

**VERIFICACIÓN DE RUGOSIDAD EN PROTOTIPO
DE PROCESO DE ACABADO SUPERFICIAL
WETBLASTING SOBRE ACERO INOXIDABLE AISI 304**



**VERIFICATION OF ROUGHNESS IN A PROTOTYPE OF
A WETBLASTING SURFACE FINISHING PROCESS ON
AISI 304 STAINLESS STEEL.**

M Sc. Luz Stella Sanchez Monsalve, SENA, Centro de
● Diseño e Innovación Tecnológica Industrial, Sena Regional
Risaralda, Colombia, stellita216@gmail.com

M Sc. José Alexander Osorio Santa, SENA, Centro de
● Diseño e Innovación Tecnológica Industrial, Sena Regional
Risaralda, Colombia, alexosoriosanta@gmail.com

Resumen

El acero inoxidable es un material ampliamente utilizado en diversas aplicaciones, algunos de estos usos tienen requerimientos específicos en cuanto a la rugosidad y el acabado superficial, para el caso específico de la industria de alimentos las organizaciones manufactureras de equipos para proceso de alimentos tienen deficiencias para obtener los valores de rugosidad recomendados que cumplan con las normativas existentes.

Con el objetivo de producir superficies con la rugosidad adecuada, uno de los métodos para realizar este proceso de acabado es el chorreado en húmedo o Wet blasting, con este proceso se pueden obtener superficies con una rugosidad tal que contribuyan a cumplir las condiciones de inocuidad necesarias y que prevengan la adhesión de bacterias.

La empresa Ingeniar Inox SAS mediante la formulación de proyecto SENNOVA Minciencias para la Innovación realizó prototipo funcional de cabina para proceso Wet blasting incluyendo esta metodología en el proceso productivo y

realizando pruebas de laboratorio con el apoyo de Tecnoparque SENA Pereira y GIMI Grupo de Investigación en Materiales de Ingeniería UTP aplicando los ensayos en muestras en un proceso con parámetros definidos y encontrando un resultado satisfactorio promedio de rugosidad $0.213 \mu\text{m}$ el cual se encuentra en el rango recomendado.

Palabras clave: acero inoxidable, abrasivo, acabado superficial, rugosidad, wet blasting.

Abstract

Stainless steel is a material widely used in various applications, and some of these applications have specific requirements in terms of roughness and surface finish. For the specific case of the food industry, food process equipment manufacturing organizations have deficiencies in obtaining recommended roughness values that comply with existing regulations.

To produce surfaces with the right roughness, one of the methods to perform this finishing process is wet blasting, with this process surfaces can be obtained with a roughness such that they contribute to meeting the necessary conditions of safety and that prevent the adhesion of bacteria.

The company Ingeniar Inox SAS through the formulation of project SENNOVA - Minciencias para la Innovación carried out a functional prototype of a cabin for the Wet blasting process including this methodology in the production process and carrying out laboratory tests with the support of Tecnoparque SENA Pereira and GIMI Grupo de Investigaciones en Materiales de Ingeniería UTP applying the tests on samples in a process with defined parameters and finding a satisfactory average roughness result of $0.213 \mu\text{m}$ which is in the recommended range.

Keywords: stainless steel, abrasive, surface finish, roughness, wet blasting.

Introducción

Aceros Inoxidables Austeníticos

Los aceros inoxidables austeníticos son esencialmente no magnéticos, en la condición solubilizada y pueden ser endurecidos solamente por deformación a frío. Normalmente, poseen buenas propiedades mecánicas en temperaturas criogénicas y buena resistencia a la oxidación a altas temperaturas.

En su composición química, generalmente, tienen contenidos altos de cromo (Cr), en un rango del 16% al 26%, níquel de hasta 35%, manganeso hasta de aproximadamente 15% y molibdeno de hasta 7% (Calderón Hernández, 2012).

El Cr es responsable de la característica inoxidable. En la superficie del material, el Cr reacciona con el oxígeno produciendo una película de óxido llamada película pasiva (McGuire, 2008). Esta película pasiva actúa como una capa protectora, reduciendo la transferencia de cationes del metal hacia el medio ambiente, evitando la pérdida de masa del material.

Limpieza y tratamientos superficiales

Las piezas de trabajo deben limpiarse una o más veces durante su secuencia de manufactura. Para realizar esta limpieza se usan procesos químicos y mecánicos.

La limpieza mecánica implica la remoción física de suciedad, incrustaciones o películas de la superficie de trabajo, mediante abrasivos o acciones mecánicas similares.

Con frecuencia, los procesos usados para limpieza

mecánica sirven para funciones adicionales a la limpieza, como la remoción de rebabas y el mejoramiento del acabado superficial (Mikell, 1997).

La principal diferencia entre el wet blasting y el sand blasting es el fluido con la que se acelera la partícula abrasiva, siendo agua y aire comprimido respectivamente.

La trayectoria de las partículas y su velocidad están definidas por las condiciones de flujo, las partículas abrasivas están sujetas a fuerzas mayores de arrastre y pueden comportarse diferente dependiendo del fluido que las transporta (Kanesan et al., 2019).

La principal razón por la que ha venido restringiendo la limpieza con sand blasting es debido a los problemas de salud que se pueden presentar con la inhalación de polvo de sílice, el cuidado de la calidad del aire para la visibilidad, las partículas gastadas, el escape de polvo perjudicial y la contaminación con polvo de maquinarias o equipos sensibles.

El principal problema que se genera con la utilización de este proceso es el debilitamiento de los pulmones por medio de una enfermedad conocida como silicosis (Cañas Encinas Manuel, García Martín Noelia & Inmaculada, 2017).

En los últimos años, el método de chorro de agua con un aditivo abrasivo ha tomado mucha importancia debido a los beneficios que ofrece.

Algunas ventajas del uso de este proceso de acabado superficial son (Bujis, 2016):

- Se obtienen superficies con alta resistencia a la corrosión.
- Puede reemplazar el proceso de decapado y pasivación.

- Defectos como pérdida del color, engrosamiento y oxidación causadas por procesos de soldadura pueden ser eliminados.
- Se pueden obtener superficies fáciles de limpiar que cumple con requerimientos de sanidad y asepsia como los solicitados por el grupo europeo de ingeniería y diseño higiénico por sus siglas en inglés (EHEDG).

El proceso de wet blasting se puede integrar en las líneas de producción de la empresa fácilmente. Menor impacto ambiental ya que no se están usando agentes químicos.

Nguyen et al., mediante una combinación de trabajo experimental y simulación por CFD reportaron que la tasa de erosión sobre el material aumentó conforme lo hizo el tamaño de la partícula abrasiva, dado que generalmente partículas más grandes tienen mayor energía cinética lo que resulta en una mayor pérdida de material al momento del impacto (Kanesan et al., 2019; V. B. Nguyen et al., 2016).

Los investigadores también han estudiado el efecto de la velocidad del fluido reportando que las tasas de erosión aumentan a medida que aumenta la velocidad del fluido.

Sin embargo, la velocidad de la partícula puede cambiar significativamente dependiendo del tipo de fluido (Humphrey, 1990; Kanesan et al., 2019; Patil et al., 2011).

En una de las primeras investigaciones realizadas sobre los efectos del ángulo de impacto en la erosión de partículas sólidas, Finnie (Finnie, 1960) derivó una ecuación teórica que relaciona y predice el volumen de remoción versus el ángulo de impacto para un solo grano abrasivo.

La ecuación propuesta mostró una buena concordancia con los hallazgos experimentales que se realizaron utilizando un equipo de prueba de erosión seca con diferentes materiales de partículas sólidas como cobre, acero SAE 1020 y aluminio impactando un material dúctil. La mayor pérdida de material se registró a un ángulo de impacto de 20 °.

Otros investigadores observaron tendencias similares utilizando un equipo de prueba de erosión seca y materiales dúctiles (Divakar et al., 2005; Neilson & Gilchrist, 1968; Sundararajan, 1991; Tilly, 1973).

Sin embargo, se obtienen resultados diferentes cuando el material es frágil como lo reportan (Shipway & Hutchings, 1996; Srinivasan & Scattergood, 1988), donde el mecanismo de erosión es el mecanismo de agrietamiento el cual es dominante en el ángulo de impacto normal (Desale et al., 2006; Kosa & Göksenli, 2015).

Efectos similares obtuvieron Al-Bukhaiti et al., Okita et al., Vieira et al., que estudiaron el efecto del ángulo de impacto en la erosión de materiales dúctiles mediante impacto de chorro húmedo (Al-Bukhaiti et al., 2016; Okita et al., 2012; Vieira et al., 2016).

Parámetros para los procesos de acabado a chorro en aceros inoxidables

Tamaño de la partícula.

El tamaño de la partícula abrasiva es un parámetro importante para analizar. Se ha encontrado que la tasa de desgaste erosivo incrementa con el tamaño de la partícula, esto se debe a que partículas más grandes poseen una elevada energía cinética comparadas con partículas más pequeñas viajando a la misma velocidad. Kanesan et al., reportaron que el desgaste aumenta

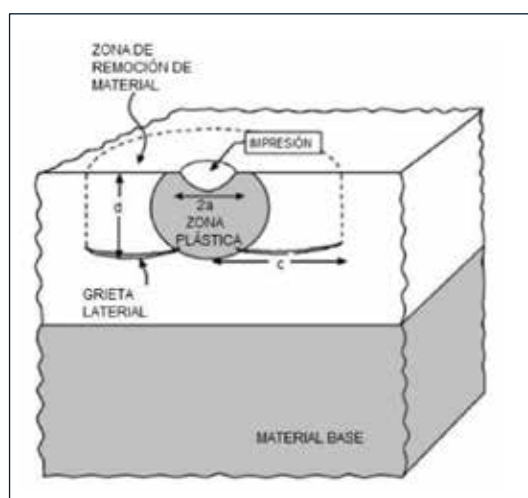
conforme lo hace el tamaño de la partícula en el acero inoxidable 316 utilizando sand blasting (Kanesan et al., 2019).

Las partículas grandes viajando con energías cinéticas elevadas transfieren mayor cantidad de energía en el impacto, resultando en un desgaste erosivo mayor (Bahadur & Badruddin, 1990; Bitter, 1963; Brown et al., 1983; Feng & Ball, 1999; Finnie, 1960; Kanesan et al., 2019). Es natural, que la energía cinética perdida se convierta en calor transferido al material o sea absorbido por la misma partícula.

El impacto de las partículas sobre la capa de óxido de cromo creará grietas alrededor de la impresión que deja la partícula, unas laterales y otras que se extienden radialmente hacia afuera. Las grietas laterales contribuirán a la remoción de la capa de óxido de cromo, se creará una zona plástica debajo de la impresión de la partícula que se extenderá hasta 2 veces el radio de la impresión como se muestra en la Figura 1 (Chen et al., 2005; Myrsell, 2014).

Figura 1.

Patrón de grietas formadas en la capa de óxido de cromo.



Nota: Modificado de <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:795762/FULLTEXT01.pdf>.

Partículas de material blando tienden a absorber mayor cantidad de energía que materiales más duros, además de deformarse más por lo que en vez de transferir energía al material la absorbe. Sin embargo, estas partículas deformadas también se endurecen después de la deformación por lo que partículas blandas utilizadas varias veces tendrán bajos efectos solo al principio (Chen et al., 2005; Wakuda et al., 2003).

Sin embargo, algunos investigadores también han reportado que la tasa de desgaste erosivo puede disminuir así se aumente el tamaño de la partícula por lo que debe existir un tamaño crítico de la partícula, para el cual la tasa de erosión es máxima y si se aumenta o disminuye el tamaño de la partícula la tasa también disminuirá (Liebhard & Levy, 1991; Tilly, 1973).

Velocidad del fluido.

Otro parámetro importante a tener en cuenta en los procesos de acabado a chorro es la velocidad del fluido que mueve la partícula.

Esta velocidad influye directamente en la tasa de desgaste erosivo. Kanesan et al., reportaron que la tasa de desgaste erosiva incrementaba a medida que lo hacía la velocidad del fluido en el acero inoxidable 316 (Kanesan et al., 2019), esto corresponde a la relación directamente proporcional entre el producto de la masa y la velocidad con la energía cinética, por lo que es de esperarse que al aumentar la masa (tamaño de la partícula) y la velocidad también aumente la tasa de desgaste erosivo.

Otros investigadores reportaron el mismo



comportamiento (Cameron & Jones, 2007; Kanesan et al., 2019; Q. B. Nguyen et al., 2014; Stevenson & Hutchings, 1995).

Al aumentar la velocidad se aumenta la energía cinética y se aumenta el esfuerzo máximo a tracción en la capa de óxido de cromo o un poco más abajo de ella, lo que promueve la remoción de la capa de óxido y además genera la posibilidad de un endurecimiento por deformación (Myrsell, 2014).

Ángulo de impacto.

En cuanto a la influencia del ángulo de impacto del abrasivo Kanesan et al., reportaron un aumento en el desgaste del acero inoxidable 316 en ángulos de impacto entre 20° y 45°. Siendo 45° el ángulo de impacto crítico, si se sigue aumentando el ángulo habrá una disminución de la erosión (Kanesan et al., 2019).

La razón se debe a que en ángulos de impacto inferiores a 45°, la componente normal de la fuerza de impacto es pequeña a comparación con la componente tangencial, que hace q las partículas abrasivas se deslicen y provoquen líneas de desgaste más profundas; sin embargo, cuando el ángulo es justo 45° la componente normal de la fuerza es mucho mayor que la tangencial lo cual provoca una transferencia de energía cinética mayor, generando deformación plástica.

Para ángulos de impacto entre 60° y 90°, la componente normal de la fuerza de impacto es mayor que su componente tangencial lo que genera líneas de desgaste menos profundas, se elimina menos material debido a q las partículas sólidas transfieren menos energía cinética.

Este comportamiento también fue obtenido por otros investigadores en materiales



dúctiles (Al-Bukhaiti et al., 2007; Divakar et al., 2005; Laguna-Camacho Juan R, Vite-Torres M, Gallardo-Hernandez E.A, 2013; Q. B. Nguyen et al., 2014). Adicionalmente, se han desarrollado modelos erosivos que han sido usados por algunos investigadores mostrando que el ángulo crítico debe estar entre 30° y 50° (Botros et al., 2018; Zhang et al., 2007).

Rugosidad.

La rugosidad de una superficie se mide con un instrumento llamado rugosímetro que consta de una aguja que se desplaza por la superficie, su movimiento es amplificado y se registra la señal.

El resultado se expresa como Ra o rugosidad media que es el promedio aritmético de la desviación de la taza por encima y por debajo de la línea central, este valor es medido comúnmente en micrómetros.

Las normas ISO utilizan el término promedio de la línea central (de las siglas en inglés CLA) (Edge, 2000).

Un estudio topográfico realizado por la organización de investigación independiente en los países Bajos (TNO) mostró que un acero inoxidable atacado con un proceso de acabado a chorro utilizando partículas de vidrio obtuvo una rugosidad de 1,3 μm , pero se sabe actualmente que, un proceso de wet blasting arroja rugosidades entre 0,25 μm y 0.6 μm (Bujis, 2016).

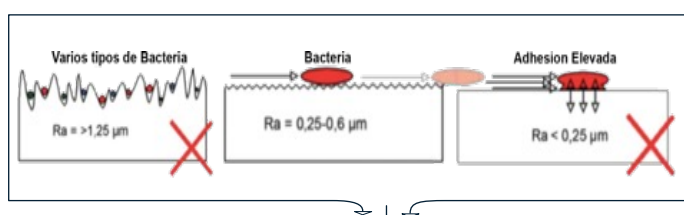
Una superficie muy pulida puede desarrollar corrosión inducida por microbios (MIC) debido al aumento de las fuerzas de adhesión entre la superficie y las bacterias que es indeseable, por lo que la rugosidad no debe

ser inferior a $0.2 \mu\text{m}$ Figura 2 (Bujis, 2016).
Figura 2.

Cuando la superficie es demasiado lisa las bacterias son difíciles de remover, debido a que se adhieren a la superficie.

Figura 2.

Tipos de Superficie y adhesión de las Bacterias



Nota: Modificado de <http://ssw.kcitest.nl/pdf/the-optimisation-of-stainless-steel-surfaces.pdf>.

Una superficie muy rugosa en el acero inoxidable 304, da lugar a corrosión por picaduras, rugosidades aceptables para este material deben ser inferiores a $0,5 \mu\text{m}$ para prolongar su vida útil (Burstein & Pistorius, 1995; Faller et al., 2005).

Como ya se comentó anteriormente, la energía cinética es directamente proporcional a la masa y la velocidad de la partícula lo que causa que aumente el efecto del impacto de la partícula.

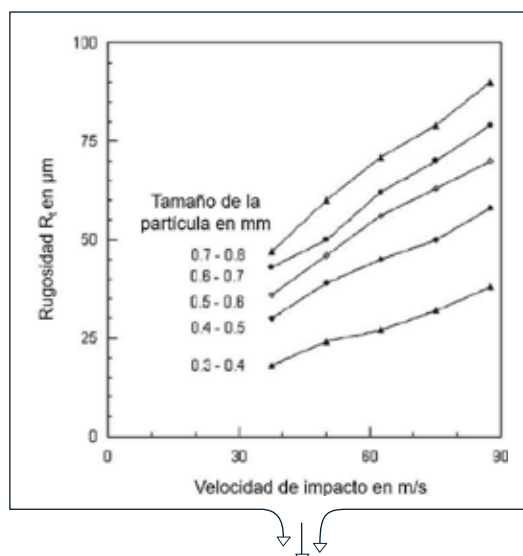
En la Figura 3 se muestran los efectos de la velocidad y el tamaño de la partícula versus la rugosidad, en donde se evidencia que incrementar la velocidad conllevará a un aumento de la rugosidad.

Además, aumentar el tamaño de la partícula también conllevará a un aumento de la rugosidad.

Figura 3. Efecto del tamaño de la partícula y velocidad en la rugosidad de un material. R_t se define como la distancia del pico más alto y el valle más bajo dentro de la longitud de perfil evaluado.

Figura 3

Velocidad y el tamaño de la partícula versus la rugosidad



Nota: Modificado de <http://ssw.kcitest.nl/pdf/the-optimisation-of-stainless-steel-surfaces.pdf>.

Acabado superficial

Con el proceso de wet blasting es posible obtener un buen acabado superficial que permite la formación de la capa de óxido de cromo con espesor deseado que están entre 10 y 15 nm, la cual se forma pasadas 4 horas del proceso, es importante que no se toque la superficie para evitar huellas dactilares en ella (Bujis, 2016).

El acero AISI 304 muestra un comportamiento indeseable frente a la corrosión cuando su superficie ha sido sometida a un proceso de granallado con partículas de vidrio, cuando su uso es en ambientes corrosivos como en piscinas, en cocinas. Si su disposición final no es en un medio

corrosivo y si se lava regularmente la superficie es aceptable el uso de partículas de vidrio (Faller et al., 2005).

El uso de wet blasting puede ofrecer la mejor solución en términos del acabado superficial evitando el uso de productos químicos.

En los procesos de soldadura de los aceros inoxidables se hace necesario la aplicación de un acabado superficial para eliminar las zonas y superficies oscuras causadas por la soldadura que a su vez son microporosas y pueden permitir la absorción de cloruros, además el material subyacente a la soldadura es cromo quemado lo que reduce la resistencia a la corrosión.

Una forma muy usada de obtener un mejor acabado superficial en los aceros inoxidables es eliminar la capa de óxido de cromo dañada, quemada o contaminada por medio del proceso conocido como decapado, esto da lugar a la generación de una nueva capa de óxido (pasivación).

Este proceso genera impactos ambientales indeseables además de incurrir en paros de proceso en las empresas para poder enviar las piezas a lugares especializados en el proceso de decapado y pasivación.

Una buena alternativa es el uso del granallado con partículas duras de vidrio, con limitaciones en el uso de industrias alimentarias por no cumplir condiciones de superficie, ya que las partículas de vidrio al romperse tras el impacto generan bordes puntiagudos que inciden en el detrimento superficial.

Otra opción es el uso de partículas cerámicas con las que se obtienen mejores acabados superficiales (Bujis, 2016).

Normatividad

La norma ASME BPE-2007 especifica los estándares para equipos de bioprocesamiento en donde se especifica que los aceros inoxidables de grado alimenticio deben contar con rugosidades entre $0,5 \mu\text{m}$ y $0,8 \mu\text{m}$ [43].

La 3-A Sanitary Standards Inc. (3-A SSI) ha establecido un inventario completo de normas sanitarias en donde se especifica que el acabado superficial de una superficie en contacto con alimentos debe (Faller et al., 2005): Todas las superficies en contacto con el producto deben tener un acabado al menos tan suave como un acabado pulido No. 4 en láminas de acero inoxidable y estar libres de imperfecciones como hoyos, pliegues y grietas en la forma final fabricada.

Acabado de superficie equivalente a grano 150 o mejor obtenido con carburo de silicio, aplicado correctamente sobre láminas de acero inoxidable.

Un Ra máximo de $0,80 \mu\text{m}$ cuando se mide de acuerdo con las recomendaciones de ASME B46.1.

Según el grupo europeo de ingeniería y diseño higiénico (EHEDG) respecto al acabado de superficies en contacto estipula lo siguiente (Faller et al., 2005):

Grandes áreas de la superficie de contacto con el producto deben tener un acabado superficial con $Ra = 0,8 \mu\text{m}$, o mejor, aunque la capacidad de limpieza depende en gran medida de la tecnología de acabado de la superficie aplicada, ya que esto puede afectar la topografía de la superficie.

Una rugosidad de $Ra > 0,8 \mu m$ es aceptable si los resultados de la prueba han demostrado que la capacidad de limpieza requerida se logra debido a otras características de diseño o procedimientos como una alta tasa de flujo del agente de limpieza.

Este análisis ayuda al fabricante del equipo a diseñar y realizar la ingeniería de componentes que satisfacen las necesidades higiénicas de la planta de alimentos.

Un activo para los fabricantes de equipos de acero inoxidable y componentes ha sido el desarrollo de técnicas de laboratorio para el estudio del acero inoxidable. (Mathiesen, 2009).

Se requiere verificar si bajo las condiciones y parámetros de trabajo seleccionados para la aplicación del proceso wet blasting con un prototipo funcional se obtiene una rugosidad superficial que cumpla los lineamientos esperados rugosidad superficial inferior $0,8$ micrómetros.

En este documento se tiene como objetivo presentar la técnica de acabado superficial Wet blasting y los resultados obtenidos verificando la aplicación de proceso Wet blasting sobre acero inoxidable 304.

Métodos o Diseño Metodológico

Los parámetros de proceso: Presión de operación, Caudal de suministro de aire, ángulo de ataque de la pistola de aplicación sobre la pieza, cantidad de abrasivo en la mezcla, cantidad de agua en la mezcla, tipo y tamaño de abrasivo; fueron seleccionados de acuerdo con la Investigación realizada y guías de operación de equipos existentes.

De manera controlada se realizaron los ensayos correspondientes a las cinco muestras verificando la uniformidad en los parámetros.

1. Diseño: Una prueba piloto realizada sobre probetas de tamaño estandarizado $50 \times 50mm$.
2. Población: Cinco muestras de acero inoxidable 304 calibre 20 ($0,9mm$) atacado con proceso Wet blasting sobre superficie original en acabado 2B.
3. Entorno: El estudio se realizó en la cabina de Wet blasting en las instalaciones de la empresa Ingeniar Inox SAS Pereira y los análisis de laboratorio Línea de Biotecnología y nano tecnología Tecnoparque nodo Pereira.
4. Procedimiento: Caracterización con Microscopio de Fuerza Atómica AFM Nanosurf Flex AFM V5, C3000, Control software Versión 3.8.

Análisis estadístico

El método estadístico utilizado en este proceso es calcular el promedio de los cinco datos registrados en el equipo de medición de rugosidad. En la Tabla 1, aparece el resultado correspondiente.

Análisis de resultados.

Se halló una rugosidad superficial promedio de $0.213 \mu m$ en las cinco muestras analizadas, dicho resultado cumple con lo requerido $Ra < 0,8 \mu m$ en las guías de EHEDG para equipos de acero inoxidable empleados en la industria alimentaria.

Caracterización por AFM proceso de pulido abrasivo mecánico en piezas de acero inoxidable 304

Se reciben 5 piezas de acero inoxidable espesor 0.9 mm acabado satinado en lado plastificado y acabado wet blasting con abrasivo cerámico 1200 tamaño de 50x50mm
Técnica de caracterización

El Microscopio de Fuerza Atómica se utiliza ampliamente para la obtención de imágenes superficiales de alta resolución; así como para obtener información de las propiedades mecánicas de un material.

Esta herramienta cuenta con diversos modos de operación, algunos de ellos son: estáticos, dinámicos, tapping y contacto, entre otros. De igual forma, posee diversas geometrías de la punta del cantilever.

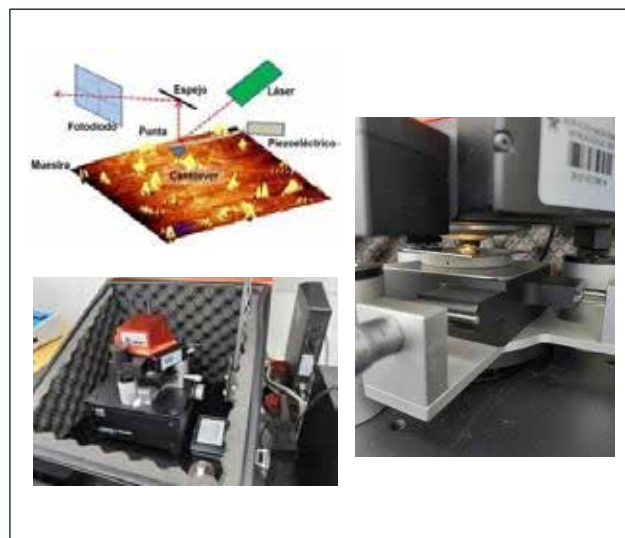
Consiste en una interacción entre un fotodetector, cantiléver con una punta, posicionadores de materiales piezoeléctricos, láser y la muestra.

Su funcionamiento corresponde a una pequeña punta sujeta a una viga en voladizo (cantilever); esta realiza un barrido sobre la superficie de la muestra, tomando los datos para determinar las características topográficas y de fases. Con esa configuración, el voladizo detecta las fuerzas de interacción que se generan entre la punta y la superficie de la muestra; fuerzas de van der Waals, electrostáticas y repulsiones electrónicas que surgen en distancias nanométricas.

El AFM usa un sistema de deflexión láser que es reflejado por la parte posterior de la viga en voladizo a un detector de posicionamiento que está compuesto por un fotodiodo de cuatro cuadrantes.

Figura 4

AFM Nanosurf Flex AFM V5, C3000, Control software Versión 3.8



Nota: Autoría propia

Figura 5

Especificaciones cantilever y punta APPNANO
SPM Probe Model: ACSTA Material: Si N-type
Cantilever :150μm W:28μm :3.0μm
Tip-radius<10nm f:150kHz k:7.8N/m Coating:
I(Reflex Side)

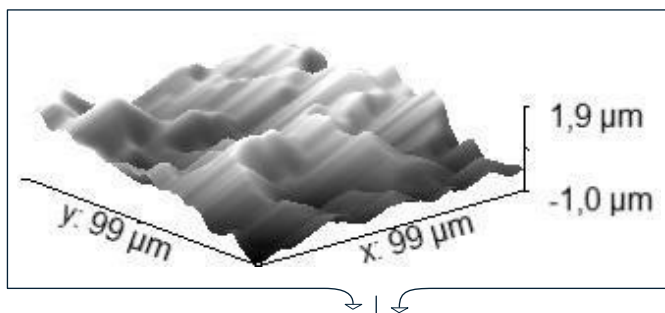


Nota: Autoría propia

Condiciones de barrido: Modo de operación no contacto, frecuencia de vibración 155.768Hz, Set point 50%, 256 points/line, área de barrido 98.9x98.9 μm

Figura 6

Topografía de la muestra



Nota: Creación propia

Tabla 1

Resultados de Medición de rugosidad Sa promedio de las 5 muestras. Promedio de rugosidad para las 5 muestras 0.213 μm

Muestra	M1	M2	M3	M4	M5
ugosidadSa	0.218	0.233	0.232	0.246	0.132
[μm]					
Promedio de rugosidad para las 5 muestras 0.213 μm					

Nota: Creación Propia

Discusión y conclusiones

El proceso de acabado Wet blasting sobre acero inoxidable 304 con los parámetros seleccionados cumple con los estándares de rugosidad superficial de la industria 0.213 μm teniendo como valor de referencia que sea inferior a 0,8 μm ; El desarrollo del prototipo para proceso wet blasting permite aumentar las capacidades de la

empresa Ingeniar Inoxidables, se logra verificar como el uso de este método de acabado superficial cumple los parámetros requeridos para las piezas intervenidas demostrando los antecedentes que llevaron a la formulación de este proyecto.

Con la selección de abrasivo cerámico 1200 para la aplicación como abrasivo en proceso Wet blasting sobre acero inoxidable 304 se obtiene una superficie con acabado satinado que brinda una excelente presentación estética. El proceso de acabado superficial Wet blasting presenta una alta repetibilidad en los resultados de rugosidad superficial obtenidos.

Se evidencia una solución de acabado superficial Wet blasting que no presenta riesgos respiratorios para el operador del proceso y no tiene impactos ambientales negativos ya que el agua de proceso se recircula y los abrasivos no presentan afectación al medio ambiente.

Referencias Bibliográficas

- Al-Bukhaiti, M. A., Abouel-Kasem, A., Emar, K. M., & Ahmed, S. M. (2016). Particle Shape and Size Effects on Slurry Erosion of AISI 5117 Steels. *Journal of Tribology*, 138(2). <https://doi.org/10.1115/1.4031987/377964>
- Al-Bukhaiti, M. A., Ahmed, S. M., Badran, F. M. F., & Emar, K. M. (2007). Effect of impingement angle on slurry erosion behaviour and mechanisms of 1017 steel and high-chromium white cast iron. *Wear*, 262(9-10), 1187-1198. <https://doi.org/10.1016/J.WEAR.2006.11.018>
- Bahadur, S., & Badruddin, R. (1990). Erodent particle characterization and the effect of particle size and shape on erosion. *Wear*, 138(1-2), 189-208. [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(90\)90176-B](https://doi.org/10.1016/0043-1648(90)90176-B)
- Bitter, J. G. A. (1963). A study of erosion phenomena part I. *Wear*, 6(1), 5-21.

[https://doi.org/10.1016/0043-1648\(63\)90003-6](https://doi.org/10.1016/0043-1648(63)90003-6)

Que_concepciones_tienen_sobre_el_
pensamiento_los_docentes_en_formacion

Botros, K. K., Jensen, L., & Foo, S. (2018).

Determination of erosion-based maximum velocity limits in natural gas facilities. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 55, 395-405. <https://doi.org/10.1016/J.JNGSE.2018.05.013>

Chen, X., Hutchinson, J. W., & Evans, A.G. (2005). The Mechanics of Indentation Induced Lateral Cracking. *Journal of the American Ceramic Society*, 88(5), 1233-1238. <https://doi.org/10.1111/J.1551-2916.2005.00281.X>

Brown, R., Kosco, S., & Jun, E.J. (1983). The effect of particle shape and size on erosion of aluminum alloy 1100 at 90° impact angles. *Wear*, 88(2), 181-193. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(83\)80007-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(83)80007-6)

Desale, G. R., Gandhi, B. K., & Jain, S. C. (2006).. (2005). Effect of erodent properties on erosion wear of ductile type materials. *Wear*, 261(7-8), 914-921. <https://doi.org/10.1016/J.WEAR.2006.01.035>.

Bujis, K. (2016). The optimisation of stainless steel surfaces. *Stainless Steel World*, July/Augus(October), 47-52. <http://ssw.kcitest.nl/pdf/the-optimisation-of-stainless-steel-surfaces.pdf>

Divakar, M., Agarwal, V. K., & Singh, S.N. (2005). Effect of the material surface hardness on the erosion of AISI316. *Wear*, 259(1-6), 110-117. <https://doi.org/10.1016/J.WEAR.2005.02.004>

Burstein, G. T., & Pistorius, P. C. (1995). Surface Roughness and the Metastable Pitting of Stainless Steel in Chloride Solutions. *Corrosion*, 51(5), 380-385. <https://doi.org/10.5006/1.3293603>

Edge, E. (2000). Surface Roughness(Finish) Review and Equations. https://www.engineersedge.com/surface_finish.htm

Calderón Hernández, J. W. (2012). Efeito da temperatura de solubilização e da concentração de íons cloreto e sulfato sobre a resistência à corrosão por Pite dos aços inoxidáveis austeníticos 17Cr-6Mn-5Ni e UNS S30403. <https://doi.org/10.11606/D.3.2012.TDE-O2042012-150602>

Faller, M., Buzzi, S., & Trzebiatowski, O. V. (2005). Corrosion behaviour of glass-bead blasted stainless steel sheets and other sheets with dull surface finish in a chloride solution. *Materials and Corrosion*, 56(6), 373-378. <https://doi.org/10.1002/MACO.200403846>

Cameron, J. A., & Jones, C. (2007). Development, Verification and Application of a Screen Erosion Model (May 30-June 1, 2007; 1). OnePetro. <https://doi.org/10.2118/107437-MS>

Feng, Z., & Ball, A. (1999). The erosion of four materials using seven erodents – towards an understanding. *Wear*, 233-235, 674-684. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(99\)00176-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(99)00176-3)

Cañas Encinas Manuel , García Martín Noelia, P. G. R. e C. G., & Inmaculada. (2017). ¿Qué Concepciones Tienen Sobre El Pensamiento Los Docentes En Formación? In A. E. De P. C. (Aepc) (Ed.), *Avances En Ciencias De La Educación Y Del Desarrollo*, 2017 (5th ed., Issue August, p. 687). Universidad de Granada. https://www.researchgate.net/publication/319352152_

Finnie, I. (1960). Erosion of surfaces by solid particles. *Wear*, 3(2), 87-103. [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(60\)90055-7](https://doi.org/10.1016/0043-1648(60)90055-7)

Humphrey, J. A. C. (1990). Fundamentals of fluid motion in erosion by solid particle impact. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 11(3), 170-195. <https://doi.org/10.1016/0142->

727X(90)90036-B

Kanesan, D., Mohyaldinn, M. E., Ismail, N. I., Chandran, D., & Liang, C. J. (2019). An experimental study on the erosion of stainless steel wire mesh sand screen using sand blasting technique. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 65, 267-274. <https://doi.org/10.1016/J.JNGSE.2019.03.017>

Kosa, E., & Göksenli, A. (2015). Effect of Impact Angle on Erosive Abrasive Wear of Ductile and Brittle Materials. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 9(9), 1566-1570. <https://publications.waset.org/10002428/effect-of-impact-angle-on-erosive-abrasive-wear-of-ductile-and-brittle-materials>

Laguna-Camacho Juan R, Vite-Torres M, Gallardo-Hernandez E.A, V.-C. E. E. (2013). Solid particle erosion o diferente metallic materials- Google Libros. In H. Pihtili (Ed.), *Tribology in Engineering* (1st ed., pp. 63-80). IntechOpen. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/51176>

Liebhard, M., & Levy, A. (1991). The effect of erodent particle characteristics on the erosion of metals. *Wear*, 151(2), 381-390. [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(91\)90263-T](https://doi.org/10.1016/0043-1648(91)90263-T)

Mathiesen, J. E. F. T. (2009). Specifying Stainless Steel Surfaces For The Brewery, Dairy And Pharmaceutical Sectors | NACE CORROSION | OnePetro. *Corrosion*, 26. <https://onepetro.org/NACECORR/proceedings-abstract/CORRO9/All-CORRO9/NACE-09373/128782>

McGuire, M. F. (2008). *Stainless Steels for Design Engineers* -- Google Libros (A. International

(ed.); 1 edicion). ASM International. https://books.google.com.co/s?hl=es&lr=&id=QzJDRxLLxNlC&oi=fnd&pg=PP6&dq=McGuire,+Michael+F.+Ferritic+Stainless+Steels.+Stainless+Steels+for+Design+Engineers.+2019%3B109-22.&ots=fs6L-lqRML&sig=cPWs6KEbZetRO7bg-z_OOX9iDzY&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Mikell, P. G. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas* - Mikell P. Groover - Google Libros (I. A. S. & S. C. Prentice-Hall (ed.); 1 edición). PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA S.A. <https://books.google.com.co/s?id=tcV0l37tUrOC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Myrsell, J. (2014). Effect of shot blasting on process oxidised stainless steel - morphology , chemistry and pickling performance. Rapport: KIMAB-2014-109. Swerea KIMAB [KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT]. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:795762/FULLTEXT01.pdf>

Neilson, J. H., & Gilchrist, A. (1968). Erosion by a stream of solid particles. *Wear*, 11(2), 111-122. [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(68\)90591-7](https://doi.org/10.1016/0043-1648(68)90591-7)

Nguyen, Q. B., Nguyen, V. B., Lim, C. Y. H., Trinh, Q. T., Sankaranarayanan, S., Zhang, Y. W., & Gupta, M. (2014). Effect of impact angle and testing time on erosion of stainless steel at higher velocities. *Wear*, 321, 87-93. <https://doi.org/10.1016/J.WEAR.2014.10.010>

Nguyen, V. B., Nguyen, Q. B., Zhang, Y. W., Lim, C. Y. H., & Khoo, B. C. (2016). Effect of particle size on erosion characteristics. *Wear*, 348-349, 126-137. <https://doi.org/10.1016/J.WEAR.2015.12.003>

Okita, R., Zhang, Y., McLaury, B. S., Shirazi, S. A., & Rybicki, E. F. (2012). Effects of Viscosity, Particle Size, and Particle Shape on Erosion in Gas and

- Liquid Flows. In ASME-JSME-KSME 2011 Joint Fluids Engineering Conference, AJK 2011 (Vol. 1, Issue PARTS A, B, C, D). American Society of Mechanical Engineers Digital Collection. <https://doi.org/10.1115/AJK2011-09023>
- Patil, M. S., Deore, E. R., Jahagirdar, R. S., & Patil, S. V. (2011). Study of the parameters affecting erosion wear of ductile material in solid-liquid mixture. Proceedings of the World Congress on Engineering 2011, WCE 2011, 3, 2159-2163. http://www.iaeng.org/publication/WCE2011/WCE2011_p2159-2163.pdf
- Shipway, P. H., & Hutchings, I. M. (1996). The rôle of particle properties in the erosion of brittle materials. *Wear*, 193(1), 105-113. [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(95\)06694-2](https://doi.org/10.1016/0043-1648(95)06694-2)
- Srinivasan, S., & Scattergood, R. O. (1988). Effect of erodent hardness on erosion of brittle materials. *Wear*, 128(2), 139-152. [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(88\)90180-9](https://doi.org/10.1016/0043-1648(88)90180-9)
- Stevenson, A. N. J., & Hutchings, I. M. (1995). Scaling laws for particle velocity in the gas-blast erosion test. *Wear*, 181-183(PART 1), 56-62. [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(95\)90008-X](https://doi.org/10.1016/0043-1648(95)90008-X)
- Sundararajan, G. (1991). A comprehensive model for the solid particle erosion of ductile materials. *Wear*, 149(1-2), 111-127. [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(91\)90368-5](https://doi.org/10.1016/0043-1648(91)90368-5)
- Tilly, G. P. (1973). A two stage mechanism of ductile erosion. *Wear*, 23(1), 87-96. [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(73\)90044-6](https://doi.org/10.1016/0043-1648(73)90044-6)
- Vieira, R. E., Mansouri, A., McLaury, B. S., & Shirazi, S. A. (2016). Experimental and computational study of erosion in elbows due to sand particles in air flow. *Powder Technology*, 288, 339-353. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.11.028>
- Wakuda, M., Yamauchi, Y., & Kanzaki, S. (2003). Material response to particle impact during abrasive jet machining of alumina ceramics. *Journal of Materials Processing Technology*, 132(1-3), 177-183. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00848-8](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00848-8)
- Zhang, Y., Reuterfors, E. P., McLaury, B. S., Shirazi, S. A., & Rybicki, E. F. (2007). Comparison of computed and measured particle velocities and erosion in water and air flows. *Wear*, 263(1-6), 330-338. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2006.12.048>