



## Análisis del Electropulido de probetas de acero SAE 1040

Luisa José Tapia, Nuria Guadalupe Delgado Zapata & Guadalupe Escartín González

Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos 2<sup>o</sup> Miguel Bernard<sup>o</sup> Instituto Politécnico Nacional. Av. Nueva Casa de la moneda 133, Lomas de Sotelo, 11200. Miguel Hidalgo, Ciudad de México.

### ARTICLE INFO

**Received:** 25 octubre 2019

**Accepted:** 18 enero 2020

**Available on-line:** 30 mayo 2020

**Keywords:** Educación universitaria, Electropulido, Superficie brillante.

**E-mail addresses:**

Luisa\_jt@yahoo.com.mx

nuriadz13@gmail.com

escartin@ipn.mx

ISSN 2007-9842

© 2020 Institute of Science Education.

All rights reserved

### ABSTRACT

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 submit to this process a steel specimen simultaneously, and under controlled conditions of current and temperature, to obtain a brightening of the surface. Therefore, achieve a flat, electropolished, shiny surface that will not have the specular appearance of mechanical polishing. Also obtain a surface similar to that of a mirror for later metallographic analysis.

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.

## I. INTRODUCCIÓN

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.

## II. 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.

La pieza a electropulir es una probeta de acero 1040.

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).

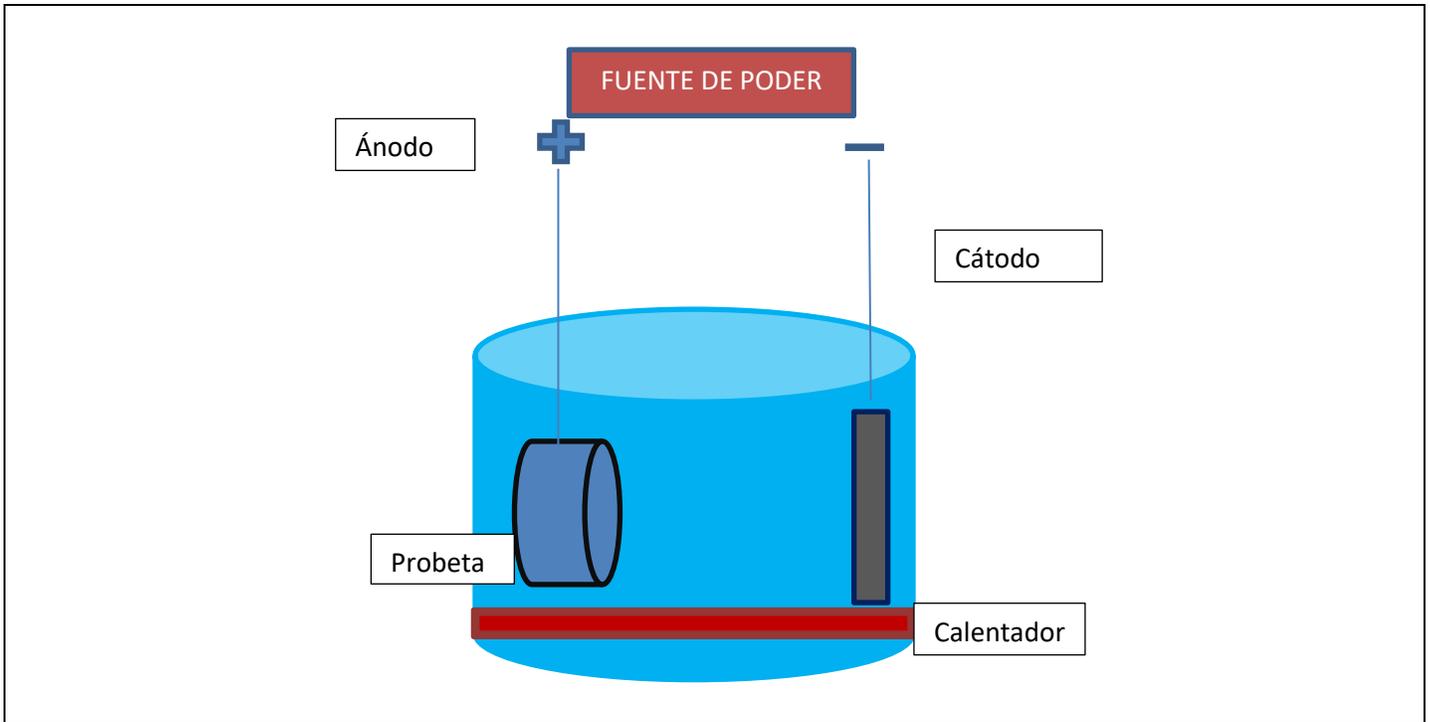
El electrolito utilizado es una solución ácida.

Tal y como muestra la figura siguiente, 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 [2].

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 [4].



**FIGURA 1.** Se muestra la probeta conectada como ánodo del proceso electroquímico, sobre el cual se elimina el material de la superficie.

## 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.

### 1. 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 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.

## 2. Electropulido

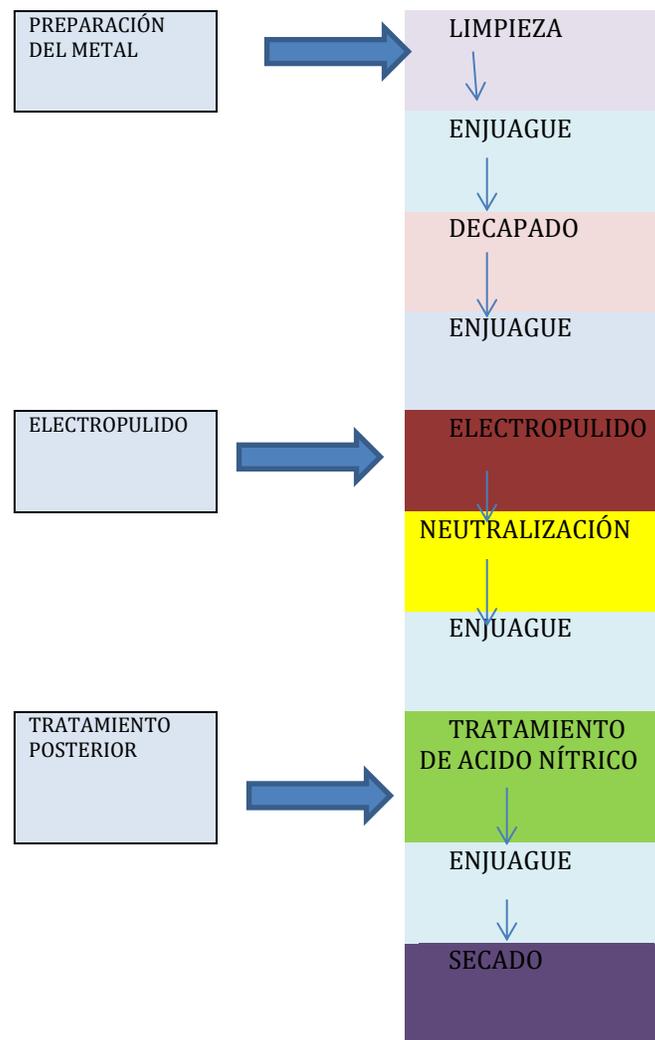
Durante el electropulido, el metal se disuelve desde el electrodo anódico, pasando a la solución para formar una sal soluble del metal. Todos los componentes del acero inoxidable –hierro, cromo y níquel – sufren esta reacción al mismo tiempo, obteniendo el suavizado controlado de la superficie. También 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 %. Las condiciones de funcionamiento son las siguientes:

- Densidad de corriente: de 5 A/dm<sup>2</sup> a 25 A/dm<sup>2</sup>
- Temperatura: de 40 °C a 75 °C
- Tiempo: de 2 min. a 20 min.
- 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 siguiente esquema muestra el diagrama de flujo:



**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.

### 3. 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 abrigantada 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 abrigantado 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.

## AGRADECIMIENTOS

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 metalurgia.

Se agradece al Instituto politécnico Nacional por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo. Este trabajo fue realizado con apoyo del proyecto de investigación SIP-20190252.

## 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](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Electropolishing_SP.pdf)

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

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