

PREPARACIÓN DE PROBETAS DE ACERO SAE 1040 POR ELECTROPULIDO PARA POSTERIOR ANÁLISIS METALOGRAFICO

Fecha de aceptación: 02/09/2024

Luisa José Tapia

Instituto Politécnico Nacional

Guadalupe Escartin Gonzalez

Instituto Politécnico Nacional

Jose Luis Morales Gaspar

Instituto Politécnico Nacional

RESUMEN: El trabajo presenta el proceso de electropulido que busca generar un conocimiento específico sobre el proceso de pulido electroquímico en aceros SAE 1040, como inciden las variables del proceso y el brillo de las superficies metálicas en este tipo de acero. El electropulido es un tratamiento superficial mediante el cual el metal a ser pulido actúa como ánodo en una celda electrolítica, disolviéndose. Con el fin de producir una superficie verdaderamente lisa, con la aplicación de corriente, se forma un film polarizado en la superficie metálica bajo tratamiento, permitiendo a los iones metálicos difundir a través de dicho film. En el presente estudio se pretende someter a este proceso una probeta de acero simultáneamente, y bajo condiciones controladas de intensidad de corriente y temperatura, para obtener un

abrillantamiento de la superficie. Por lo tanto, lograr una superficie plana electropulida, brillante, que no tendrá el aspecto especular del pulido mecánico. Así mismo obtener una superficie similar a la de un espejo para su posterior análisis metalográfico. En cuanto a la resistencia a la corrosión, probetas electropulidas que muestren una mejora con respecto las pulidas mecánicamente.

PALABRAS CLAVE: Electropulido; Acero; Superficie; Celda electrolítica

PREPARATION OF SAE 1040 STEEL SAMPLES BY ELECTROPOLISHING FOR SUBSEQUENT METALLOGRAPHIC ANALYSIS

ABSTRACT: The work presents the electropolishing process that seeks to generate specific knowledge about the electrochemical polishing process in SAE 1040 steels, how the process variables and the brightness of the metal surfaces in this type of steel affect them. Electropolishing is a surface treatment by which the metal to be polished acts as an anode in an electrolytic cell, dissolving. In order to produce a truly smooth surface, with the application of current, a polarized film is formed on the metal surface under treatment, allowing the

metal ions to diffuse through said film. In the present study, it is intended to subject a steel test piece to this process simultaneously, and under controlled conditions of current intensity and temperature, to obtain a surface gloss. Therefore, achieve a flat, shiny electropolished surface, which will not have the specular appearance of mechanical polishing. Also obtain a mirror-like surface for later metallographic analysis. Regarding corrosion resistance, electropolished test pieces that show an improvement with respect to mechanically polished ones.

KEYWORDS: Electropolishing; Steel; Surface; Electrolytic cell

INTRODUCCIÓN

Actualmente existe una gran variedad de tratamientos químicos para superficies, el electropulido es una técnica de acabado químico para superficies, mediante la cual el metal se disuelve electrolíticamente, ión por ión, de la superficie de un objeto metálico. El objetivo primario es minimizar la microrrugosidad, reduciendo de manera espectacular el riesgo de adhesión de suciedad o residuos, mejorando la limpieza de las superficies. El electropulido también se usa para eliminar rebabas, abrillantar y pasivar.

Con el fin de producir una superficie verdaderamente lisa, se someterán las probetas de acero con dos tipos de irregularidades macroscópicas que deben ser eliminadas, analizando el grado de electropulido final.

El proceso tiene como resultado una superficie limpia e intacta. Posibles efectos no deseados en el tratamiento mecánico de la superficie: tensiones mecánica y térmica, inclusiones de partículas y superficies rugosas efectos evitables o reversibles.

La resistencia a la corrosión inherente en un tipo de acero inoxidable se aprovecha completamente. Por estos motivos, el electropulido se ha convertido en un tratamiento habitual para el acero inoxidable en las industrias en las que los requisitos de resistencia a la corrosión y limpieza son especialmente elevados. Las aplicaciones típicas se encuentran en la industria farmacéutica, bioquímica y alimentaria.

Dado que el electropulido no implica un impacto mecánico, térmico o químico, se pueden someter a los elementos pequeños y mecánicamente frágiles como es el caso de las probetas a estudiar. El electropulido se puede aplicar a piezas de casi cualquier forma o tamaño.

Desde el punto de vista técnico y económico, el electropulido permite:

Tratar piezas de forma irregular y de gran tamaño, en un tiempo corto y con gran ahorro de mano de obra.

Aumentar la resistencia a la corrosión ya que el proceso permite eliminar las capas superficiales formadas por labores de laminación y pulido, dejando sobre la superficie terminada una capa de óxidos de cromo y níquel extremadamente delgada y transparente que le confiere una excelente pasividad en relación con numerosos reactivos químicos.

Eliminar la coloración debida a procesos de soldadura o calentamiento, ahorrándose el proceso manual de su eliminación. Cabe señalar, sin embargo, que, si se desea una terminación uniforme, se debe realizar un decapado previo con el desoxidante-pasivador que provee nuestra Empresa.

Disminuir la tendencia en los líquidos y sólidos a adherirse a la superficie, mejorando los aspectos de limpieza y escurrido de las mismas, aspectos muy importantes en intercambiadores de calor, evaporadores, etc.

Pulir piezas de formas intrincadas, en las que el pulido mecánico resulta inaccesible. Esto es posible lograrlo en un solo tratamiento, proporcionando un aspecto uniforme en toda la superficie, lo cual sería difícil de lograr mediante métodos convencionales para posterior análisis metalográfico.

Disminuir el tiempo y costo del pulido, debido a la posibilidad de automatización del proceso, ahorro en insumos y mano de obra (Metalcast, 2024).

DESARROLLO

El electropulido elimina metal de una pieza mediante la aplicación de una corriente eléctrica con la pieza sumergida en un electrolito de una composición específica. El proceso es exactamente el inverso a la galvanización. En un proceso de galvanizado, los iones metálicos se depositan de la solución sobre la pieza. En un proceso de electropulido, la propia pieza se desgasta, añadiendo iones del metal a la solución.

Una instalación típica de electropulido es similar en apariencia a una línea de galvanización. Una fuente de alimentación, que transforma la corriente CA en CC y baja el voltaje a menores tensiones. Por lo general se usa un depósito fabricado de plástico o depósitos con recubrimiento de plomo para mantener el baño químico. Una serie de placas catódicas de plomo, cobre o acero inoxidable se sumergen en el baño, conectadas al polo negativo (-) de la fuente de alimentación. Las piezas a electropulir se fijan a una barra o rejilla hecha de titanio, cobre o bronce. La barra, a su vez, se conecta al polo positivo (+) de la fuente de alimentación (Cepeda, 2015).

La pieza a electropulir es una probeta de acero 1040. El acero SAE 1040 es un tipo de acero al carbono medio, conocido por su mayor contenido de carbono en comparación con aceros de menor aleación como el SAE 1020. Esto le proporciona mayor resistencia y dureza, pero también puede hacerlo menos dúctil y más difícil de soldar.

La rejilla fue hecha de cobre y fue conectada al polo positivo de la fuente de alimentación

El cátodo es de acero inoxidable, conectada al polo negativo de la fuente de alimentación.

Así, las piezas quedan conectadas al polo positivo (ánodo), mientras que el polo negativo (cátodo) está conectado a un conductor adecuado. Tanto los terminales positivos como los negativos están sumergidos en el electrolito, formando un circuito eléctrico cerrado. Se emplea siempre corriente continua (CC).

El electrolito utilizado es una solución ácida. La composición de la solución electrolítica puede variar según el tipo de acero y los resultados deseados, se realiza típicamente en una solución química diseñada para eliminar material de la superficie de manera controlada.

Tal y como muestra la figura 1, la pieza metálica queda cargada positivamente (ánodo) y sumergida en el baño químico. Cuando se aplica la corriente, el electrolito actúa como un conductor “herramienta” para permitir que los iones del metal se retiren de la pieza (probeta). Mientras que los iones se liberan hacia el cátodo, la mayoría de los metales disueltos permanecen en la solución. Algunos iones se depositan sobre los cátodos, los cuales requieren de una limpieza periódica para que resulten eficientes. La liberación de los gases, oxígeno, se produce en la superficie del metal, favoreciendo la acción electrolítica.

La cantidad de metal eliminado en la pieza es proporcional a la corriente aplicada, a la eficiencia del electrolito y al tiempo de exposición. En el transcurso del proceso de electropulido, las virutas y otros salientes se convierten en áreas con una densidad de corriente muy alta y se corroen preferentemente. Los parámetros del proceso se fijan para controlar la cantidad de metal a eliminar, de forma que se mantengan las tolerancias dimensionales.

En el caso del acero inoxidable, la eliminación de los componentes de la aleación varía según los mismos, y eso crea un efecto importante. Los átomos de hierro y níquel se extraen más fácilmente de la celda del cristal que los átomos de cromo. El proceso de electropulido se dirige preferentemente al hierro y al níquel, dejando una superficie rica en cromo. Este fenómeno acelera y mejora la pasivación de las superficies electropulidas.

El hecho de que el electropulido sea un proceso de no distorsión por lo general se pasa por alto. Las partes electropulidas no están sujetas a tensiones mecánicas o térmicas a causa del electropulido, ni están afectadas ni dañadas. A continuación se muestra el esquema de la celda electrolítica en la cual se lleva a cabo el proceso de electropulido.

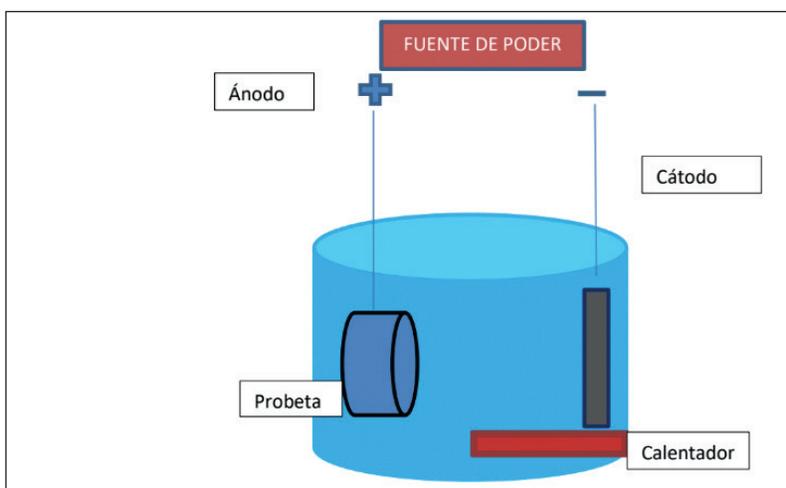


FIGURA 1. Se muestra la probeta conectada como ánodo del proceso electrolítico sobre el cual se elimina el material de la superficie a pulir.

PROCESO

Para obtener acabados electropulidos de alta calidad, en la mayoría de las aleaciones de acero inoxidable, el trabajo se debe realizar en las tres operaciones siguientes:

- Preparación del metal: eliminación de aceites, grasas, óxidos y otros contaminantes de la superficie que interfieren con la uniformidad del electropulido.
- Electropulido: para suavizar, abrillantar y/o eliminar las rebabas del metal.
- Tratamiento posterior: eliminación del electrolito residual y de los productos secundarios de la reacción de electropulido, con posterior secado para prevenir la aparición de manchas.

Cada una de estas operaciones puede implicar la utilización de varios depósitos para lograr el acabado deseado.

Preparación del metal

La preparación del metal incluye dos pasos: limpieza/desengrasado alcalino con disolventes, seguido de un decapado allí donde estén presentes los óxidos calientes (soldaduras).

La finalidad de la limpieza con productos alcalinos o disolventes es eliminar cualquier tipo de aceite, grasa, suciedad, huella dactilar o películas similares que se hubieran dejado sobre las piezas después de fabricarlas. Los contaminantes de la superficie presentes sobre cualquier pieza durante el electropulido pueden rebajar la calidad del acabado resultante, lo que es vital para aplicaciones críticas tales como productos médicos, farmacéuticos y semiconductores. Una vez que se hayan retirado las piezas del limpiador, se debe tener cuidado de evitar el contacto innecesario con las manos o con los equipos de proceso, dado que la higiene se debe considerar como uno de los principios básicos de todas las operaciones de acabado de metales. Una limpieza incorrecta o inadecuada es causa habitual de rechazo de piezas.

El primer paso de este proceso es aplicarle un baño decapante a las probetas de acero, esto se hace para limpiar la superficie de los productos manchados por inmersión lo cual aparece después de aplicar ciertos procesos como la soldadura, el tiempo de contacto entre el decapante y la superficie a decapar es definido en función del tratamiento preliminar de la probeta de acero, posteriormente se lava la superficie con bastante agua ayudándose con un cepillo y lijas para metal para retirar los residuos que quedan en la superficie a electropulir.

El depósito de enjuague tiene dos funciones fundamentales: eliminar los residuos químicos de la operación previa, mediante la disolución y actuar como barrera para evitar arrastrarlos al siguiente proceso.

El decapante elimina la ligera oxidación de otros procesos tales como el corte y elimina la película alcalina de las operaciones de limpieza.

Los principios de funcionamiento del enjuague del ácido de descascarillado son fundamentalmente los mismos que los del aclarado del limpiador alcalino. La diferencia principal es que dado que las soluciones ácidas son por lo general mucho más fáciles de eliminar mediante un aclarado que los residuos alcalinos, se usan por lo general en menores cantidades y/o con tiempos de aclarado más cortos.

Electropulido

Durante el electropulido, el metal se disuelve desde el electrodo anódico, pasando a la solución para formar una sal soluble del metal. Todos los componentes del acero inoxidable –hierro, cromo y níquel – sufren esta reacción al mismo tiempo, obteniendo el suavizado controlado de la superficie. También tienen lugar diversas reacciones secundarias, generando productos secundarios que se han controlado para conseguir la mejor calidad posible de electropulido.

La solución de electropulido está formada por un volumen igual de mezcla de ácido sulfúrico al 96 % y de ácido ortofosfórico al 85 %. Pueden incluir surfactantes, inhibidores de corrosión, y otros agentes que mejoren la eficiencia del proceso y la calidad del acabado. Las condiciones de funcionamiento son las siguientes:

- Densidad de corriente: de 5 A/dm² a 25 A/dm²
- Temperatura: de 40 °C a 75 °C
- Tiempo: de 2 a 20 minutos
- Cátodos: acero inoxidable, cobre, plomo

Ánodo: SAE 1040. Probeta de Acero de bajo carbono, blando, responde bien al trabajo en frío y al tratamiento térmico de cementación. Tiene un alto índice de soldabilidad, y por su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para elementos de maquinaria y usos convencionales de baja exigencia. El acero SAE 1040 es una elección adecuada para aplicaciones que requieren un equilibrio entre resistencia y maquinabilidad, siendo más duro y resistente que los aceros de bajo carbono, pero también más desafiante de trabajar y soldar.

Seguridad y Manejo

- **Equipo de Protección Personal (EPP):** Use guantes, gafas de seguridad, y ropa protectora para manejar los ácidos.
- **Ventilación:** Asegúrese de que el área de trabajo esté bien ventilada para evitar la inhalación de vapores ácidos.
- **Manejo de residuos:** Los residuos de la solución electrolítica deben ser manejados y desechados según las regulaciones locales de manejo de desechos peligrosos.

Esta solución y procedimiento son indicativos y pueden necesitar ajustes según la composición específica del acero y los requerimientos de acabado.

El siguiente esquema muestra el diagrama de flujo del procedimiento de electropulido:

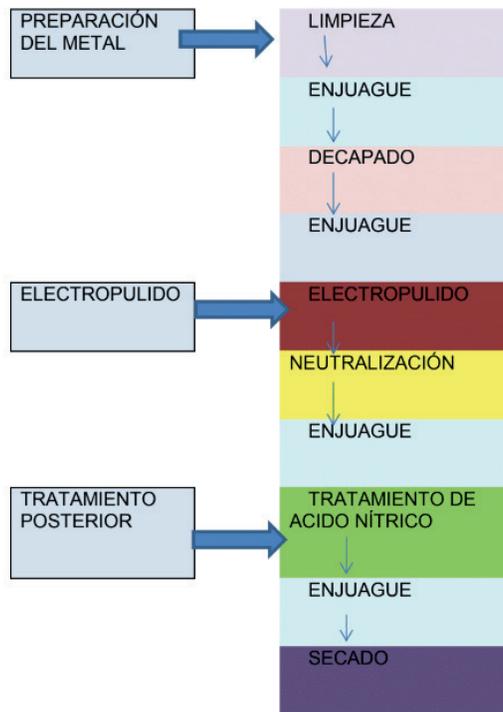


FIGURA 2. Se muestra el proceso de electropulido típico.

El tanque de lavado recoge la solución de electropulido de la operación previa. Los electrolitos de acero inoxidable por lo general requieren la neutralización con sosa cáustica (hidróxido de sodio o lechada de cal) y producen volúmenes de precipitados relativamente grandes. Las compañías especializadas en electropulido aseguran que se cumplen los estándares medioambientales, sanitarios y de seguridad.

En el aclarado, se debe tener en cuenta que las soluciones de electropulido son viscosas y no se mezclan fácilmente con agua. Se debe tener cuidado de evitar que la solución de electropulido se seque sobre las piezas, dado que el ácido residual podría causar manchas o marcas una vez almacenadas. Por esta razón, los aclarados calientes usados con fines de secado sólo se deberían emplear después de haber aclarado a fondo cualquier electrolito residual.

Tratamiento posterior

La finalidad de un tratamiento posterior de ácido nítrico al electropulido, es disolver la película de productos químicos secundarios que se forma cuando se producen las reacciones electroquímicas. Estos productos secundarios, que están compuestos principalmente por fosfatos y sulfatos de metales pesados, son difíciles de eliminar únicamente aclarando con agua. La eliminación a fondo es crucial para asegurar que la superficie siga siendo consistente, resistente a la corrosión e higiénica durante su almacenamiento y uso posteriores.

Los residuos de las soluciones de ácido nítrico se pueden eliminar con agua fría, dado que son más solubles en agua que los residuos alcalinos.

No debería haber trazas de sustancias químicas en los componentes cuando entran en el agua caliente, o el agua caliente se contaminaría progresivamente. La finalidad del aclarado con agua caliente también es elevar la temperatura del metal lo suficiente como para causar el secado instantáneo de las piezas antes de desmontarlas de la rejilla.

Algunos tipos de piezas no se secarán por completo después del aclarado con agua caliente. Podrían ser necesarios secadores centrífugos, cámaras de aire caliente y otros tipos de estaciones de secado para forzar la evaporación rápida de la humedad residual y para evitar que la pieza se manche.

Las principales desventajas que se presentan de este proceso son:

- Se tienen que mantener medidas extremas de seguridad debido al manejo de ácidos, el uso de electricidad y cambios de temperatura que pueden ser peligrosos.
- El pulido es demasiado fino, esto implica que nuestra área a pulir tienen que estar en perfectas condiciones, es decir no presentar ninguna impureza.

RESULTADOS

Los resultados se pueden reproducir con un alto grado de precisión, de forma que también se pueden tratar de forma segura los componentes con tolerancias estrictas.



FIGURA 3. Se muestra en la imagen una vista de la misma superficie antes y después del electropulido en acero SAE 1040

Por ejemplo, una superficie abrillantada como el acabado súper-espejo podría parecer igual que una superficie electropulida a la vista de un ojo inexperto. Podrían producir las mismas lecturas del perfilómetro de acabado de superficies. Las fotos micrográficas de las dos superficies mostrarán, sin embargo, una diferencia sustancial. La superficie electropulida se verá sin marcas distintivas, mientras que en la superficie pulida serán visibles algunos arañazos microscópicos, así como abrasiones incrustadas y compuestos brillantes.

Cuando fuera necesario, el material base podría estar sujeto a operaciones de abrasión mecánica y abrillantado antes del electropulido, para obtener las características finales deseadas en la superficie.

El electropulido es un tratamiento superficial mediante el cual el metal a ser pulido actúa como ánodo en una celda electrolítica, disolviéndose. Con el fin de producir una superficie verdaderamente lisa, con la aplicación de corriente.

Este proceso se diseñó utilizando dos electrodos y se realizó una conexión de la fuente de poder, se utilizó un recipiente de vidrio que fungía como depósito del ácido, la probeta de acero a pulir es colocada en el ánodo, se coloca la corriente y se procede a pasar por el electrodo que contiene el electrolito. Se logra obtener el pulido en la probeta que se consideró muy funcional por ser un pulido demasiado fino y es poco probable que mantenga su apariencia con el uso rudo que generalmente se le da al acero 1040. Se espera la implementación de este proceso en probetas para análisis en el laboratorio de metalografía donde no se pueda desbastar lo suficiente y solo se pueda limpiar mediante este sistema logrando eliminar la coloración y pasivar la superficie.

El electropulido se prefiere en muchas industrias como acabado final para numerosos metales debido a la mejora de su superficie, sin contaminación, sin partículas y con propiedades antiadherentes o simplemente por motivos decorativos. Si el objetivo es un acabado agradable estéticamente, un electropulido de alta calidad se puede evaluar,

por lo general, con una inspección visual. Una evaluación microscópica de la superficie es necesaria, sin embargo, cuando se requiere el más alto grado de acabado y es necesario que el estado de la superficie se documente para una evaluación futura.

Finalmente en este paso el metal es disuelto por el proceso galvánico y algunos componentes del acero inoxidable son disueltos con mayor facilidad, tal es el caso del hierro y el níquel, por otro lado el cromo se fija en la superficie y acelera la pasivación y el resultado es la eliminación de las crestas más elevadas de la microrrugosidad obteniéndose una superficie suavizada. El electrolito típico está compuesto por una mezcla de ácido sulfúrico y orto fosfórico, dentro del cual circula una corriente con densidades que varían desde 5 hasta 25 A por decímetro cuadrado, con temperaturas de la solución entre 40° y 75° C el tiempo de esta parte del proceso varía de 2 a 20 minutos. Las neutralizaciones de los ácidos del electrolito se hacen con soda caustica dentro de un tanque, estas soluciones del proceso son viscosas por lo que se adhieren a la superficie y deben ser retiradas de la pieza de lo contrario pueden dar origen a defectos de las superficies (Sicacha, 2018).

Los buenos resultados del electropulido dependen en gran medida de una adecuada preparación del acero, esto es, limpiar y desengrasar la superficie, para ello se utilizan productos alcalinos y/o disolventes que dejan la superficie libre de grasa y suciedad, posteriormente se debe enjuagar la pieza con el propósito de eliminar estos productos de la superficie disolviéndolos.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto se llevó a cabo gracias al financiamiento del Programa Especial de Consolidación y Formación de Grupos de investigación de la Secretaría de Investigación y Posgrado por conducto de la Dirección de Investigación del IPN. Este trabajo fue realizado con apoyo del proyecto de investigación SIP 20230383.

Al Instituto Politécnico Nacional por las facilidades para la realización de este estudio y al CECYT 2 por el apoyo con las instalaciones del laboratorio de electroquímica en el área de metalurgia.

REFERENCIAS

Aceros Bravo. (6 de junio de 2012). *Aceros carbono*. Obtenido de <http://www.acerosbravo.cl/productos.php?idcat=2>

Alenka Kosma, B. (2010). Electropulido de acero inoxidable. *EUROINOX*, 2-8. Obtenido de http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Electropolishing_SP.pdf

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (2006). Designation A380- 06. Standard Practice for Cleaning, Descaling, and Passivation of Stainless Steel Parts, Equipment, and Systems.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (2006). Designation B912- 02. Standard Specification for Passivation of Stainless Steel Parts Using Electropolishing.

Arminix de Mexico .A. de C.V. (2 de FEBRERO de 2014). *ELECTROPULIDO*. Obtenido de <http://www.arminox.mx/electropulido.php>

Carro, I.M. (2019). *Ensayos de electropulido sobre distintos componentes de acero inoxidable AISI316L*. <https://rinfi.fi.mdp.edu.ar/bitstream/handle/123456789/423/IMCarro-TFG-IMe-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cepeda Waltero, B. y Torres Chaparro, O. (2015). *Implementación de procesos por electropulido de acero Inoxidable*. Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central.

ELECTROPULIDO.(19 de septiembre de 2014). Obtenido de Información tecnica para usuarios: <http://www.inoxidable.com/electropulido.htm>

Mejía Espinoza, C. (s/f). *Diseño, optimización y caracterización del proceso de electropulido para piezas en acero inoxidable aisi 316*. <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/24700/proyecto%20de%20grado.pdf?sequence=1>

Roso Sanchez, M. (1989). *Optimización de procesos de electropulido de acero inoxidable austenítico con fines descontaminantes*. Correlación entre parámetros de estado superficial y de electropulido. Universidad Politécnica de Madrid (España). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=240112>

Sicachá Rojas, G. (2018). *Estado del arte del electropulido en aceros inoxidables*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2977>