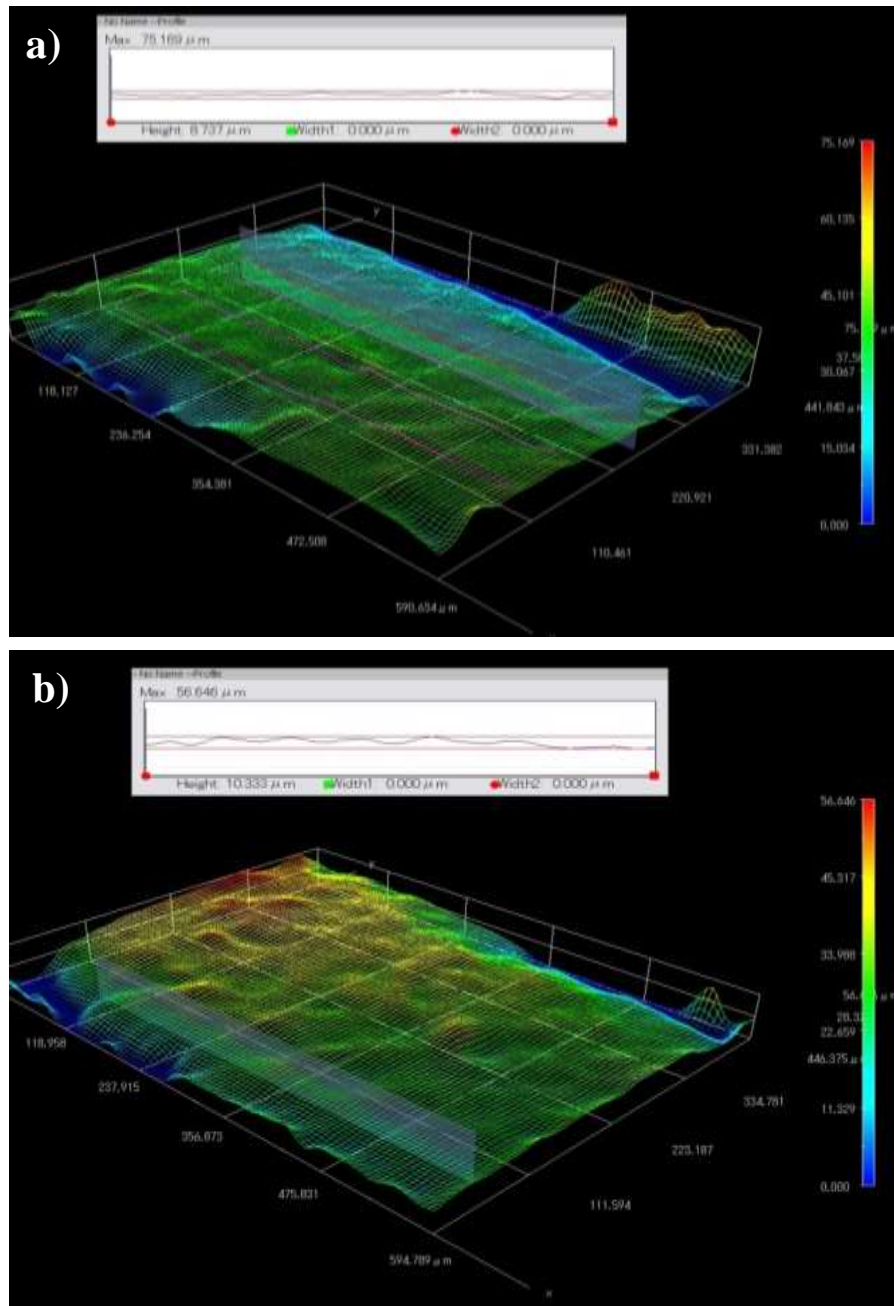
**Figura 4.** Fotografías de mallas de acero inoxidable AISI SAE 304 para, a) suministro sin proyección, b) proyectada con óxido de aluminio en la Procesadora del Cristal, c) proyectada óxido de aluminio (F24), d) proyectada con granalla, e) proyectada óxido de aluminio (F60), f) proyectada silicato de aluminio (A3) a una presión de 80 psi.



Los resultados de las mediciones de rugosidad en 3D de la malla de suministro y la malla que se proyectó en la empresa Procesadora del Cristal Ltda se aprecian en la Fig. 5. Para la malla de suministro, la cual no presentaba ninguna modificación superficial, se puede apreciar una pequeña irregularidad superficial, esta textura se debe al proceso de fabricación (laminada y troquelada). La Fig. 5b, muestra una medición de la rugosidad para una malla, la cual fue proyectada con abrasivos (óxido de aluminio) en la Procesadora del Cristal Ltda, en ella se puede

apreciar una rugosidad un poco mayor a la de la Fig. 5a, esto se debe a una modificación superficial que sufrió para aumentar su perfil de anclaje.

**Figura 5.** Medición de la rugosidad de la superficie en 3D realizada a 560X para: a) malla de acero inoxidable AISIS SAE 304 (malla de suministro) y b) malla proyectada con óxido de aluminio en la Procesadora del Cristal Ltda.



En la Tabla 5, se pueden apreciar los resultados de rugosidad promedio, de la malla de suministro y de malla que fue proyectada en la procesadora, de lo cual podemos observar que la malla de suministro presenta un valor de rugosidad de 9,011  $\mu\text{m}$  y la de la procesadora de 12,2  $\mu\text{m}$ , lo cual nos afirma que la mejora superficial que se realizó en la procesadora sí tuvo efecto en el perfil de anclaje.

**Tabla 5.** Resultados de rugosidad para la malla de suministro y malla proyectada en la empresa Procesadora del Cristal.

	<b>Rugosidad promedio (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
<b>Malla suministro</b>	9,011
<b>Malla proyectada en la procesadora</b>	12,208

En la Tabla 6 se pueden observar que las máximas rugosidades se encontraron bajo las siguientes condiciones: abrasivo óxido de aluminio (F24) y una presión de 80 psi, para lo cual se obtuvo una rugosidad promedio de 36,87  $\mu\text{m}$  y abrasivo Silicato de Aluminio (A3), presión de 100 psi, para lo cual se obtuvo una rugosidad promedio de 36,83  $\mu\text{m}$ , pero examinando los perfiles de rugosidad en 3D, se aprecia que utilizando el abrasivo de óxido Al (F24) se obtiene una rugosidad más homogénea (ver Fig. 6), por tal motivo las mejores condiciones para la obtención de la máxima rugosidad o perfil de anclaje son: abrasivo óxido de Al (F24) y una presión de 80 psi.

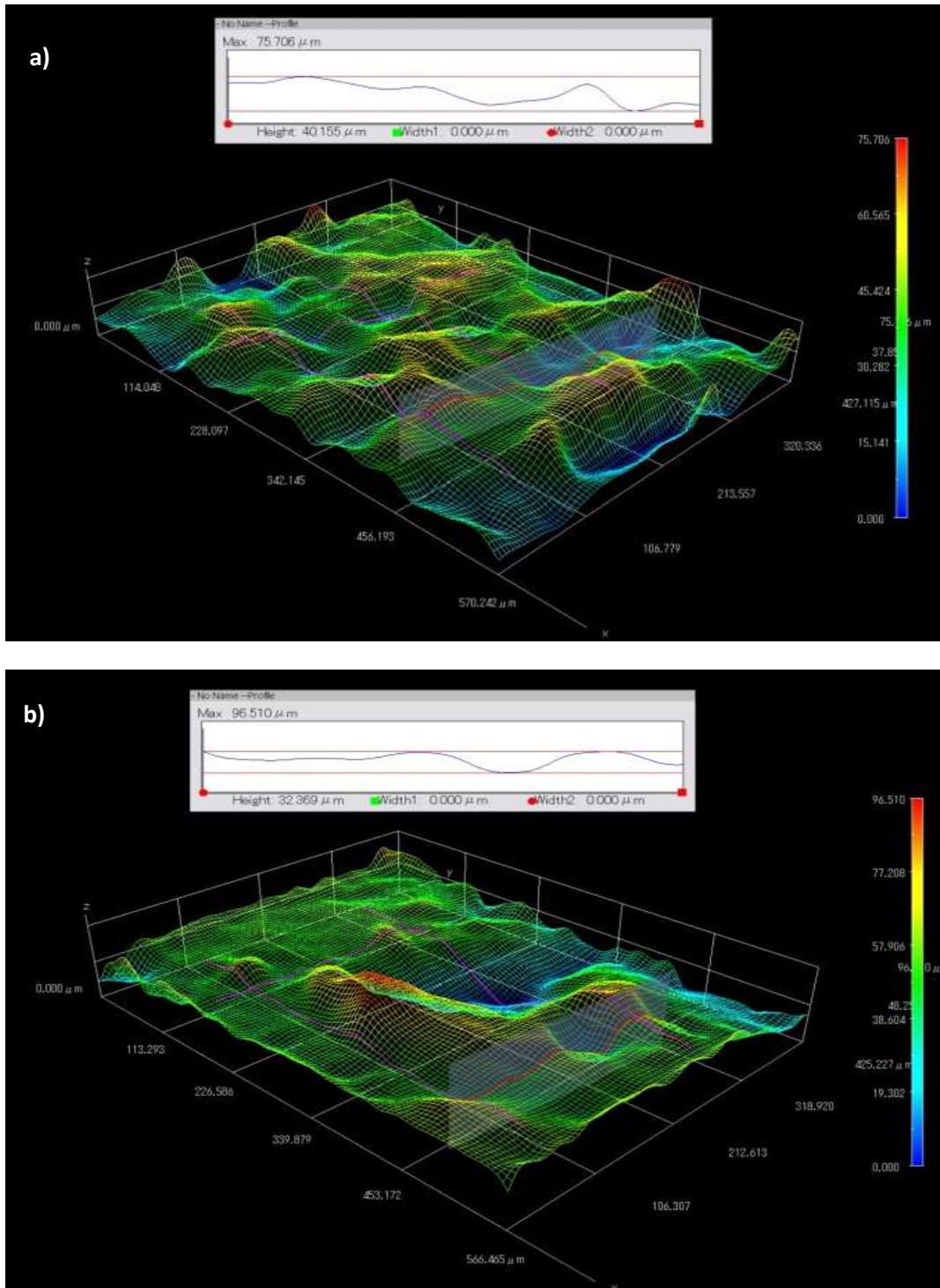
**Tabla 6.** Resultados de rugosidad para cada abrasivo a diferentes presiones, obtenidos mediante microscopia de confocal.

Tipo de abrasivo	Presión (psi)	Rugosidad promedio ( $\mu\text{m}$ )
<b>Granalla</b>	60	13,77
<b>Granalla</b>	80	12,47
<b>Granalla</b>	100	11,09
<b>Oxido de Al F24</b>	60	30,94
<b>Oxido de Al F24</b>	80	36,87
<b>Oxido de Al F24</b>	100	31,59
<b>Oxido de Al F60</b>	60	21,10
<b>Oxido de Al F60</b>	80	12,71
<b>Oxido de Al F60</b>	100	18,18
<b>Silicato de Al A3</b>	60	15,40
<b>Silicato de Al A3</b>	80	23,95
<b>Silicato de Al A3</b>	100	36,83

En la Fig. 6 se observa un conjunto de irregularidades en la superficie de las malla proyectada con óxido de aluminio F24, en la cual se realizaron mediciones entre valle y crestas de las morfología de la superficie, dichas medidas se puede apreciar en el perfil de línea que se encuentra en la parte derecha de cada una de las figuras. Las zonas que presentan un color rojo, son los puntos más altos y las zonas de color azul son los puntos más bajos, por tal forma se evaluó que material presentaba una rugosidad más homogénea y así poder obtener una mayor área superficial.

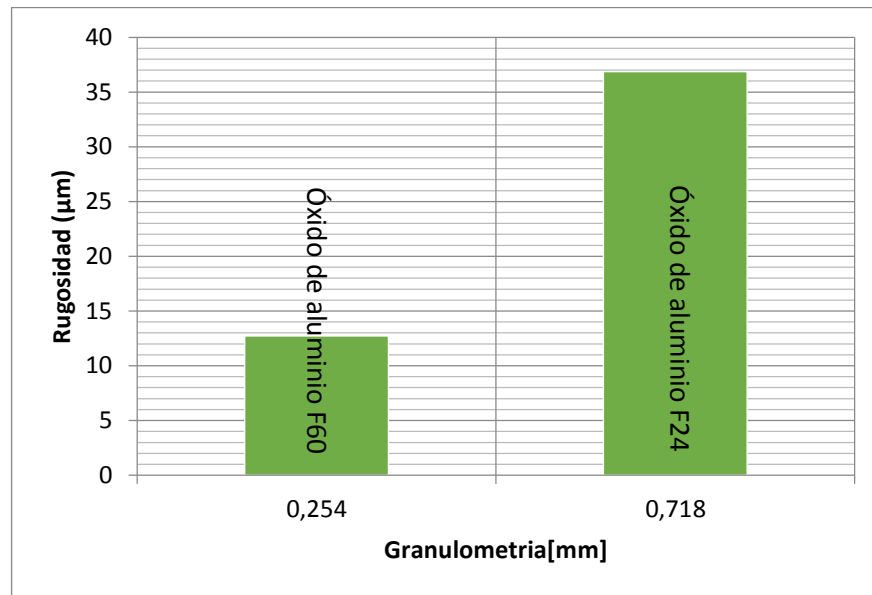
Comprando la Fig. 5a (malla de suministro), con la Fig. 6a (malla proyectada con óxido de aluminio F24 a 80 psi), se puede observar el incremento de la rugosidad por causa del impacto de las partículas angulares de granulometría promedio 0,718 mm y dureza de 9 mohs, estas características fueron las que permitieron la obtención del mejor perfil de anclaje.

**Figura 6.** Medición de la rugosidad de la superficie en 3D para malla de acero inoxidable AISI SAE 304 proyectada con: a) óxido de aluminio (F24) a 80 psi y b) silicato de aluminio (A3) a 100 psi.



Otra característica importante de las partículas en la proyección de abrasivos, es el tamaño, por tal motivo se realizó un estudio a un mismo abrasivo (óxido de aluminio) con diferente tamaño de partícula F24 (0,718  $\mu\text{m}$ ) y F60 (0,254  $\mu\text{m}$ ). La grafica presentada en la Fig. 7, muestra los valores de rugosidad promedio obtenidos en función de la granulometría de los abrasivos. Estos resultados indican que el tamaño de partícula tienen un efecto importante en la rugosidad, porque el tamaño del abrasivo es directamente proporcional a la energía cinética proceso y al haber un aumento de la energía cinética al impactar las partículas habrá un incremento en la rugosidad del material, tal como se evidencia en la Fig. 7. [21].

**Figura 7.** Grafica de rugosidad promedio vs granulometría para el abrasivo óxido de aluminio a una presión de 80 psi.

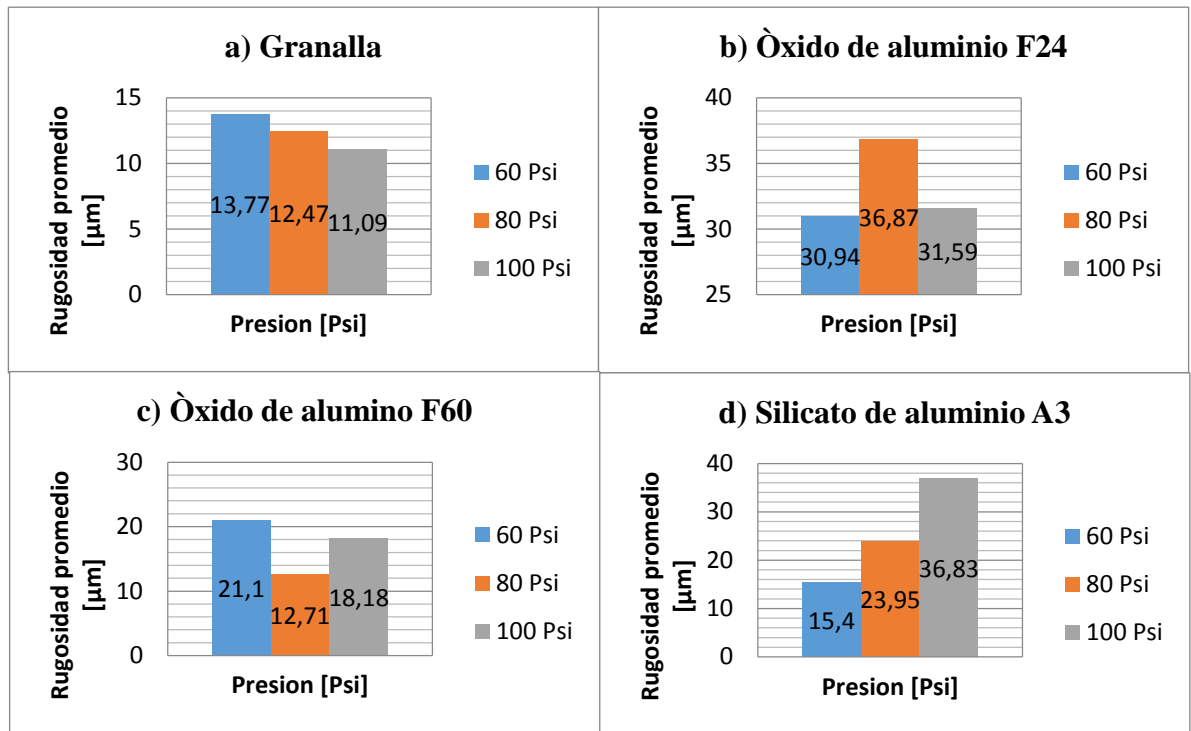


Por otra parte la presión es un factor importante y depende de cada abrasivo, como se aprecia en la Fig. 8. Esto da a entender que cada abrasivo tiene una presión diferente a la cual se encontrará la máxima rugosidad. Para el caso de la granalla, Fig. 8a, se aprecia una disminución de la rugosidad a medida que

aumenta la presión, este efecto se le atribuye a la forma esférica del abrasivo, ya que las partículas circulares sufren pérdida de energía cinética al momento de impactar, por la generación de calor, energía de deformación o fractura y la energía que no se transforma es la causante del rebote, por ende a mayor presión mayor rebote de las partículas y menor rugosidad [22].

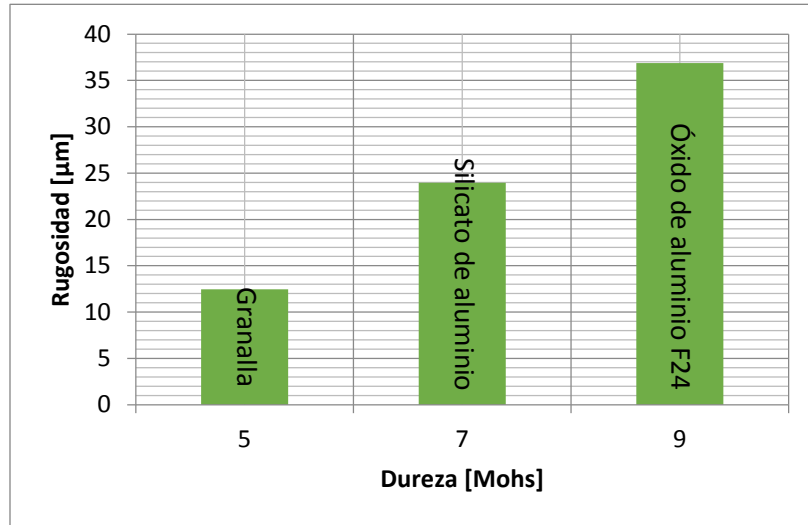
Para el óxido de aluminio F24, en la Fig. 8b, se observa una presión crítica a 80 psi, debido a que por debajo de esta presión, la fuerza de impacto genera un perfil de rugosidad menor, y superando el valor crítico hay una disminución de perfil de anclaje debido a la pérdida de energía cinética por la fractura del material particulado (los materiales duros son más frágiles) en el momento del impacto. Para el óxido de aluminio F60, se observa que la mayor rugosidad se encuentra a la menor presión que corresponde a 60 psi (ver Fig. 8c), lo cual se atribuye a que las partículas más pequeñas generan menor energía cinética en el proceso. El efecto que tiene presión en el silicato de aluminio es directamente proporcional a la rugosidad (Fig. 8d ), debido a que el tamaño de grano es el mayor de los cuatro abrasivos y presenta una menor dureza (7 Mohs) que el óxido de aluminio (9 Mohs), lo cual conlleva a que necesite mayor presión que genere una rugosidad máxima.

**Figura 8.** Comportamiento de la rugosidad respecto a la presión para cada tipo de abrasivo.



Finalmente, también se pudo observar que a dureza también tuvo un efecto en la rugosidad, tal como se muestra en la Fig.9. A una presión de 80 psi se observa que la rugosidad es directamente proporcional a la dureza de los abrasivos (ver Tabla 1), lo cual nos quiere decir que abrasivos más duros generan perfiles de anclaje más altos, ya que si las partículas tienen mayor dureza que el sustrato, al impactar generara un mayor perfil de anclaje [23].

**Figura 9.** Grafica de rugosidad vs durezas de los abrasivos (granalla, óxido de aluminio y silicato de aluminio), para una presión de 80 psi.



En la literatura no se ha encontrado estudios en los cuales se busque aumentar la rugosidad en mallas de acero inoxidable AISI SAE 304, de allí la importancia del presente trabajo, ya que con el aumento de la rugosidad en las mallas, se aumentara la adherencia de los recubrimientos de níquel electrodepositados, lo cual nos lleva a que los procesos de electrólisis y fotoelectrólisis se beneficien [24][25]. Dichos procesos se benefician de dos forma, la primera, al haber un aumento en la rugosidad de las mallas, se disminuirá la posibilidad de un desprendimiento en el recubrimiento de Níquel, y la segunda es que se incrementará el área superficial de la malla, aumentando su área efectiva [26]. Resumiendo se puede observar que la aplicación de proyección de abrasivo, produce diferentes perfiles de rugosidad, con diferentes morfologías, lo cual nos da como desenlace que para la obtención de un perfil de anclaje deseado se deben utilizar abrasivos angulares de gran tamaño y que presenten una dureza mayor a la de la superficie del sustrato, utilizando una presión que no genere fracturas de las partículas, sin disminuir la energía cinética del proceso.

## 6. CONCLUSIONES

- Se observó que la malla de suministro presentaba una rugosidad heterogénea, con un valor promedio de 9,011  $\mu\text{m}$ , esto se debe a que las mallas se fabricaron por laminación y troquel, lo cual genera desgaste por abrasión.
- Se generó una modificación superficial, mediante la proyección de abrasivos sobre la malla de acero inoxidable, aumentando la rugosidad y el área superficial.
- Se obtuvo que las mejores condiciones de tipo de abrasivo y presión para la obtención de un perfil de anclaje en mallas de acero inoxidable AISI SAE 304 fue la utilización de abrasivo óxido de aluminio (F24) a una presión de 80 Psi, para lo cual se obtuvo una rugosidad de 36,87  $\mu\text{m}$ , mayor que la de la malla de suministro, la cual presentaba un valor de 9,011  $\mu\text{m}$ .
- Como resultado de la proyección de abrasivos con material particulado, óxido de aluminio a diferentes tamaños F24 (595 – 841  $\mu\text{m}$ ) y F60 (210 – 297  $\mu\text{m}$ ), se pudo concluir que se obtiene un mayor perfil de anclaje a mayores tamaños de material particulado, ya que aumentan la energía cinética en el proceso.
- Se presentó un incremento de la dureza superficial del sustrato a causa de la deformación plástica por la proyección de abrasivos.

## 7. RECOMENDACIONES

- Para futuras pruebas de proyección de abrasivos es recomendable la adecuación de un mejor equipo de proyección de abrasivos en el cual se pueda tener un control exacto de la presión y un sistema de almacenamiento de abrasivo utilizado, con el fin de poder realizar estudios de granulometría al material particulado luego de ser proyectado.
  
- Realizar pruebas de electrodeposición de níquel a la malla con mejor perfil de anclaje para comprobar el efecto de la rugosidad en la adherencia.
  
- Efectuar análisis granulométricos antes y después de la proyección de abrasivos, con el fin de determinar la disminución del tamaño de las partículas.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] JARAMILLO GUTIERREZ, Maria Ines. “Estudio de factibilidad de un proceso fotoelectrico para la producción de hidrogeno a partir del agua asociada a la producción de petroleo,” Universidad Industrial De Santander, 2014.
- [2] JIMENEZ, Shardaine and LIZARAZO, Libardo, “Estudio de microelectrólisis sobre agua de producción de petroleo utilizando fotoanodos de TiO<sub>2</sub>/acero inoxidable para la generacion de hidrogeno,” Universidad Industrial De Santander, 2013.
- [3] APARICIO; JAVIER GIL; FONSECA; BARBOSA and Planell, “Corrosion behaviour of commercially pure titanium shot blasted with different materials and sizes of shot particles for dental implant applications,” *Biomaterials*, vol. 24, no. 2, pp. 263–273, 2003.
- [4] LLORENTE Carlos; BILMES Pablo. “Superficies De Biomateriales De Acero,” *researchgate*, no. January, 2017.
- [5] PENG; FU and L. ZHOU. “Improved wear resistance by phase transformation of surface nanocrystalline 1090 steel prepared by sandblasting technique,” *Appl. Surf. Sci.*, vol. 388, pp. 406–411, 2016.
- [6] TOLPYGO; CLARKE and MURPHY, “Effect of Grit Blasting on the Oxidation Behavior of a Platinum-Modified Nickel-Aluminide Coating,” *Metall. Mater. Trans. A*, vol. 32, no. 6, pp. 1467–1478, 2001.
- [7] ZALDIVAR, Erwin. “Efecto del tamaño de bola en el proceso de granallado,” Instituto Politecnico Nacional, 2008.
- [8] DOUGLAS, Montgomery. *Diseño y Analisis de Experimentos*, 2nd ed. MEXICO: EDITORIAL LIMUSA S.A.DE C.V., 2004.
- [9] FABCOM S.A.S., “Abrasivos Con Calidad Certificada, Amigables Amigables

- Con La Salud Y El Ambiente.” [Online]. Available: <http://www.fabcomsas.com/>. [Accessed: 11-Oct-2017].
- [10] S. COATINGS. “Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens 1,” vol. 11, no. Reapproved, pp. 1–12, 2017.
- [11] CONSHOHOCKEN. “Standard Practice for Microetching Metals and Alloys 1,” vol. 7, no. Reapproved 2015, pp. 1–22, 2017.
- [12] A. CERAMICS *ETAL.*, “Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials 1,” pp. 1–40, 2017.
- [13] HERNÁNDEZ, Camilo. “CARACTERIZACIÓN Y Y MODIFICACIÓN DE SUPERFICIES DE Ti-6Al-4V PARA LA DEPOSICION DE UN RECUBRIMIENTO CON QUITOSANO,” Universidad Simón Bolívar, 2011.
- [14] KANG; KIM; SON; KIM; PARK and LEE, “Materials Characterization Hot-worked microstructure and hot workability of cold-work tool steels,” *Mater. Charact.*, vol. 135, no. April 2017, pp. 8–17, 2018.
- [15] T. MATERIALS AND I. COMPANY, “ASM METALS HANDBOOK,” vol. 9 Metallog, 1985.
- [16] MULTIGNER; FRUTOS; GONZÁLEZ; CARRASCO; JIMÉNEZ; MARÍN and IBÁÑEZ. “In fl uence of the sandblasting on the subsurface microstructure of 316LVM stainless steel: Implications on the magnetic and mechanical properties,” *Mater. Sci. Eng. C*, vol. 29, no. 4, pp. 1357–1360, 2009.
- [17] AGRAWAL and SINGH, “Materials Science & Engineering A Limitations on the hardness increase in 316L stainless steel under dynamic plastic deformation,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 687, no. January, pp. 306–312, 2017.
- [18] Grupo Industrial CHIPAXA S.A., “SANDBLAST MAQUINARIA Y EQUIPO,” *Mexico D.F.*, 2010. [Online]. Available: <http://www.chipaxa.com/paginas/Abrasivos1.htm>.

- [19] WANG and LI. "Mechanical , electrochemical and tribological properties of nanocrystalline surface of brass produced by sandblasting and annealing," vol. 167, no. 2, pp. 188–196, 2003.
- [20] RIVERA; EDGAR and MELO. "La rugosidad de las superficies : Topometría," vol. IV, no. 11, pp. 27–33, 2001.
- [21] J.C.BALZA *ETAL.*, "Sandblasting as a surface modification technique on titanium alloys for biomedical applications : abrasive particle behavior Sandblasting as a surface modification technique on titanium alloys for biomedical applications : abrasive particle behavior," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 45, p. 5, 2013.
- [22] WATANABE, Thales. "El proceso de granallado," Curitiba.
- [23] Grupo Industrial CHIPAXA S.A., "SANDBLAT MAQUINARIA Y EQUIPO," Mexico D.F., 2010. [Online]. Available: <http://www.chipaxa.com/paginas/Abrasivos1.htm>.
- [24] HERNÁNDEZ and GALLEGO, *Deposición electrolítica de Níquel*. Guadalajara: Observatorio de Yebes, 2015.
- [25] RUDAWSKA; DANCZAK; MÜLLER and VALASEK. "International Journal of Adhesion & Adhesives The effect of sandblasting on surface properties for adhesion," *Int. J. Adhes. Adhes.*, vol. 70, pp. 176–190, 2016.
- [26] Dr-Ing. MANDICH; CEF and AESF Fellow, *Surface Preparation of Metals Prior to Plating*. Lansing, Illinois: HBM Electrochemical & Engineering Co., 2002.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

AGRAWAL; ANKUR and SINGH, Aparna. 2017. "Materials Science & Engineering A Limitations on the Hardness Increase in 316L Stainless Steel under Dynamic Plastic Deformation." *Materials Science & Engineering A* 687(January):306–12. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2017.01.066>).

APARICIO; JAVIER GIL; FONSECA, Carlos; BARBOSA, Mario and PLANELL, Josep Anton. 2003. "Corrosion Behaviour of Commercially Pure Titanium Shot Blasted with Different Materials and Sizes of Shot Particles for Dental Implant Applications." *Biomaterials* 24(2):263–73.

CERAMICS, ADVANCED ETAL. 2017. "Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials 1." 1–40.

COATINGS, SPRAYED. 2017. "Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens 1." 11(Reapproved):1–12.

CONSHOHOCKEN; WEST. 2017. "Standard Practice for Microetching Metals and Alloys 1." 7(Reapproved 2015):1–22.

MONTGOMERY Douglas. 2004. *Diseño Y Analisis de Experimentos*. 2nd ed. edited by G. Noriega. MEXICO: EDITORIAL LIMUSA S.A.DE C.V. Retrieved (<http://www.iuma.ulpgc.es/~nunez/mastertecnologiastelecomunicacion/Tema3DisenodeExperimentos/doe-5-tratamientos-factoriales.pdf>).

Dr-Ing. MANDICH, CEF, and AESF Fellow. 2002. *Surface Preparation of Metals Prior to Plating*. Lansing, Illinois: HBM Electrochemical & Engineering Co.

ZALDIVAR, Erwin. 2008. "Efecto Del Tamaño de Bola En El Proceso de Granallado." Instituto Politecnico Nacional.

FABCOM S.A.S. n.d. "Abrasivos Con Calidad Certificada, Amigables Amigables Con La Salud Y El Ambiente." Retrieved October 11, 2017 (<http://www.fabcomsas.com/>).

Grupo Industrial CHIPAXA S.A. 2010a. "SANDBLAST MAQUINARIA Y EQUIPO." Mexico D.F. 5. Retrieved (<http://www.chipaxa.com/paginas/Abrasivos1.htm>).

Grupo Industrial CHIPAXA S.A. 2010b. "SANDBLAT MAQUINARIA Y EQUIPO." Mexico D.F. 6. Retrieved (<http://www.chipaxa.com/paginas/Abrasivos1.htm>).

HERNÁNDEZ; BALZA, Juan. 2011. "CARACTERIZACIÓN Y Y MODIFICACIÓN DE SUPERFICIES DE Ti-6Al-4V PARA LA DEPOSICION DE UN RECUBRIMIENTO CON QUITOSANO." Universidad Simón Bolívar.

HERNÁNDEZ and GALLEGO. 2015. *Deposición Electrolítica de Níquel*. Guadalajara: Observatorio de Yebes.

JARAMILLO GUTIERREZ, Maria Ines. 2014. "Estudio de Factibilidad de Un Proceso Fotoelectrico Para La Producción de Hidrogeno a Partir Del Agua Asociada a La Producción de Petroleo." Universidad Industrial De Santander.

JIMENEZ Shardaine and LIZARAZO Libardo . 2013. "Estudio de Microelectrólisis Sobre Agua de Producción de Petroleo Utilizando Fotoanodos de TiO<sub>2</sub>/acero Inoxidable Para La Generacion de Hidrogeno." Universidad Industrial De Santander.

J C BALZA ETAL. 2013. "Sandblasting as a Surface Modification Technique on Titanium Alloys for Biomedical Applications : Abrasive Particle Behavior Sandblasting as a Surface Modification Technique on Titanium Alloys for Biomedical Applications : Abrasive Particle Behavior." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 45:5.

KANG, JUN-YUN ETAL. 2018. "Materials Characterization Hot-Worked Microstructure and Hot Workability of Cold-Work Tool Steels." *Materials Characterization* 135(April 2017):8–17. Retrieved (<https://doi.org/10.1016/j.matchar.2017.11.001>).

LLORENTE, Carlos; BILMES, Pablo; BONETTO, Rita. 2017. "Superficies De Biomateriales De Acero." *Researchgate* (January).

MATERIALS, THE AND INFORMATION COMPANY. 1985. "ASM METALS HANDBOOK." 9 Metallog.

MULTIGNER, M. ETAL. 2009. "Influence of the Sandblasting on the Subsurface Microstructure of 316LVM Stainless Steel: Implications on the Magnetic and Mechanical Properties." *Materials Science & Engineering C* 29(4):1357–60. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2008.11.002>).

PENG, RONG, LICAI FU, AND LINGPING ZHOU. 2016. "Improved Wear Resistance by Phase Transformation of Surface Nanocrystalline 1090 Steel Prepared by Sandblasting Technique." *Applied Surface Science* 388:406–11. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.12.103>).

RIVERA; HINOJOSA, Moisés; Martín Edgar and MELO Reyes. 2001. "La Rugosidad de Las Superficies : Topometría." IV(11):27–33.

RUDAWSKA; ANNA; DANCZAK, Izabela; MIROSLAV MÜLLER, and VALASEK, Petr. 2016. "International Journal of Adhesion & Adhesives The Effect of Sandblasting on Surface Properties for Adhesion." *International Journal of Adhesion and Adhesives* 70:176–90. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2016.06.010>).


TOLPYGO; CLARKE and MURPHY. 2001. "Effect of Grit Blasting on the Oxidation Behavior of a Platinum-Modified Nickel-Aluminide Coating." *Metallurgical and Materials Transactions A* 32(6):1467–78.

WANG; LINCHUN and LI. 2003. "Mechanical , Electrochemical and Tribological Properties of Nanocrystalline Surface of Brass Produced by Sandblasting and Annealing." 167(2):188–96.

WATANABE, Thales. n.d. *El Proceso de Granallado*. Curitiba.

## 10. ANEXOS

### Anexo A. Fichas técnicas de los abrasivos entregadas por la empresa FABCOM S.A.S.



# EUROGRIT BV

---

<b>Ficha técnica</b>	<b>Óxido de aluminio ELK / NK</b>	<b>02-01-2007</b>
----------------------	---------------------------------------	-------------------

<b>Descripción</b>	El óxido de aluminio ELK / NK es un corindón artificial con un grano muy duro y resistente.			
<b>Aplicaciones</b>	Apto para trabajos de proyección a chorro en máquinas de chorro a presión, cabinas de chorro, etc. Altamente apropiado para su reciclaje.			
<b>Características</b>	Granulación	:	aguda	
	Color	:	marrón	
	Dureza	:	9 Mohs	
	Peso específico	:	3,96 kgs/dm <sup>3</sup>	
	Peso vertedor	:	1,6-1,8 kgs/dm <sup>3</sup>	
<b>Análisis químico (tan sólo una indicación)</b>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	:	95,50 %	
	TiO <sub>2</sub>	:	2,70 %	
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	:	0,10 %	
	SiO <sub>2</sub>	:	0,90 %	
	MgO	:	0,25 %	
	CaO	:	0,19 %	
	Na <sub>2</sub> O	:	0,02 %	
	K <sub>2</sub> O	:	0,09 %	
<b>Granulometría</b>	F12	1410 - 2000 micrón	F60	210 - 297 micrón
	F14	1190 - 1680	F70	170 - 250
	F16	1000 - 1410	F80	149 - 210
	F20	841 - 1190	F90	125 - 177
	F24	595 - 841	F100	105 - 149
	F30	500 - 707	F120	88 - 125
	F38	420 - 595	F150	63 - 105
	F46	297 - 420	F180	53 - 88
	F54	250 - 354	F220	44 - 74
<b>Embalaje</b>	Bolsas de 25 o 50 kgs en paletas no retornables, protegidas con una funda de plástico.			

### EUROGRIT - A LA VANGUARDIA EN ABRASIVOS

---

EUROGRIT BV - Noordhoek 7 - P.O. Box 184 - 3350 AD Papendrecht - The Netherlands  
 tel. +31-78-6546770 - fax +31-78-6449494 - E-mail: info@eurogrit.com  
 Website: www.eurogrit.com



## EUROGRIT BV

Ficha técnica

Eurogrit  
Silicato de Aluminio

02-01-2007

<b>Descripción</b>	Eurogrit es una granalla de silicato de aluminio para la limpieza a chorro obtenida de la escoria de carbón utilizadas en las termoeléctricas.		
<b>Aplicaciones</b>	Limpieza a chorro de superficies de aceros y hormigón, eliminando las escamas metálicas, óxido, pinturas viejas, suciedad etc. Aplicable para la obtención de superficies SA-3, SA-2½ y SA-2, también como chorreo ligero.		
<b>Características</b>	Granulación : Angular/cortante Color : Negro/marrón Dureza : 7 Mohs Peso específico : 2.4-2.6 kg/dm <sup>3</sup> Peso vertedor : 1.3-1.4 kg/dm <sup>3</sup> Conductibilidad : menos de 15 mS/m Cloruros solubles en agua : menos de 0.001% (m/m)		
<b>Análisis químico</b> (tan sólo una indicación)	SiO <sub>2</sub> : 45 - 52 % sin presencia de sílica libre Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 24 - 31 % Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 7 - 11 % CaO : 3 - 8 % K <sub>2</sub> O : 2 - 5 % MgO : 2 - 3 % TiO : 0 - 2 % Na <sub>2</sub> O : 0 - 1 % Otros : Trazas solamente		
<b>Granulometría</b>	Tipo A1 : 0.2 - 0.6 mm	Tipo B1 : 1.2 - 2.2 mm	
	Tipo A2 : 0.2 - 1.0 mm	Tipo B2 : 0.8 - 2.2 mm	
	Tipo A3 : 0.2 - 1.4 mm	Tipo B3 : 0.5 - 2.2 mm	
	Tipo AB : 0.2 - 2.2 mm	Tipo X : 0.5 - 1.6 mm	
<b>Embalaje</b>	- Bolsas de papel de 3 capas, 25 ó 50 kgs de contenido, sobre pallet recubiertos por nylon de película retráctil para la exportación. - En bolsas grandes de polypropileno fuertemente trenzados, con 4 bandas de izaje.		
<b>ISO</b>	Certificado de calidad del sistema ISO-9001 certificado no. K10475/05 producto standards ISO 11126-4 y 11127.		

### EUROGRIT - A LA VANGUARDIA EN ABRASIVOS

EUROGRIT BV - Noordhoek 7 - P.O. Box 184 - 3350 AD Papendrecht - The Netherlands  
tel: +31-78-6546770 - fax: +31-78-6449494 - E-mail: info@eurogrit.com  
Website: www.eurogrit.com



## ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE LA GRANALLA DE ACERO IKK DO BRASIL

IKK do Brasil produce la granalla de acero bajo especificación de la norma internacional SAE conforme sigue:

1 – Norma SAE J 827, que especifica la composición química y propiedades requeridas para la granalla de acero con alto contenido de carbón, para partículas esféricas, empleadas en operaciones de granallado para limpieza de metales, preparación de superficie, desarenado en fundiciones, Shot Peening, etc.

### # Composición Química:

%C - 0,8 a 1,2  
%Mn - 0,6 a 1,2  
%Si - >0,4  
%P - < o = 0,05  
%S - < o = 0,05

3 – Norma SAE J 444, que determina el procedimiento a respetar para realización de ensayos de granulometría para la granalla esférica y angular. :

### # Granulometría S330:

Tamiz:	14	16	18	20	25
Apertura (mm)	1,4	1,18	1,0	0,85	0,71
% Retenida:	0	max 5%	-	min 85%	min 96%

### # Dureza :

40 - 51 Hrc – Dureza Standard H  
43,6 – 52,3 Hrc – Dureza Superior P

En nuestro muestrario podrán encontrar mejores detalles sobre las especificaciones de nuestra gama de productos, como durezas especiales, granulometrías, etc.

Atentamente,

Ventas técnicas – IKK do Brasil

**Anexo B.** Resultados de proyección de abrasivos en monedas de acero inoxidable AISI SAE 304.

Resultados de perfil de anclaje por proyección de abrasivos utilizando como material particulado granalla

Presión (Psi)	Tiempo (s)	Perfil de anclaje (micrómetros)								
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	Toma 8	Promedio
36	5	53	30	37	43	33	43	35	50	40,50
36	10	27	27	43	25	37	39	40	25	32,88
72	5	49	47	55	47	37	55			48,33
72	10	59	59	57	63	65	71			62,33
28	7,5	23	30	33	31	40	25			30,33
80	7,5	50	75	81	7,1	47	71			55,18
54	4	40	35	20	30	27	39			31,83
54	11	83	59	61	67	61	65			66,00
54	7,5	41	35	39	55	37	37			40,67
36	5	33	27	31	27	29	37			30,67
36	10	33	43	35	27	40	32			35,00
72	5	61	47	35	50	45	40			46,33
72	10	65	65	67	59	55	50			60,17
28	7,5	12	20	15	15	12	20			15,67
80	7,5	61	86	77	65	62	86			72,83
54	4	22	27	23	47	31	27			29,50
54	11	49	61	65	55	49	55			55,67
54	7,5	51	55	75	47	71	55	40	41	54,38

Resultados de perfil de anclaje por proyección de abrasivos utilizando como material particulado Silicato de Aluminio (A3)

Presión (Psi)	Tiempo (s)	Perfil de anclaje (micrómetros)								
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	Toma 8	Promedio
36	5	50	60	47	65	53	47	55	48	53,13
36	10	25	24	35	44	27	27	50	60	36,50
72	5	61	67	76	73	69	90	60	77	71,63
72	10	65	65	69	47	43	56	52	61	57,25
28	7,5	51	37	35	41	39	33	15	43	32,67
80	7,5	63	63	96	78	77	79	82	77	76,88
54	4	71	57	63	45	52	61	43	49	55,13
54	11	79	63	65	69	80	76	76	80	73,50
54	7,5	71	71	63	62	60	63	70	61	65,13
36	5	68	70	51	39	40	58	39	60	53,13
36	10	65	69	55	51	61	57	75		61,86
72	5	69	67	59	71	60	59	67	59	63,88
72	10	74	77	73	71	55	81	75		72,29
28	7,5	69	59	36	37	59	47	43	36	48,25
80	7,5	80	71	69	77	90	81	73	81	77,75
54	4	75	77	53	55	53	54	56	78	62,63
54	11	71	69	75	77	57	73	75	80	72,13
54	7,5	71	83	87	69	55	60	81	71	72,13

Resultados de perfil de anclaje por proyección de abrasivos utilizando como material particulado Oxido de Aluminio (F24)

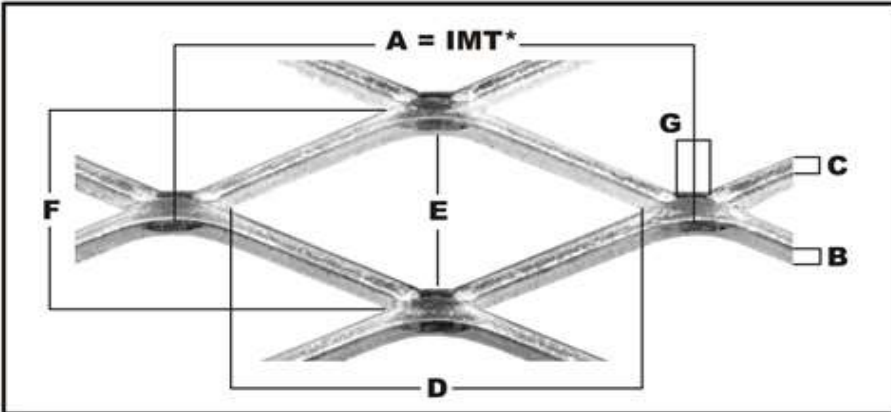
Presión (Psi)	Tiempo (s)	Perfil de anclaje (micrometros)								
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	Toma 8	promedio
36	5	68	57	51	61	65	59			60,17
36	10	53	47	59	51	53	65			54,67
72	5	53	65	53	59	73	63			61,00
72	10	51	58	61	65	49	63			57,83
28	7,5	53	50	47	51	60	40			50,17
80	7,5	79	65	53	94	65	92	77	92	77,13
54	4	75	96	59	47	65	59	55	65	65,13
54	11	45	63	63	39					52,50
54	7,5	69	83	69	45	79	74	68		69,57
36	5	80	63	90	73	73	71			75,00
36	10	51	65	67	57	55	60			59,17
72	5	47	75	65	69	53	71	82	57	64,88
72	10	60	84	100	63	94	79			80,00
28	7,5	47	44	33	19	15	47	33	14	31,50
80	7,5	86	85	83	87	67	69	80	75	79,00
54	4	45	42	55	87					57,25
54	11	45	77	65	63	58	61			61,50
54	7,5	49	39	67	55	63	63			56,00

La rugosidad promedio inicial del sustrato era de 0,007 micrómetros, y se presentó un aumento después del sandblasting en un rango de 20 y 80 micrómetros de perfil de anclaje. Las condiciones para alcanzar un mayor perfil de anclaje es utilizando como abrasivo Oxido de Aluminio (F24), una presión de 72 Psi y un tiempo de aplicación de 10 segundos, el cual presenta un valor de 80 micrometros.

<b>RESULTADOS DE DUREZA DE LA BARRA DE 304</b>		
<b>Nº prueba</b>	<b>Vickers (Hv)</b>	<b>Rockwell C (HRC)</b>
1	342,7	35
2	345,8	35
3	331,7	34
4	307,2	31
5	368,8	38
6	376,4	39
7	358,2	37
8	388,6	40
9	302	30
10	350,1	36
11	317	32
12	363,2	37
<b>Promedio</b>	344,63	35,13



## Característica técnica del metal expandido IMT



**A = IMT\*** (Número del troquel)  
Es la distancia en mm. entre centros de uniones.

**B = CALIBRE**

**C = VENA**


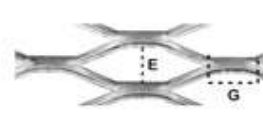
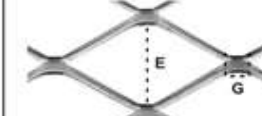
**D = DIAGONAL MAYOR**

**E = DIAGONAL MENOR**  Distancia libre

**F = PROFUNDIDAD**

**G = EXTENSIÓN DE UNIÓN**

**\*IMT:** Es la medida que vemos en el gráfico con la cual nosotros identificamos la referencia.  
Ejemplo: Cuando hablamos de una malla IMT-200 quiere decir que tiene 200 mm. en la medida A. Esto sucede en todas las referencias de mallas expandidas.

HUECO NORMAL	HUECO TIPO A	HUECO TIPO C
		
E = Diagonal Menor G = Extensión de Unión	Diagonal menor más angosta (E), Mayor Extensión de Unión (G)	Diagonal menor más ancha (E) Extensión de unión normal (G)

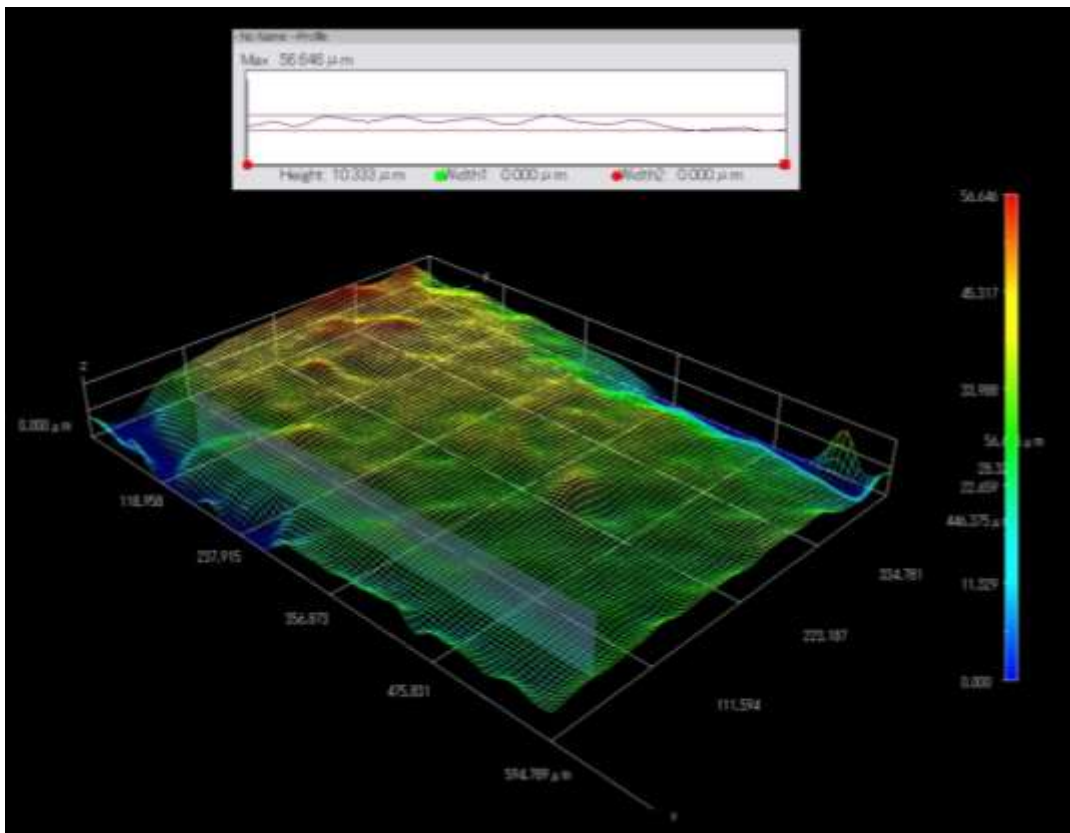
**IMT® marca registrada de Colmallas S.A.**

**Anexo D.** Resultados Microscopia Confocal mallas proyectadas en el CIC.

**Resultados de rugosidad**

La medición de rugosidad se realizó con el equipo el equipo de Confocal (Digital Microscope KH-7700) y se ejecutó a 560 X. Después de realizar la medición se obtuvieron los siguientes resultados.

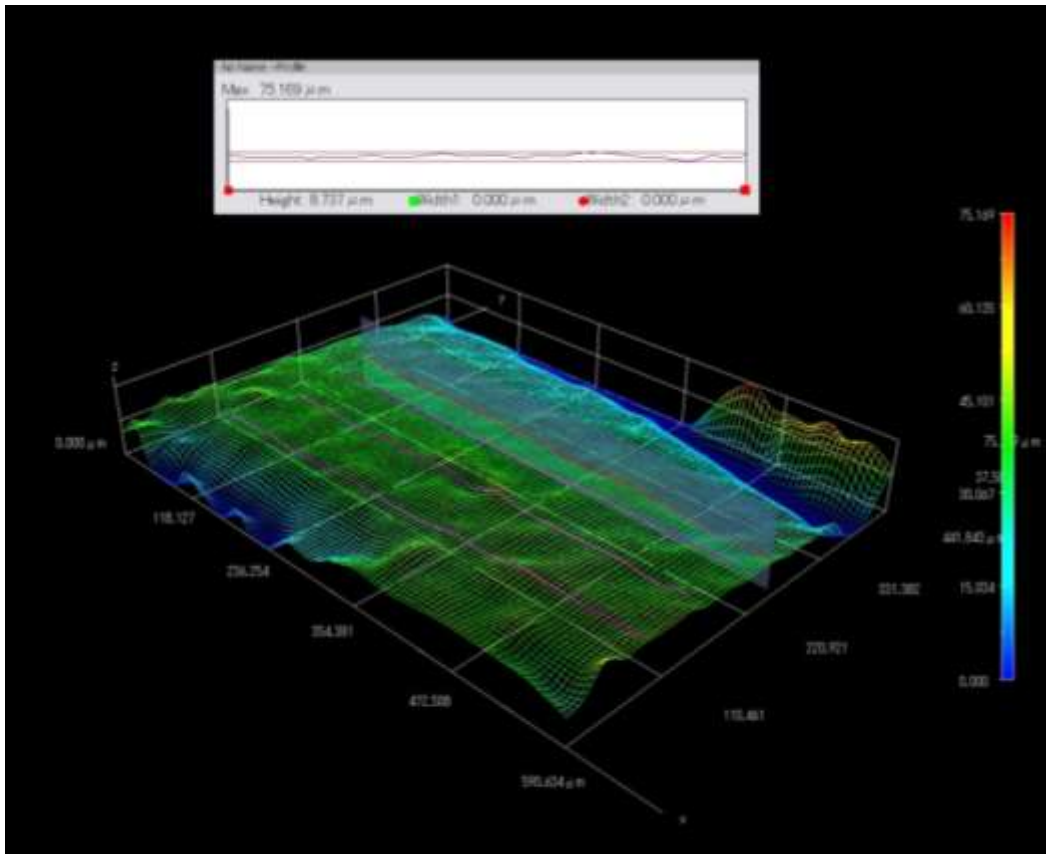
**Figura a.** Medición de la rugosidad de la superficie en 3D para malla de acero inoxidable AISIS SAE 304 proyectada (Oxido de Aluminio) en la Procesadora del Cristal.



**Tabla a.** Resultados de rugosidad para la proyección (Oxido de Aluminio) en la Procesadora del Cristal.

	1	2	3	4	Promedio
Rugosidad (μm)	10,333	14,591	9,548	14,358	12,208

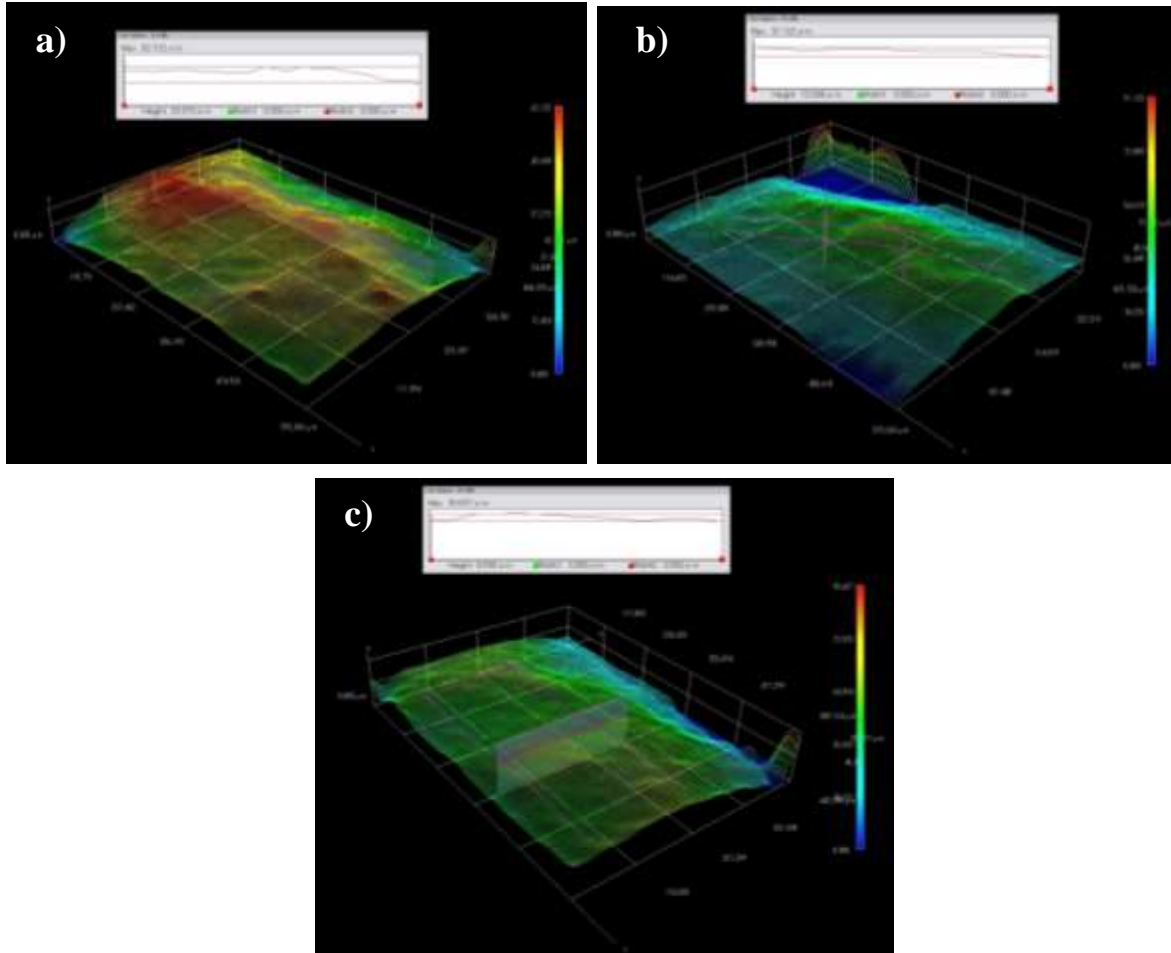
**Figura b.** Medición de la rugosidad de la superficie en 3D para malla de acero inoxidable AISIS SAE 304 (malla de suministro).



**Tabla b.** Resultados de rugosidad para la malla de suministro.

	1	2	3	4	promedio
Rugosidad (μm)	9,036	4,613	13,656	8,737	9,011

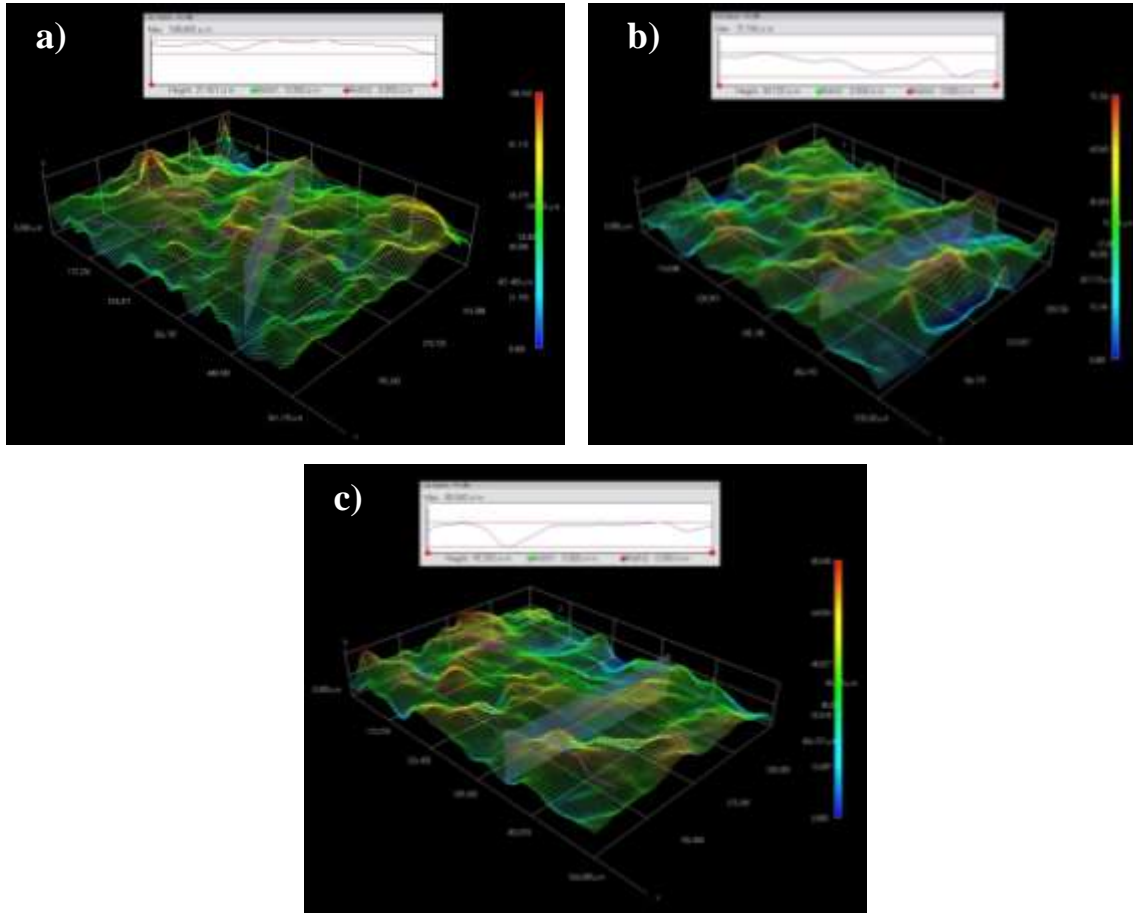
**Figura c.** Medición de la rugosidad de la superficie en 3D para malla de acero inoxidable AISIS SAE 304 proyectada con granada a diferentes presiones: a) 60 Psi, b) 80 Psi, c) 100 Psi.



**Tabla c.** Resultados de rugosidad para la malla de suministro proyectada con granalla a diferentes presiones.

presión (Psi)	Rugosidad ( $\mu\text{m}$ )				
	1	2	3	4	Promedio
60	20,97	16,96	8,956	8,197	13,77075
80	15,455	19,979	4	10,398	12,4705
100	16,633	9,73	9,451	8,556	11,0925

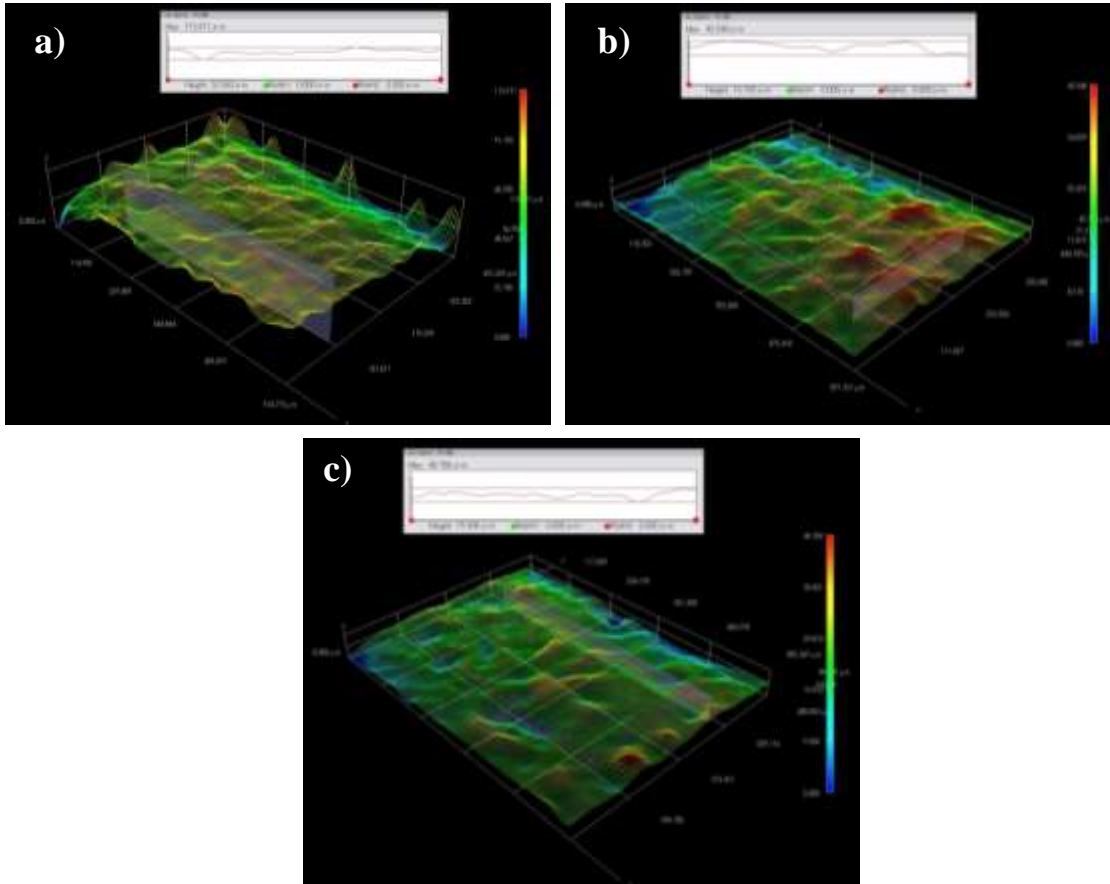
**Figura d.** Medición de la rugosidad de la superficie en 3D para malla de acero inoxidable AISIS SAE 304 proyectada con Oxido de Aluminio (F24) a diferentes presiones: a) 60 Psi, b) 80 Psi, c) 100 Psi.



**Tabla d.** Resultados de rugosidad para la malla de suministro proyectada con Oxido de Aluminio (F24) a diferentes presiones.

presión (Psi)	Rugosidad ( $\mu\text{m}$ )				
	1	2	3	4	promedio
60	41,293	30,905	30,165	21,421	30,946
80	38,888	34,564	34	40,155	36,8705
100	26,368	30,411	24,338	45,26	31,59425

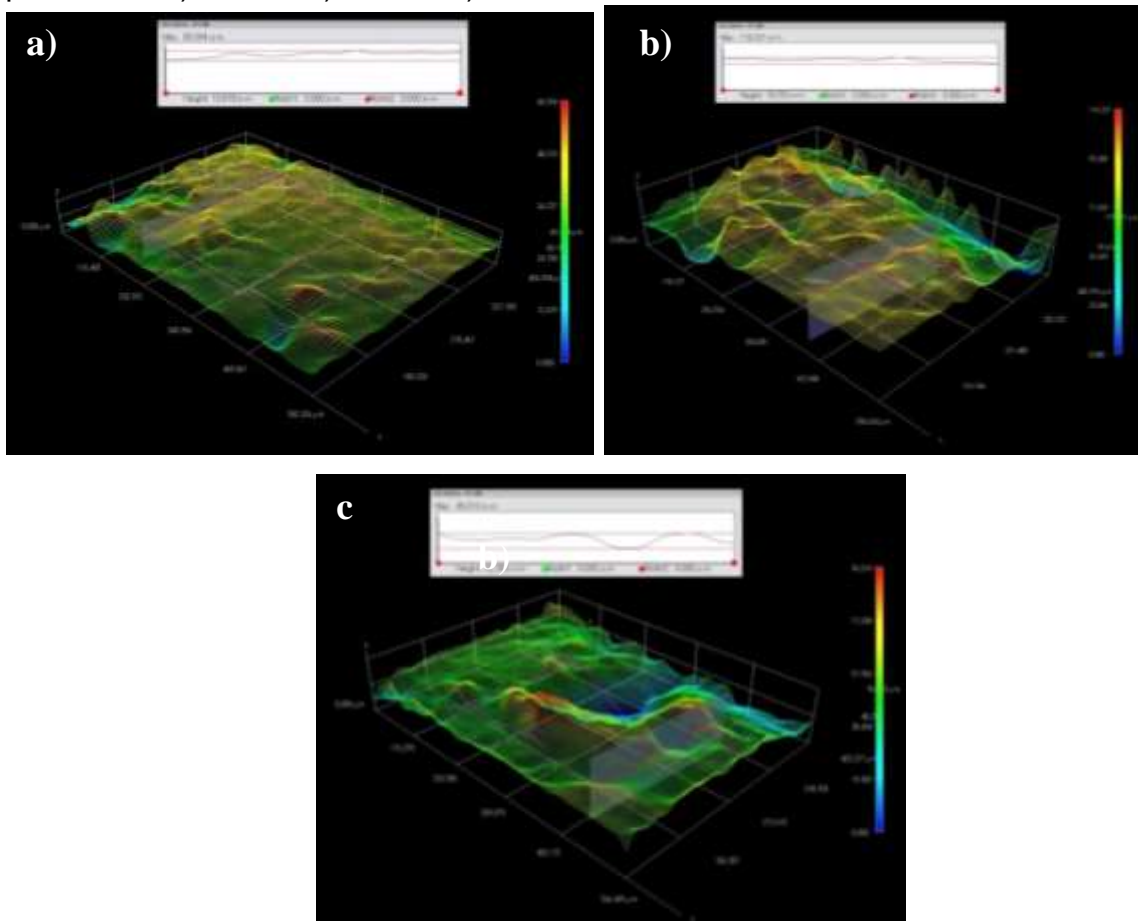
**Figura e.** Medición de la rugosidad de la superficie en 3D para malla de acero inoxidable AISIS SAE 304 proyectada con Oxido de Aluminio (F60) a diferentes presiones: a) 60 Psi, b) 80 Psi, c) 100 Psi.



**Tabla e.** Resultados de rugosidad para la malla de suministro proyectada con Oxido de Aluminio (F60) a diferentes presiones.

presión (Psi)	Rugosidad ( $\mu\text{m}$ )				promedio
	1	2	3	4	
60	11,9	25,792	14,607	32,09	21,09725
80	15,734	13,241	8,716	13,165	12,714
100	11,091	23,241	22,945	15,436	18,17825

**Figura f.** Medición de la rugosidad de la superficie en 3D para malla de acero inoxidable AISIS SAE 304 proyectada con Silicato de Aluminio (A3) a diferentes presiones: a) 60 Psi, b) 80 Psi, c) 100 Psi.



**Tabla f.** Resultados de rugosidad para la malla de suministro proyectada con Silicato de Aluminio (A3) a diferentes presiones.

presión (Psi)	Rugosidad ( $\mu\text{m}$ )				promedio
	1	2	3	4	
60	10,918	5,65	8,145	36,905	15,4045
80	21,034	18,765	37,744	18,25	23,94825
100	74,434	18,305	22,222	32,369	36,8325