

El secreto está en la superficie: cómo se mejora el acero para aplicaciones médicas

The secret Lies on the Surface: How Steel is Improved for Medical Applications

Joselin Itzai Martínez-Sandoval¹, Alfredo Marquez-Herrera², Salvador Montesinos-Gonzalez³

¹ División de Estudios de Posgrado, Universidad Tecnológica de la Mixteca. Huajuapán de León, Oaxaca, México. CP. 69004. martinezsandovaljoselinitzai@gmail.com

² Departamento de Agricultura e Ingeniería Mecánica, Universidad de Guanajuato, Irapuato, Guanajuato, México. CP. 36500.

³ Instituto de Ingeniería Industrial y Automotriz, Universidad Tecnológica de la Mixteca. Huajuapán de León, Oaxaca, México. CP. 69004.

Resumen

El acero inoxidable AISI 316L es ampliamente utilizado en implantes biomédicos debido a su resistencia mecánica, comportamiento frente a la corrosión y costo relativamente accesible. Sin embargo, el contacto prolongado con fluidos fisiológicos puede favorecer los procesos de desgaste y deterioro superficial que comprometen su desempeño. En este trabajo se evaluó el efecto del bruñido deslizante sobre la integridad superficial del acero AISI 316L, considerando propiedades como la microdureza, rugosidad superficial y resistencia a la corrosión. Para ello, se aplicaron distintas condiciones de velocidad de husillo y fuerza mediante un bruñidor de punta de diamante montado en un centro de mecanizado CNC. Posteriormente, las muestras fueron evaluadas mediante pruebas de microdureza Vickers, mediciones de rugosidad superficial y técnicas electroquímicas de espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS) y polarización de Tafel, utilizando solución de Ringer para simular parcialmente el ambiente fisiológico del cuerpo humano. Los resultados mostraron incrementos significativos en la microdureza, reducciones de rugosidad en ciertas condiciones experimentales y una mejora en el comportamiento frente a la corrosión de algunas muestras tratadas. Estos hallazgos sugieren que pequeñas modificaciones superficiales pueden contribuir al desarrollo de materiales biomédicos más resistentes, duraderos y confiables.

Palabras clave: bruñido, corrosión, biomateriales, AISI 316L.

Introducción

Las fracturas óseas representan un problema de salud pública a nivel mundial, especialmente en personas adultas mayores, donde enfermedades como la osteoporosis aumentan el riesgo de lesiones debido a una reducción de la densidad del hueso. En México, la osteoporosis afecta aproximadamente a 10 millones de personas, siendo las fracturas de cadera una de las más frecuentes, especialmente en adultos mayores de 65 años (López Rubio *et al.*, 2022). Estas lesiones no solo impactan en la movilidad, sino también el grado de independencia y la calidad de vida de los pacientes.

Para ayudar en la recuperación de huesos fracturados, la medicina moderna recurre al uso de implantes ortopédicos para restaurar la forma y función del tejido óseo (Geetha *et al.*, 2009). Sin embargo, estos dispositivos deben cumplir con una característica fundamental: convivir de manera segura con el cuerpo humano. Esto implica que los materiales empleados deben ser resistentes, biocompatibles y capaces de soportar el contacto continuo con fluidos corporales sin deteriorarse ni provocar efectos adversos (Long y Rack, 1998).

Entre los materiales más utilizados en aplicaciones biomédicas se encuentra el acero inoxidable AISI 316L. Este acero es ampliamente utilizado debido a su resistencia mecánica, comportamiento frente al desgaste, aceptable respuesta biológica y, sobre todo, su menor costo (Tiwari y Mishra, 2018). En México, esta situación cobra especial relevancia debido a las limitaciones económicas del sistema de salud, donde frecuentemente se priorizan materiales accesibles y funcionales para la fabricación de implantes.

No obstante, incluso materiales ampliamente empleados pueden presentar limitaciones. Con el tiempo, el contacto continuo con el ambiente fisiológico puede favorecer procesos de corrosión y desgaste, lo que podría comprometer el desempeño del implante y, en algunos casos, liberar elementos metálicos al organismo

(Sánchez Olivas *et al.*, 2010). Por esta razón, investigadores alrededor del mundo han explorado distintas formas de mejorar las propiedades superficiales de estos materiales.

Una estrategia prometedora consiste en modificar únicamente la superficie del acero. Un ejemplo de ello es cuando se alisan pequeñas imperfecciones en un material para hacerlo más uniforme y resistente. En este contexto, el bruñido deslizante surge como un tratamiento mecánico capaz de mejorar características como la rugosidad, la dureza y potencialmente la resistencia a la corrosión del acero AISI 316L. Comprender cómo estos cambios influyen en el desempeño del material podría abrir la puerta al desarrollo de una alternativa para la obtención de implantes más duraderos, accesibles y confiables para aplicaciones biomédicas.

La ciencia detrás del material

Biomateriales y el acero detrás de los implantes médicos

Los biomateriales son materiales diseñados para interactuar de forma segura con el cuerpo humano con el propósito de restaurar funciones, reparar tejidos o mejorar la calidad de vida de los pacientes. Los biomateriales enfocados en el área de traumatología y ortopedia se utilizan en aplicaciones tan diversas como prótesis de cadera, placas óseas, tornillos quirúrgicos, entre otras. Para desempeñar adecuadamente su función, estos materiales deben cumplir requisitos fundamentales, entre ellos resistencia mecánica, biocompatibilidad y estabilidad química dentro del entorno fisiológico.

Dentro de los biomateriales metálicos, el acero inoxidable AISI 316L es uno de los materiales ampliamente utilizado en aplicaciones médicas debido a su combinación de propiedades mecánicas, resistencia a la corrosión y costo relativamente accesible. Su desempeño está relacionado con la presencia de elementos como el cromo (Cr), que favorece la formación de una capa pasiva protectora sobre la superficie del material, ayudando a disminuir procesos de corrosión. Asimismo, el molibdeno (Mo) contribuye a mejorar la resistencia frente a corrosión localizada, particularmente en ambientes ricos en cloruros, como ocurre en los fluidos corporales. Sin embargo, aunque el AISI 316L presenta buena resistencia frente a la corrosión, el cuerpo humano representa un entorno altamente complejo para cualquier implante metálico. Los materiales biomédicos permanecen en contacto constante con fluidos fisiológicos ricos en sales, proteínas y compuestos químicos, además de estar sometidos a cargas mecánicas y movimientos repetitivos. Estas condiciones pueden afectar su superficie y favorecer los procesos de degradación a lo largo del tiempo.

Más allá de la composición química del material, existe otro aspecto fundamental en el desempeño de un implante: la integridad superficial. Este concepto hace referencia al estado físico, mecánico y químico de la capa más externa de un material después de un proceso de fabricación o tratamiento. En términos sencillos, podría compararse con la “salud” de la superficie del metal, ya que pequeñas irregularidades microscópicas pueden influir significativamente en su comportamiento a largo plazo. Dentro de la integridad superficial, propiedades como la rugosidad, la microdureza y la resistencia a la corrosión desempeñan un papel clave.

- **Microdureza:** se relaciona con la capacidad de un material para resistir deformaciones, rayaduras o desgaste cuando se somete a fuerzas externas. En aplicaciones biomédicas, esta propiedad resulta especialmente importante debido a que los implantes están expuestos continuamente a esfuerzos mecánicos generados por actividades cotidianas como caminar, correr o realizar movimientos repetitivos.

Una mayor microdureza superficial puede contribuir a disminuir el deterioro progresivo del material y mejorar su resistencia frente a esfuerzos constantes. Esto es particularmente relevante en implantes ortopédicos, donde el desgaste continuo podría comprometer el funcionamiento del dispositivo a largo plazo.

- **Rugosidad:** se mide a escala microscópica para encontrar pequeñas irregularidades, picos y valles. A esta característica se le conoce como rugosidad superficial, y desempeña un papel importante en el comportamiento de los materiales utilizados en aplicaciones biomédicas.

En los implantes médicos, una superficie demasiado rugosa puede favorecer la acumulación de sustancias biológicas, aumentar el desgaste mecánico y generar zonas más susceptibles al inicio de procesos corrosivos. Por el contrario, una superficie más uniforme puede contribuir a disminuir irregularidades donde se concentren esfuerzos o agentes agresivos del medio fisiológico, favoreciendo un mejor desempeño del material a largo plazo.



- **Corrosión:** es el deterioro gradual de un metal debido a reacciones electroquímicas con el medio que lo rodea.

En el caso del acero AISI 316L, factores como los iones cloruro presentes en los fluidos corporales, variaciones de pH, procesos inflamatorios e incluso esfuerzos mecánicos pueden alterar la capa protectora del material. En algunos casos, este deterioro puede provocar desgaste superficial o la liberación de pequeñas cantidades de elementos metálicos al organismo, situación que ha motivado el desarrollo de materiales y tratamientos más resistentes.

¿Se puede mejorar un material sin reemplazarlo?

Ante estos desafíos, investigadores han buscado distintas estrategias para optimizar el desempeño del acero AISI 316L sin necesidad de sustituir completamente el material. Una alternativa consiste en modificar únicamente la superficie del metal mediante tratamientos especializados. A diferencia de los procesos convencionales de mecanizado, en los que llega a removerse material, algunas técnicas permiten “alisar” microscópicamente la superficie para hacerla más uniforme y resistente.

En este contexto surge el bruñido deslizante, un tratamiento mecánico superficial en el cual una herramienta ejerce presión controlada sobre el biomaterial, reorganizando microscópicamente su superficie. Este proceso permite mejorar las propiedades de rugosidad y microdureza, para potencialmente modificar el comportamiento frente a la corrosión.

¿Cómo se estudió el material?

Con el propósito de analizar cómo diferentes condiciones de bruñido deslizante influyen en el desempeño superficial del acero inoxidable AISI 316L, se diseñó una metodología experimental dividida en cuatro etapas: diseño experimental; proceso de manufactura; pruebas experimentales donde se realizaron las pruebas de microdureza, rugosidad y corrosión; y análisis de resultados. El enfoque general consistió en modificar la superficie del material y posteriormente evaluar si estos cambios influían en propiedades relacionadas con su posible uso en aplicaciones biomédicas.

Diseño experimental

Antes de realizar las pruebas, fue necesario establecer las condiciones bajo las cuales se aplicaría el bruñido deslizante. Para ello, se empleó un diseño de experimentos (DoE), una estrategia estadística para estudiar cómo diferentes variables influyen en el comportamiento de un material o proceso. En esta investigación, se seleccionaron dos factores principales del bruñido: la velocidad de husillo y la fuerza aplicada, como se observa en la Figura 1. La selección de estos parámetros se basó en estudios previos. Saldaña-Robles *et. al* (2018) analizaron mediante un diseño factorial el efecto de la velocidad de husillo y la fuerza de bruñido y la velocidad de avance, sobre características superficiales como la rugosidad y la dureza del acero 1045. Por su parte Márquez-Herrera *et. al* (2023) estudiaron diferentes fuerzas de bruñido en aceros de alta resistencia y observaron que la selección de este parámetro puede modificar significativamente la rugosidad superficial y, dependiendo del material, mejorar su acabado. Estos antecedentes muestran la importancia de establecer adecuadamente los parámetros del proceso para evaluar su efecto sobre la superficie del material.



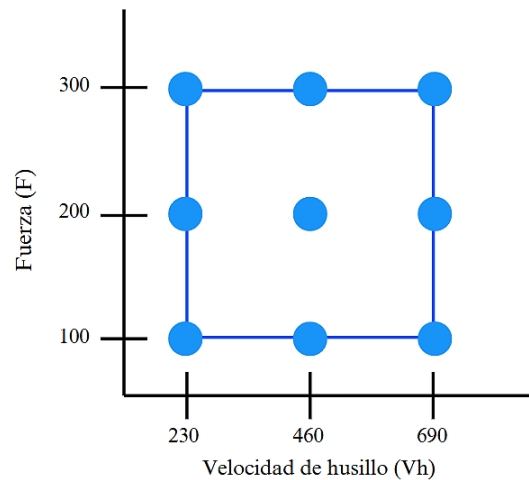


Figura 1. Diseño de experimentos propuesto.

Para evaluar el efecto de las condiciones de bruñido, se utilizaron 29 probetas de acero inoxidable AISI 316L, distribuidas en nueve condiciones experimentales obtenidas mediante la combinación de la velocidad de husillo y la fuerza de bruñido. La velocidad de desplazamiento se mantuvo constante en 100 mm/min durante todas las pruebas. De las nueve condiciones, ocho correspondieron a los puntos factoriales y axiales, los cuales se repitieron tres veces, mientras que la condición central se evaluó mediante 5 repeticiones. De esta manera se obtuvieron 24 probetas correspondientes a los puntos factoriales y axiales y cinco probetas correspondientes al punto central, para un total de 29 probetas que fueron aleatorizadas para su tratamiento. Esta distribución permitió comparar los efectos de las diferentes condiciones de bruñido sobre la microdureza, la rugosidad y el comportamiento frente a la corrosión.

Proceso de manufactura

Las pruebas se realizaron sobre muestras de acero inoxidable AISI 316L de 15 × 15 × 1 mm de ancho (Figura 2). Las 29 probetas fueron preparadas y acondicionadas antes del tratamiento para asegurar condiciones homogéneas de trabajo.

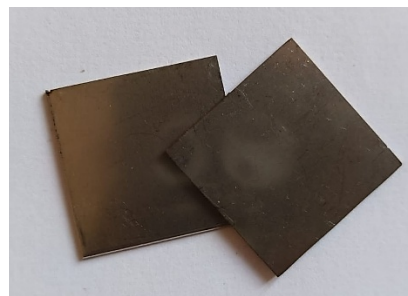


Figura 2. Muestras de acero AISI 316L.

Posterior a la preparación de las muestras, el proceso de bruñido se llevó a cabo utilizando un bruñidor de punta de diamante (Figura 3a), montado en un centro de maquinado vertical CNC Micromill Challenger MM-430 (Figura 3b). Durante el tratamiento, la herramienta recorrió la superficie siguiendo una trayectoria paralela controlada, aplicando presión sobre el material para modificar únicamente la capa más externa del acero. A diferencia de procesos de mecanizado convencionales, el bruñido no elimina material, sino que reorganiza microscópicamente la superficie mediante deformación controlada, favoreciendo un acabado más uniforme.

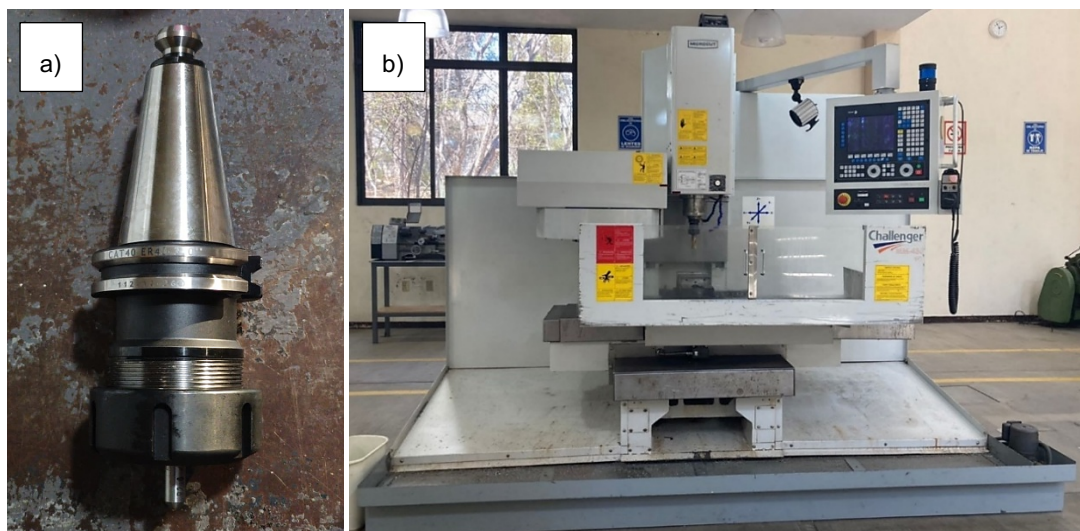


Figura 3. Equipo utilizado para la aplicación del proceso: a) herramienta de bruñido y b) centro de mecanizado vertical CNC.

Evaluación de la microdureza

Las pruebas de microdureza fueron realizadas mediante un microdurómetro MATSUZAWA MMT-X (Figura 4), equipo que aplica una pequeña carga sobre la superficie del material para generar una huella microscópica como se muestra en la Figura 5. A partir del tamaño de esta marca es posible estimar la microdureza superficial y analizar si el tratamiento aplicado produjo cambios en la resistencia del acero.



Figura 4. Microdurómetro MATSUZAWA MMT-X.



Figura 5. Marca de indentación del microdurómetro.

La microdureza fue evaluada mediante la escala Vickers (HV), utilizada para caracterizar materiales metálicos. En este estudio se empleó una carga de 0.3 kgf (300 gramos-fuerza), por lo cual los resultados se expresan como $HV_{0.3}$, donde “HV” corresponde a la microdureza Vickers y “0.3” indica la magnitud de la carga aplicada durante la prueba. En términos prácticos, valores más altos indican una mayor resistencia de la superficie frente a deformaciones o desgaste.

Evaluación de la rugosidad superficial

Una vez aplicado el tratamiento, se analizó la rugosidad superficial; las mediciones se realizaron con un rugosímetro Mitutoyo® Surf Test SJ-310 (Figura 6), este permite registrar el perfil superficial del material mediante un palpador de alta precisión (Figura 7). A partir de estas mediciones se obtuvo el parámetro de rugosidad media (R_a), utilizado para comparar el estado superficial de las muestras antes y después del bruñido.



Figura 6. Rugosímetro Mitutoyo Surf test SJ-310.



Figura 7. Palpador y medida de rugosidad de las muestras.

Evaluación de la resistencia a la corrosión

Finalmente, se evaluó la resistencia a la corrosión; para ello, se empleó un potenciostato VersaSTAT 3, conectado a una celda electroquímica de tres electrodos. Este sistema estuvo conformado por la muestra de acero como electrodo de trabajo, un contraelectrodo de platino y un electrodo de referencia de plata/cloruro de plata (Ag/AgCl) saturado de cloruro de potasio (KCl).

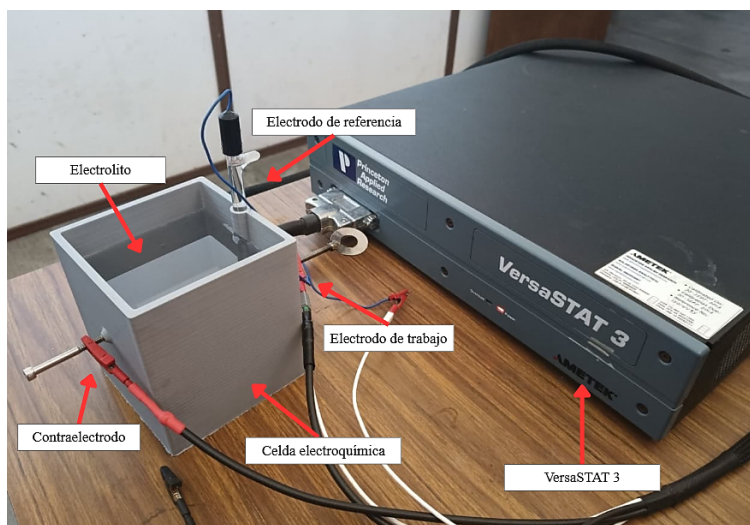


Figura 8. Conexión de celda electroquímica y potenciostato.

Las pruebas se realizaron utilizando una solución de Ringer (electrolito), el cual es un medio empleado para simular el ambiente fisiológico del cuerpo humano. Asimismo, a través de técnicas electroquímicas (como las pruebas EIS y Tafel) fue posible estudiar cómo respondía el acero tratado frente a condiciones similares a las que podría enfrentar un implante biomédico dentro del organismo.

¿Qué cambió en el acero?

Con el propósito de evaluar el efecto del bruñido deslizante sobre la integridad superficial del acero inoxidable AISI 316L, se analizaron propiedades relacionadas con la rugosidad superficial, microdureza y resistencia a la corrosión bajo distintas condiciones experimentales de velocidad de husillo y fuerza aplicada.

La Tabla 4 resume los resultados representativos obtenidos para las nueve condiciones principales del diseño experimental, así como para la muestra sin tratamiento (Virgen), utilizada como referencia.

Tabla 1. Resultados de microdureza y rugosidad superficial R_a del acero AISI sometido a proceso de bruñido.

Muestra	Vh (rpm)	Fuerza (N)	Microdureza (HV _{0.3})	Ra (μm)
Virgen	----	---	165.48	0.084
1	230	100	415.4	0.090
2	690	100	443	0.067
3	230	300	425.1	0.101
4	690	300	487	0.084
5	230	200	348.8	0.055
6	690	200	350.3	0.078
7	460	100	427.9	0.077
8	460	300	299.4	0.097
9	460	200	297.6	0.051

Microdureza: una superficie más resistente

Además de modificar las características de la superficie, el bruñido deslizante generó cambios significativos en la microdureza del acero AISI 316L. Los resultados mostraron un incremento considerable de microdureza en todas las muestras tratadas respecto a la muestra sin tratamiento, cuya microdureza promedio fue de 165.48 HV_{0.3}. Entre las condiciones evaluadas, la muestra 4 (690 rpm y 300 N) presentó el valor más alto, alcanzando aproximadamente 487 HV_{0.3}, mientras que las demás condiciones también mostraron mejoras importantes, con valores generalmente superiores a 290 HV_{0.3}.

Este comportamiento puede explicarse por la deformación plástica controlada que produce el bruñido sobre la superficie del material. La presión ejercida por la punta de diamante modifica la capa superficial y favorece el aumento de su resistencia frente a la deformación mecánica.

Rugosidad superficial: cuando una superficie “más lisa” sí importa

Otro de los efectos observados después del bruñido deslizante fue la modificación de la rugosidad superficial. Aunque una placa metálica puede parecer lisa a simple vista, a escala microscópica su superficie presenta pequeñas irregularidades, representadas por picos y valles.

Para comparar los cambios producidos por el tratamiento, se seleccionaron las muestras 9 y 3, correspondientes a las condiciones que presentaron la menor y la mayor rugosidad, respectivamente, entre las muestras bruñidas. La muestra 9 (460 rpm y 200 N) presentó la menor rugosidad superficial (0.051 μm), indicando una superficie más homogénea respecto al acero sin tratamiento (0.084 μm). En contraste, la muestra 3 (230 rpm y 300 N) registró la mayor rugosidad (0.101 μm), sugiriendo que una fuerza elevada no necesariamente produce una mejora en el acabado superficial. Estos perfiles se comparan en la Figura 9.

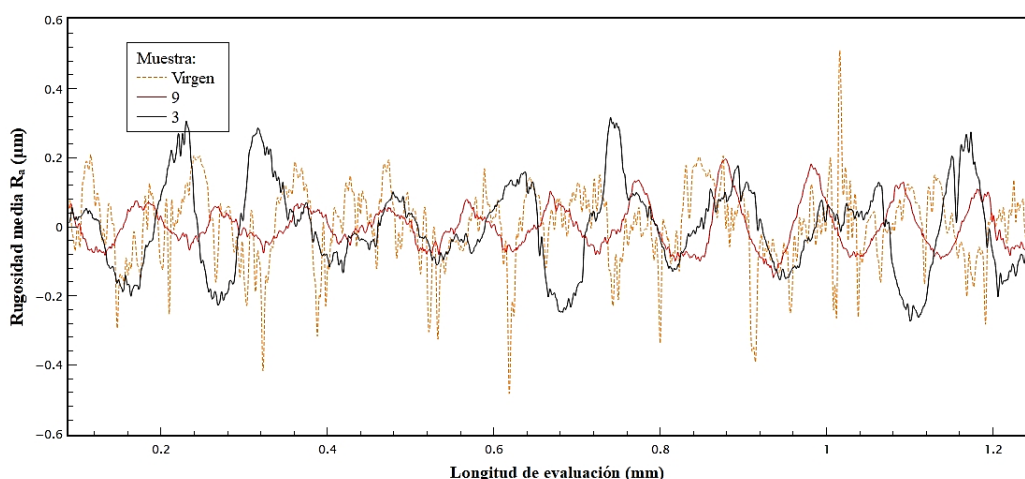


Figura 9. Comparación de perfiles de rugosidad antes y después de la aplicación del bruñido bajo distintas condiciones experimentales.

Como se observa en la Figura 9, los perfiles de rugosidad evidenciaron cambios importantes después del tratamiento superficial. La muestra sin tratamiento presentó irregularidades pronunciadas, mientras que varias muestras bruñidas mostraron perfiles más uniformes y con menor amplitud entre picos y valles.

En términos prácticos, una superficie más uniforme puede favorecer un mejor desempeño del material, ya que reduce irregularidades donde podrían concentrarse esfuerzos mecánicos o iniciarse fenómenos de corrosión localizada.

Comportamiento frente a la corrosión: más allá de una superficie lisa

Uno de los aspectos más relevantes del estudio consistió en analizar cómo las modificaciones superficiales inducidas por el bruñido influyeron en la resistencia a la corrosión, propiedad fundamental para materiales utilizados en aplicaciones biomédicas.

Impedancia electroquímica (EIS)

Para analizar el comportamiento frente a la corrosión, se seleccionaron las muestras 9 y 4, además de la muestra sin tratamiento, como referencia. La muestra 9 (460 rpm y 200 N) presentó la menor rugosidad entre las condiciones bruñidas, con un valor de $0.051 \mu\text{m}$, mientras que la muestra 4 (690 rpm y 300 N) alcanzó la mayor microdureza, con aproximadamente $487 \text{HV}_{0.3}$. La comparación de estas condiciones permitió observar cómo diferentes características superficiales obtenidas mediante el bruñido se relacionan con la respuesta electroquímica del material.

Los diagramas de impedancia electroquímica permitieron observar diferencias importantes entre las muestras evaluadas (Figura 10). De manera general, algunas muestras bruñidas presentaron semicírculos de mayor tamaño respecto a la muestra sin tratamiento, comportamiento que suele asociarse con una mayor resistencia frente al proceso corrosivo.

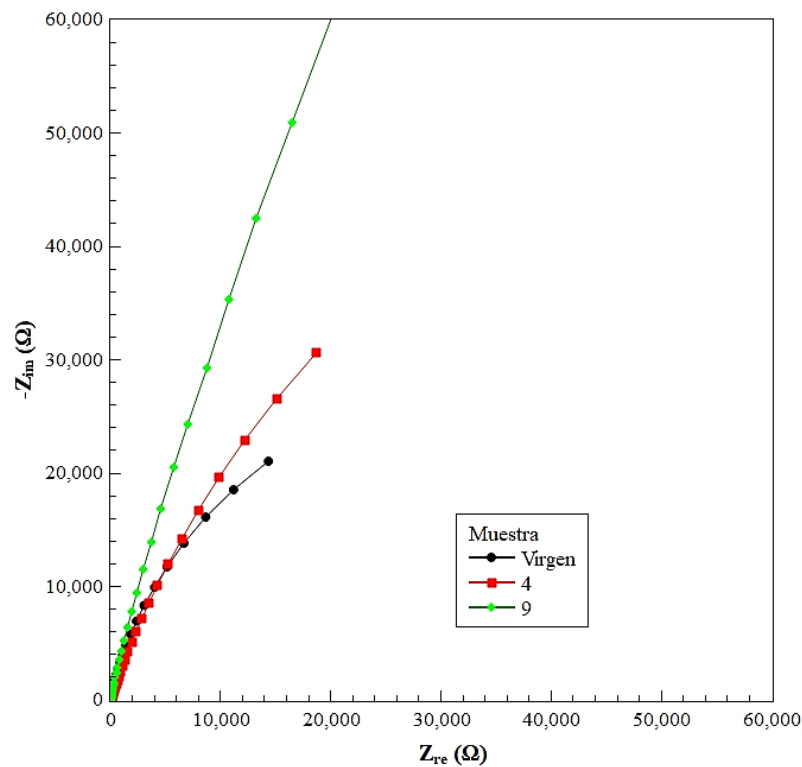


Figura 10. Diagramas de Nyquist obtenidos para el acero AISI 316L sin tratamiento y muestras sometidas a bruñido deslizante.

En particular, las muestras con superficies más homogéneas mostraron una respuesta electroquímica más estable, sugiriendo que el bruñido favoreció la formación de una película pasiva más uniforme sobre el acero inoxidable, y que, por lo tanto, dificulta el avance de reacciones electroquímicas responsables de la corrosión.

Por otro lado, las condiciones con mayor rugosidad superficial tendieron a presentar respuestas menos favorables, posiblemente debido a la presencia de irregularidades microscópicas que pueden actuar como sitios preferenciales para el inicio de fenómenos corrosivos localizados.

Curvas de polarización de Tafel

Las curvas de polarización de Tafel permitieron evaluar el comportamiento electroquímico del acero AISI 316L frente al medio fisiológico simulado (Figura 11). Este tipo de gráfica muestra la relación entre el potencial electroquímico del material y la densidad de corriente asociada a procesos corrosivos, permitiendo comparar el desempeño de distintas superficies frente al deterioro.

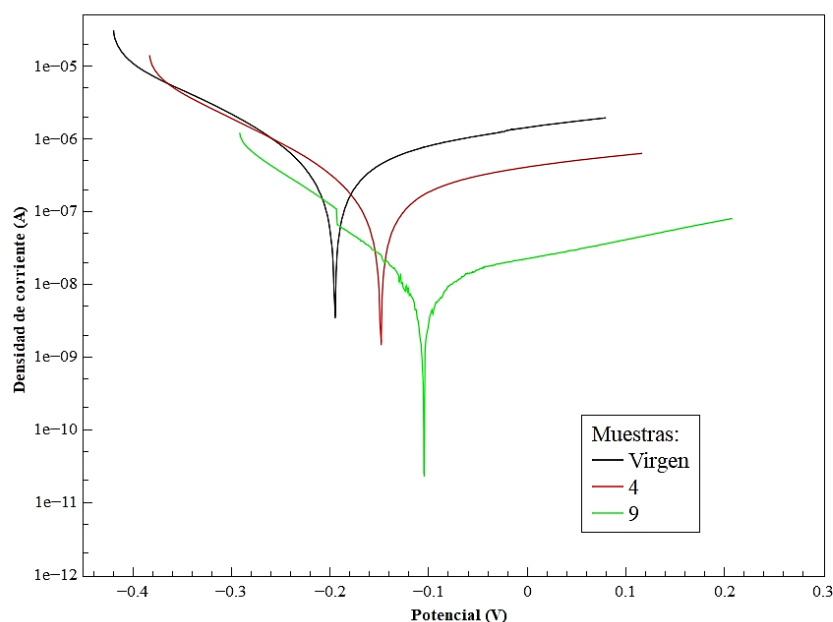


Figura 11. Curvas de polarización de Tafel del acero inoxidable AISI 316L sin tratamiento y bajo distintas condiciones de bruñido deslizante.

De manera general, las muestras sometidas a bruñido deslizante mostraron diferencias importantes respecto al acero sin tratamiento. En este tipo de curvas, un mejor comportamiento frente a la corrosión suele asociarse con curvas que se desplazan hacia valores menores de densidad de corriente, es decir, ubicadas más hacia la parte inferior del eje Y, ya que esto indica una menor velocidad de deterioro del material. Asimismo, desplazamientos hacia regiones más favorables del eje X (potencial) pueden sugerir una respuesta electroquímica más estable del sistema.

En las muestras tratadas se observó que ciertas condiciones de bruñido presentaron curvas más desplazadas hacia regiones de menor densidad de corriente, sugiriendo un comportamiento más resistente frente al medio corrosivo en comparación con la muestra sin tratamiento. Esto podría relacionarse con la modificación de la superficie inducida por el bruñido, particularmente con la disminución de irregularidades microscópicas y la posible estabilización de la película pasiva protectora del acero inoxidable.

Una superficie más uniforme puede reducir regiones donde se concentren reacciones electroquímicas localizadas, favoreciendo una distribución más homogénea de la capa protectora rica en óxidos de cromo. Como consecuencia, algunas muestras tratadas mostraron un desempeño electroquímico más favorable frente al ambiente fisiológico simulado.

Conclusiones

El bruñido deslizante demostró ser una alternativa capaz de modificar favorablemente la integridad superficial del acero inoxidable AISI 316L, generando cambios importantes en propiedades relacionadas con su posible aplicación biomédica. En comparación con el material sin tratamiento, las muestras bruñidas presentaron incrementos significativos en microdureza y, en varias condiciones experimentales, una reducción de la rugosidad superficial, favoreciendo superficies más homogéneas y resistentes.

Asimismo, las pruebas electroquímicas sugirieron una mejora en el comportamiento frente a la corrosión de algunas muestras tratadas, asociada con menores densidades de corriente de corrosión y una respuesta electroquímica más estable. Estos resultados indican que pequeñas modificaciones en la superficie del material pueden influir considerablemente en su desempeño.

En conjunto, los hallazgos muestran que el bruñido deslizante representa una estrategia prometedora para optimizar materiales biomédicos, contribuyendo potencialmente al desarrollo de implantes metálicos más duraderos, confiables y accesibles.

Referencias

- Geetha, M., Singh, A. K., Asokamani, R., y Gogia, A. K. (2009). Ti based biomaterials, the ultimate choice for orthopaedic implants – A review. *Progress in Materials Science*, 54(3), 397–425. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2008.06.004>
- Long, M., y Rack, H. J. (1998). Titanium alloys in total joint replacement—a materials science perspective. *Biomaterials*, 19(18), 1621–1639. [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(97\)00146-4](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(97)00146-4)
- López Rubio, A., Saucedo Moreno, E. M., Valdés Medina, S. G., y Garza de Zamacona, R. (2022). Prevalencia de fracturas en adultos mayores Hospital Angeles Mocel. *Acta Médica Grupo Ángeles*, 20(3). <https://doi.org/10.35366/105728>
- Márquez-Herrera, A., Saldaña-Robles, A., Reveles-Arredondo, J. F., Dorantes-Flores, J. L., Gallardo-Hernández, E. A., y Capilla-González, G. (2023). Effect of slide burnishing on the corrosion resistance and surface roughness on high strength steels. *Advances in Mechanical Engineering*, 15(10), 1–10. <https://doi.org/10.1177/16878132231201794>
- Saldaña-Robles, A., Plascencia-Mora, H., Aguilera-Gómez, E., Saldaña-Robles, A., Márquez-Herrera, A., y Diosdado-De la Peña, J. A. (2018). Influence of ball-burnishing on roughness, hardness and corrosion resistance of AISI 1045 steel. *Surface and Coatings Technology*, 339, 191–198. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.02.013>
- Sánchez Olivas, M. A., Valencia Zavala, M. P., Sánchez Olivas, J. A., y Sepúlveda Velázquez, G. (2010). Hypersensitivity to metals in patients with orthopedic implants. *Revista Alergia México*, 57(4), 127–130. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21255525>
- Tiwari, S., y Mishra, S. B. (2018). Corrosion of Stainless Steel and its Prevention through Surface Modification for Biomedical Application: A Review. *Asian Journal of Engineering and Applied Technology*, 7(2), 60–66. <https://doi.org/10.51983/ajeat-2018.7.2.954>

