

300617

10

2ej



**UNIVERSIDAD LA SALLE**

**ESCUELA DE INGENIERIA**

**Incorporada a la U.N.A.M.**

**“EL ELECTROPULIDO COMO PROCESO  
DE ACABADO SUPERFICIAL”**

**Tesis Profesional**

**Que para obtener el Título de  
Ingeniero Mecánico Electricista  
p r e s e n t a**

**Bernardo Fernández Zermeño**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**México, D. F.**

**1988**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO I : PULIDO MECANICO	3
- Conceptos generales	3
- Acabados en lámina	5
- Operación de pulido mecánico	8
CAPITULO II : ELECTROPULIDO	14
- Generalidades	14
- Mecanismo del electropulido	14
- Operaciones y técnicas	24
CAPITULO III : PRUEBAS COMPARATIVAS	36
- Detención de líquido	36
- Detención de la solución de sacarosa al 21%	38
- Efectos pasivos	46
CAPITULO IV : VENTAJAS Y APLICACIONES DEL ELECTROPULIDO	48
- Ventajas	48
- Aplicaciones	52
CAPITULO V : ESTUDIO ECONOMICO	56
- Generalidades	56
- Evaluación de costos proceso mecánico o convencional	56
- Evaluación de costos del electropulido	62
CONCLUSIONES	66
BIBLIOGRAFIA	68

## INTRODUCCION .

Por muchos años para la industria, el acabado superficial estaba basado en la apariencia visual y en "prueba y error", para determinar el acabado mecánico más apropiado para un requisito específico. Como podemos darnos cuenta, la capa superficial juega un papel preponderante en el comportamiento de cualquier objeto metálico. Cuando se busca facilidad en la limpieza, baja adherencia o mejor resistencia a la corrosión, normalmente se recurre a acabados "sanitario" y "espejo". Estos acabados son de grata apariencia a simple vista, pero, por obtenerse mediante desbaste mecánico, presentan los siguientes problemas:

a).- Grietas finas, concentración de esfuerzos, crecimiento o deformación de granos, originados por sobrecalentamientos causados por la acción de los abrasivos.

b).- Traslape de rebabas microscópicas que a veces ocultan fallas y generalmente forman microprotuberancias en forma de afilados ganchos.

c).- Contaminación en forma de grasa, lubricantes y partículas de abrasivos.

En la búsqueda de un sustituto del pulido mecánico, para eliminar los inconvenientes mencionados, se llegó al electropulido como la opción más viable. Mientras que por más

de medio siglo ha sido conocido este proceso, no adquiere importancia comercial hasta después de la segunda guerra mundial.

El electropulido es un proceso selectivo de extracción de metal electroquímico, contrario al proceso de electrodeposición (galvanoplastia). Este proceso elimina, las imperfecciones superficiales, asperezas y deformaciones de la capa, aparte de traer consigo otros beneficios.

La obtención de un acabado superficial por medio de este método es practicamente desconocido en nuestro país, por lo que escogí este tema para dárlo a conocer y mostrar sus ventajas sobre los otros procesos de acabado.

Conceptos generales

Para la adquisición de un acabado superficial particular que llene los requisitos especificados, se necesita algo de conocimiento de como y porqué ocurre el acabado superficial en el momento de la manufactura. Para poder entender mejor el lenguaje que se utiliza en los procesos de pulido, describiremos brevemente los términos más usados.

La medida usada para determinar la aspereza de la superficie se da en micropulgadas ( $\mu\text{m}$ ) o micrómetros ( $\mu\text{m}$ ). El término de acabado en micropulgadas se refiere al promedio de la altura de las asperezas en la superficie, expresado en millonésimas de pulgada (0.000001) o  $0.254\mu\text{m}$ .

Las designaciones usadas en Estados Unidos son: RMS (root means square ) o AA (arithmetical average), esta última es aproximadamente en 11 % inferior que el RMS. La designación AA es equivalente a la terminología europea CLA (center line average). Las lecturas son expresadas usualmente como valores de RMS.

La relación del acabado superficial con el tamaño de grano (grit size) es en resumen como sigue:

TAMAÑO DE GRANO	RMS	AA
36	160	142
60	98	87
90	60	71
120	58	52
180	34	30
240	17	15
320	14	12

Los valores anteriores fueron establecidos con un abrasivo de óxido de aluminio sin lubricación sobre acero inoxidable tipo 304. Estos valores son aproximados debido al número de variables que están en juego.

Los sensores de aguja son el instrumento más utilizado para medir la aspereza superficial y su uso es satisfactorio para acabados mecánicos.

El grado de acabado, cuando se utiliza polvo abrasivo, debe ser especificado en función del tamaño de grano para asegurar la uniformidad.

Por ejemplo, especificando un acabado número 4 pueden ser utilizados granos de número 120, 150 o 180 como paso final en el pulido, obteniéndose por consiguiente, diferentes rugosidades.

## Acabados en lámina

Los acabados de taller, como el nombre lo indica, son acabados superficiales que se obtienen del taller de producción. La selección de un acabado de taller, es determinada primeramente por el calibre o grueso del material requerido.

Las placas se fabrican en gruesos de 3/16 de pulgada (4.7 mm) a más. Su producción es por medio de rolado en caliente partiendo de un lingote hasta obtener la medida deseada. Como paso intermedio de este proceso se encuentra el decapado que puede ser sustituido por el desbaste abrasivo como medio para remover óxido e incrustaciones. Esta condición comparativa de aspereza superficial se conoce como acabado de taller número 1. Su uso es principalmente funcional para resistencia, calor o resistencia corrosiva.

El endurecimiento por trabajo, en frío, tiene lugar con la reducción del espesor de la placa y necesita varias operaciones de revenido o desincrustación de cada proceso de rolado.

Algunos talleres ofrecen un paso frío, o también llamado acabado francés, empieza como un acabado del No. 1 pero con un rolado en frío que mejora el acabado superficial del acabado No. 1. Este acabado es normalmente para las placas

gruesas, aproximadamente del 1/2 pulgada (12 mm) a 3/4 de pulgada (19 mm) dependiendo del origen.

La hoja laminada en frío se deriva de placas después del roiado en caliente, las cuales se conocen como bandas calientes, un término utilizado para placas superiores a 5/16 (8 mm) de espesor, las cuales son sometidas a una carga de 11000 Kg. para reducir su espesor. Estas bandas calientes son laminadas en frío al espesor deseado, con ayuda de revenidos intermedios según sea requerido. El número de pasos depende de la medida que se desea.

Para obtener un mejor acabado laminar, la superficie es tratada con ácido o con abrasivo para eliminar residuos y otras imperfecciones.

Un acabado 2D se obtiene por laminado en frío, antes de el temple final y la operación de desincrustación, aunque a veces, un ligero paso sobre laminadores siga a la desincrustación. La superficie es más densa que el acabado No. 1 y requiere apreciablemente menor acabado mecánico. Es usado en gran cantidad cuando se requieren operaciones de formación y delineación debido a que tiene una buena relación lubricante.

Un acabado 2B es logrado por una operación final de laminado en frío, generalmente con laminadores pulidos, que produce una superficie más suave, brillante y densa que el acabado 2D; no es ideal para el trabajo severo, pero es una

superficie recomendable para pulido.

Un acabado del No. 3 es un acabado de bajo costo, es producido por medio de una banda de abrasivo del No. 100. Este acabado a veces, se confunde erróneamente con un acabado del No. 4.

El acabado No. 4 es el resultado de un pulido con grano de esmeril del No. 120 o 150, precedido por tres o más operaciones sucesivas de esmerilado burdo si el acabado original fué un No. 1 o un 2D. Un acabado 4F es un acabado No. 4 mejorado, que ha tenido una operación adicional de pulido con grano del No. 180.

Es importante hacer notar que el acabado No. 4 es el que se le conoce como acabado sanitario.

Los lubricantes son usados en conjunto con varias operaciones abrasivas mencionadas en la producción de estos acabados de taller.

A continuación se muestra una tabla comparativa de la rugosidad obtenida con bandas abrasivas nuevas y de media vida en diferentes tamaños de grano.

ACABDO SUPERFICIAL	BANDA NUEVA		BANDA MEDIA VIDA	
	RMS	AA	RMS	AA
No. 1				
80 grit	88	78	80	71
120 grit	70	62	58	52
180 grit	52	46	34	30
240 grit	18	16	17	15

## Operación de pulido mecánico

El acabado abrasivo es logrado, enlazando polvo abrasivo a tiras, discos o ruedas. Las ruedas o discos de resina sintética impregnadas de abrasivo sólido, son usadas para el desbaste rápido de superficies y soldaduras ásperas. Los discos dejan un patrón de marcas giratorias.

Las ruedas de taller son capas cosidas de lona o muselina para la flexibilidad periférica. Estas ruedas son sisadas con pegamento y abrasivo las cuales son usadas para esmeril y pulir, siendo revestidas cuando es necesario.

Con ruedas de cubierta radial, el esmerilado tiene lugar en los extremos de las tiras abrasivas dispuestas radialmente.

Las bandas para pulir son las más populares si la forma de la pieza trabajada permite su uso.

Existe un rango extenso de minerales abrasivos y de medidas del tamaño de grano. Son usados dos tipos de minerales abrasivos para el esmerilado y el pulido:

- 1).- Minerales naturales como pedernal, granate y azafrán.
- 2).-Minerales sintéticos como óxido de aluminio y carburo de silicio.

Estos últimos son producidos en hornos eléctricos, después triturados, tratados y clasificados.

Las características de dureza, resistencia a la corrosión, resistencia al calor, forma y patrón de fractura hacen de los minerales sintéticos los más utilizados.

El óxido de aluminio es el más conocido y el más duradero. El carburo de silicio produce un mejor acabado que el anterior debido a que tiene un grano más largo y más fino, con más bordes filosos: por tal motivo, se utiliza para acabados más finos o para la operación final.

A continuación se muestra una comparación entre los dos minerales sintéticos con y sin lubricación:

Mineral	Grano	Seco	Emulsión de agua	Aceite	Grasa
Oxido de aluminio	180	34	30	25	18
Carburo de silicio		10	12	9	8
Oxido de aluminio	240	17	15	11	8
Carburo de silicio		8	10	8	6

La selección del mineral abrasivo es por medio de un proceso de cernido ( a través de mallas de diferentes tamaños), donde las partículas de abrasivo son medidas.

Generalmente, el grano más fino (número más grande), produce el acabado más preciso. El rango de medidas de tamaño de grano es como sigue : 12, 24, 30, 36, 40, 50, 60, 80, 100,

120, 150, 180, 220, 240, 280, 320, 400, 500, 600, 800 y 1000.

La nomenclatura de Estados Unidos para el tamaño de grano y las graduaciones de la Asociación de Productores Europeos de la Federación, son similares hasta el número 220 pero difieren en adelante y son clasificadas como graduaciones "P".

La terminología seriada de abrasivo, cae en tres categorías:

- EL ESMERILADO ASPERO que es logrado con abrasivos del 24 o 36, usados comunmente para la eliminación rápida de metal de superficies ásperas y cordones de soldadura. También un esmerilado de 50 a 60 debe seguir a una operación de esmeril del 24 o 36 y es el esmerilado inicial en superficies laminadas en caliente o con revestimiento fuerte.

- EL ESMERILADO es una operación con tamaño de grano 80 a 100 siguiendo a un esmerilado de 60, para el mejoramiento del acabado superficial, frecuentemente como el comienzo de un acabado en lámina.

- EL PULIDO es una operación desmoronadora que sigue al esmerilado. Contraria a la mala interpretación conocida, el pulido es todavía una operación de esmerilado fino, el cual incluye tamaños de grano desde el 120 en adelante. Este último paso mejora el acabado superficial debido a que reduce o elimina las marcas dejadas por el esmeril. La eliminación

metalica es ligera.

La selección apropiada de la serie de tamaño de grano es muy importante para obtener los acabados deseados. Los factores determinantes son: la condición superficial inicial, y el acabado final requerido.

La mejor serie de medidas de esmeril debe ser usada para minimizar las líneas burdas marcadas. Esta serie es incrementada generalmente 40 números entre los pasos. El incremento de tamaño es ligeramente menor para el esmerilado burdo y mayor para un pulido fino.

Puesto que cada caso requiere una aproximación diferente, a continuación marcamos una serie de esmeril típica empezando con un laminado del No. 1.

	ACABADO INICIAL	A	ACABADO FINAL
	24	40/50	80/100
ESMERILADO	36	50/60	100/120
ASPERO	50	80/100	120/150
	60	100/120	150/180
ESMERILADO	80	120/150	180/220
	100	150/180	220/240
	120	180/220	240/280
PULIDO	180	220/240	320/400

Ademas de los factores ya nombrados, existen otros

adicionales que afectan el acabado superficial entre los cuales se encuentran:

El término "transmisión de media vida" , expresa la diferencia que existe, con respecto al acabado en micropulgadas , entre los discos, las ruedas, y las transmisiones nuevas y los mismos después de un tiempo de uso. Por ejemplo, una transmisión firme del No. 100 de óxido de aluminio, producirá una lectura de 90  $\mu$  cuando es nueva y de 45  $\mu$  cuando ya es usada.

Las transmisiones abrasivas, los discos y ruedas asegurados por pegamento, son más flexibles que aquellos asegurados por resina; así se obtiene un acabado de menor rugosidad debido a que las marcas son menos profundas.

Las presiones en la producción de mejores acabados son bastante importantes, y se recomienda para el acero inoxidable una presión de 25 a 40 lb/pulgada cuadrada. Las presiones excesivas pueden causar picaduras cuando el límite elástico operante del metal ha sido excedido.

Una rueda de contacto dura, acelera la eliminación del metal pero con una rueda más suave resulta un acabado superficial mejor.

La velocidad de la rueda debe ser determinada específicamente para acero inoxidable según se ha comparado con otros metales. Generalmente, la velocidad de la rueda

aumenta el corte. Las velocidades más bajas mejoran el acabado mientras que velocidades más altas pueden trabajar endureciendo el metal.

La lubricación sirve para diversos propósitos entre los cuales se encuentran: la prolongación de la vida del abrasivo, la reducción del calor y la fricción, mejorando el acabado. Los lubricantes usados comunmente son: agua, soluciones de agua/emulsiones, aceites y grasas. Los aceites y grasas son aprovechados en un número variado de viscosidades. Existen dos tipos de aceites lubricantes: los solubles, mezclados con agua para formar emulsiones; y los cortantes, que se aplican directamente.

Generalidades

El estudio de la superficie de un metal que va a ser electropulido, será encontrado consistentemente irregular en su perfil. El objeto entonces del electropulido, es eliminar las irregularidades disolviendo selectivamente las proyecciones o nivelando y produciendo brillo.

El nivelado de las proyecciones ásperas, es llamado macropulido, y la disolución de las irregularidades mucho más pequeñas se conocen como micropulido. Cuando el macropulido y el micropulido ocurren simultáneamente, la uniformidad y el brillo surgen. En algunos casos, sin embargo, cualquiera puede ocurrir independientemente del otro. El brillo no siempre implica tersura y alternativamente la uniformidad puede existir sin brillo.

Mecanismo del electropulido

Durante el electropulido, una película de óxido (o hidróxido), se forma por oxidación electrolítica en el ánodo. Esto ha sido verificado por estudios de la difracción de electrones. Esta película anódica cubre uniformemente la

superficie del metal que está siendo electropulido .

La porción exterior de la película, está constantemente disolviéndose dentro del electrolito. Se establecen condiciones convenientes durante el electropulido para mantener un espesor de película anódica constante, o un equilibrio entre la formación de óxido en un lado y la proporción de disolución química dentro del electrolito en el otro. Esta película estable, permite el intercambio de electrones necesario entre el metal que esta siendo pulido y los iones del electrolito.

W.C. Elmore ha expresado diferentes puntos de vista sobre el papel que representa la película anódica en el electropulido. La función decisiva de la película anódica en el proceso electrolítico, según Elmore, no es debida a diferencias en la resistencia eléctrica desde el cátodo a las microproyecciones y a los microfondos del ánodo, sino a las diferencias de velocidad en la difusión de los productos formados por el metal desde los diferentes puntos del mismo relieve a la masa del electrolito. En esta comunicación se presume que la corriente eléctrica es transportada de la solución principalmente por los iones, muy móviles, de hidrógeno, mientras la transferencia de iones del metal de la capa anódica a la masa de electrolito ocurre como resultado de una difusión y no de la migración de las partículas.

De acuerdo con Elmore, la película anódica desempeña un

doble papel en el proceso de electropulido: en primer lugar, origina una fuerza contraelectromotriz y en segundo lugar, cuando esta alcanza un cierto valor, la película anódica limita la intensidad de la corriente que pasa a través del baño. Elmore sugiere que bajo estas condiciones se forma la porción horizontal de la curva I-V (Fig pag. 19 ). La intensidad de la corriente queda limitada por los procesos de la difusión. Las condiciones para la difusión desde las microproyecciones son considerablemente más favorables que desde los microfondos y este estado favorece la disolución de las microproyecciones y un aislamiento de la superficie del metal.

Quando los electrodos están colocados verticalmente, como es normal en la práctica, las condiciones para la difusión sufren un marcado cambio. Debido al fenómeno de convección, la capa anódica se mezcla con el resto del electrolito. Este complica el proceso de difusión que pasa aún a ser más complejo en aquellos casos en los que el electropulido va acompañado de desprendimiento de oxígeno.

La posibilidad de pasivación del ánodo en el curso de los procesos de electropulido ha sido discutida por muchos investigadores. V.I. Layner considera que la base del proceso del electropulido es una pasividad anódica localizada que se presenta como resultado de concentración de polarización. Tal pasividad, de acuerdo con Layner, se produce como resultado de

la película viscosa anódica del electrolito, que tiene una alta resistencia eléctrica, llenando los microfondos de la superficie, y así limita la disolución del metal en estas regiones. Las microproyecciones que no están protegidas o lo están en una menor extensión por la película anódica permanecen activas. La intensidad de corriente en estas últimas regiones es mucho mayor que la de las regiones cubiertas por la película anódica viscosa y como resultado la disolución en las primeras regiones será más rápida.

Así la película anódica visible se elimina como resultado de la formación en el ánodo, y por influencia del oxígeno que se produce, de una película invisible protectora.

A determinadas intensidades de corriente, la cantidad de disolución del ánodo empieza a ser mayor que la cantidad de difusión de los productos de la disolución en la masa del electrolito. Como resultado, se forma en la superficie del ánodo una capa de electrolito que contiene una más alta concentración de estos productos. Como consecuencia de la formación de esta capa, el potencial del ánodo pasa a ser mayor y disminuye el grado de disolución del metal. El potencial del ánodo alcanza valores en los cuales se hace posible la descarga de las moléculas de agua con la formación, como un producto intermedio, de iones de oxígeno con una sola carga. Estos últimos reaccionan con el metal del ánodo para la formación de óxido. Este proceso ocurre primeramente, a la

máxima velocidad, en las microproyecciones del ánodo.

Al quedar rebajadas las microalturas se forma una especie de pantalla que no permite a la corriente llegar a los microfondos. A medida que se reducen las microsaliencias, disminuye la velocidad de disolución de los microsaliencias y los microfondos, hasta que finalmente cesa por completo la nivelación.

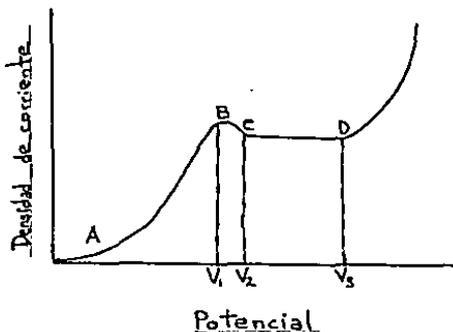
A.I. Levín considera posible que a cierto potencial de ánodo, en el cual se observa una vigorosa evolución del oxígeno, se forme una capa de óxido en la superficie del ánodo. Como resultado de la concentración de las líneas de fuerza de la corriente en las microproyecciones de la superficie del metal se produce allí un cambio de la tensión superficial de la capa, su rotura localizada y, por consiguiente, una intensa disolución del metal en estos puntos.

Varios investigadores han intentado determinar por difracción de electrones si está presente o no una capa pasivada en la superficie del metal electropulido. Sin embargo, los resultados que han conseguido no permiten ninguna conclusión definitiva. Se presume que el electropulido produce un especial microrrelieve en la superficie el cual no permite la obtención de un claro efecto de difracción de electrones.

La efectividad de la película es mejorada por el aumento

de la resistencia interna: por ejemplo, electrolitos que emplean ácidos cuyas sales son debilmente ionizadas, en formas complejas de sales.

La densidad de corriente y el voltaje están íntimamente relacionados en la producción del pulido. Al principio del proceso electrolítico, un aumento en el potencial está acompañado por un incremento casi proporcional en la intensidad de corriente.



La porción AB de la curva corresponde a la disolución normal del ánodo. La superficie del metal es mate y cualquier microirregularidad presente en él, no desaparece. El emplazamiento exacto del punto  $V_1$  depende en gran manera de la velocidad de incremento del potencial en la porción AB de la curva. Un insignificante incremento del potencial hacia  $V_2$  da como resultado una caída en la intensidad de corriente. A partir de este punto aún incrementando el potencial, la

intensidad de la corriente permanece prácticamente constante.

El espesor de la capa permanece constante sobre todo la porción CD de la curva. Se observa una suavización de las microasperezas en la superficie del ánodo. El metal adquiere un lustre brillante cuando el potencial se aproxima a V3. Un posterior aumento de la tensión lleva consigo un incremento en la intensidad de la corriente, acompañado de desprendimiento de oxígeno.

Jacquet considera que el electropulido comienza a un potencial correspondiente a V2, continúa cuando el potencial se incrementa de V2 a V3, con un incremento adicional en el potencial, acompañado de un incremento en la intensidad de corriente. El máximo brillo de la superficie se consigue cuando el tratamiento se efectúa a un potencial ligeramente inferior a V3.

El efecto de pulido, tal como la suavización de las microasperezas y la formación de una superficie brillante del metal, se puede explicar como consecuencia de la polarización del ánodo y la inmediata presencia en la superficie de este de una capa viscosa de electrolito, constituida de productos formados por el metal disuelto.

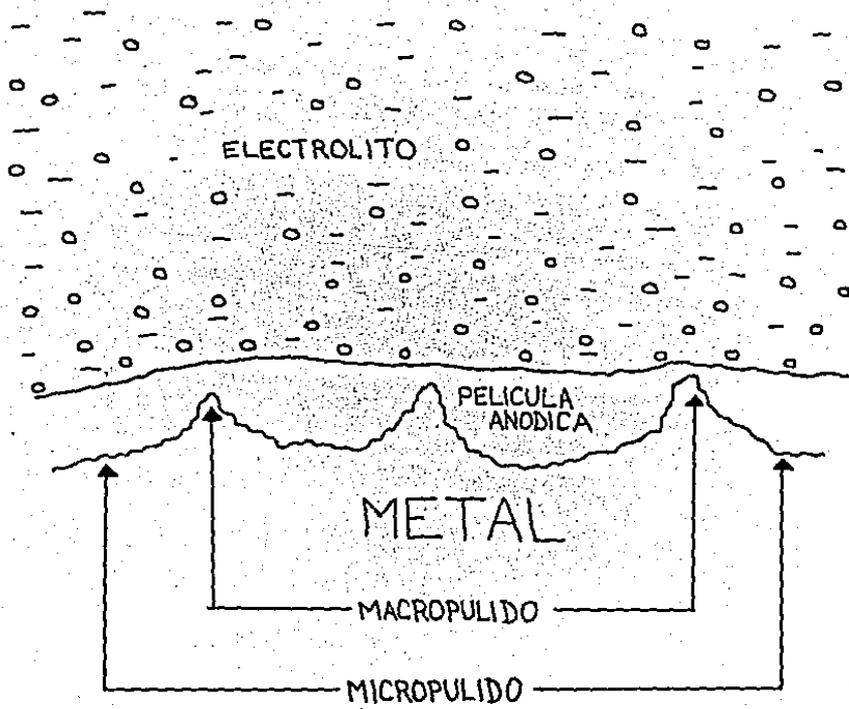
La capa del ánodo formada tiene una conductividad eléctrica menor que la del electrolito restante, se extiende paralelamente a la superficie del ánodo, de tal modo que su

espesor sobre los microfondos es mayor que su espesor sobre las microproyecciones. Da como resultado que la resistencia al paso de la corriente sea menor sobre las microproyecciones que por consiguiente se disolverán más rápidamente que los otros puntos de la superficie del ánodo. El resultado de este proceso, de acuerdo con Jacquet, es un alisamiento de la superficie del metal y como consecuencia un abrillantamiento del mismo.

La película anódica alcanza la máxima resistencia en las condiciones correspondientes al punto situado cerca de la segunda inflexión de la curva I-V a un potencial ligeramente más bajo que aquel el cual comienza la evolución del oxígeno. Este es el potencial que de acuerdo con varios investigadores corresponde a las mejores condiciones para el electropulido.

Aparte de esto, sin embargo, el pulido ocurre en un número de casos con un potencial mayor al de desprendimiento de oxígeno, es decir, más allá de la segunda inflexión de la curva I-V. Tales casos incluyen, en particular, el electropulido del acero en una solución de ácido ortofosfórico, sulfúrico y crómico. En este caso, la máxima resistencia determinada según la curva I-V, puede no corresponder a las condiciones óptimas de pulido.

La mayoría del electropulido se hace con corriente directa y con densidades de corriente entre los 50 y los 500 amp/pie cuadrado (0.0538 a 0.538 amp/cm cuadrado).



MECANISMO DEL  
ELECTROPULIDO

Además de la película, otros factores afectan el electropulido, incluyendo la agitación mecánica del ánodo, lo cual beneficia el adelgazamiento de la capa de difusión líquida y la disolución del óxido. Algunos baños funcionan propiamente sólo cuando son calentados. Un aumento en la temperatura disminuye la velocidad de neutralización e incrementa la velocidad de disolución de la película anódica.

El proceso ha sido empleado comercialmente desde hace más de 30 años, durante este tiempo se ha aumentado el conocimiento y ganado experiencia requiriéndose una más alta especialización por lo que el proceso básico, ha sido modificado para incluir:

a) Electrocoloreado.- Es un proceso de abrillantado similar al electropulido, donde el metal removido es usualmente mantenido en un mínimo. Requiere un mejor acabado superficial inicial que el electropulido y es usualmente más rápido.

b) Electroalisado.- Primeramente para alisar o nivelar, con densidades de corriente similares al electropulido. Usado en su mayoría sobre metales ferrosos; el abrillantado en este caso, es incidental.

c) Electrograbado.- La mayoría de las veces aplicable en las artes gráficas para grabar placas con nombres. Comparativamente es un proceso lento. Utiliza densidades de corriente menores que las del electropulido.

d) Electrodo bastado.- Es básicamente lo mismo que el electropulido, sin embargo, en vez de utilizar densidades de corriente entre 50 a 500 amp/pie cuadrado (0.0538 a 0.538 amp/cm cuadrado) requiere entre 500 a 2000 amp/pie cuadrado (0.538 a 2.152 amp/cm cuadrado).

e) Electromaquinado.- Requiere densidades de corriente mayores, entre 1000 a 1500 amp/pulg cuadrada (155 a 232.5 amp/cm cuadrado). Las piezas electromaquinadas no son procesadas en tanques sino que usualmente requieren que el electrolito sea bombeado bajo presión. Se necesita de un conformado especial del cátodo. Existe una rápida remoción de metal.

El electropulido continuo de barra y alambre ha sido empleado comercialmente por más de una década en Estados Unidos. Alambre con varios cientos de pies, ha sido adelgazado uniformemente con una tolerancia de 0.0001 pulgadas (0.00254 mm).

#### Operaciones y técnicas

Las condiciones de la superficie sin hacer caso del metal, determinan en gran medida el grado de éxito en el electropulido.

Los principales factores que contribuyen para no obtener

resultados satisfactorios son: tamaño de grano grande, estructura no uniforme, inclusiones no metálicas, marcas direccionales del rolado, sales o costras de contaminación e insuficiente o excesiva reducción en frío.

La limpieza es esencial para mejorar los resultados. Varios métodos pueden ser empleados como son: remojado, electrolimpiado y desgrasado con vapor o solvente. Muchas veces la combinación de estos métodos es utilizada, dependiendo del tipo de mancha o suciedad.

El grado de limpieza anterior al electropulido, no importa mucho para manchas de calor o de aceites, pero sí en las producidas por sustancias como pigmentos, ya que si no son completamente removidas pueden dar como resultado un acabado no uniforme, con bordes.

Las costras son removidas generalmente por salmueras, baños de sal de descañado o por chorro seco o húmedo. Estos métodos pueden ser utilizados en la producción de interesantes texturas en el electropulido.

Las películas de grasa y aceite que no fueron removidas durante el proceso de limpieza, son gasificadas en el electropulido, formando una capa en la superficie de la solución. Esta nata se extrae para prevenir fallas en el pulido, debido a su adhesión a las partes que están siendo sumergidas en la solución de electropulido, especialmente

cuando están secas. Un buen enjuagado, después del remojo de del electrolimpiado, evita llevar a la solución de electropulido: alcalinidad, agentes humectantes y otros posibles contaminantes.

El electropulido es en gran parte similar a los procesos de galvanoplastia. Sin embargo, debido a que el metal es removido en vez de depositado, las partes que están siendo procesadas son hechas anódicas o positivas, por lo que los ánodos de la electrodeposición, pasan a ser negativos y son llamados cátodos.

Las piezas que van a ser electropulidas son arregladas de manera tal que permitan que esté la mayor area posible expuesta paralelamente a los cátodos. La relación de areas del cátodo con el ánodo debe ser al menos dos a uno. No es recomendable usar un tanque forrado de plomo como cátodo.

El ánodo o varilla de trabajo esta en el centro del tanque, paralela a las varillas del cátodo. La distancia entre el ánodo y el cátodo va desde unos centímetros hasta casi un metro. Una pequeña distancia entre el ánodo y el cátodo, no se recomienda debido a que la mayor acción del electropulido es en los puntos de más alta densidad de corriente, por lo que el mejor acabado se obtiene con una mayor distancia dentro de límites razonables. Es importante hacer notar que una gran distancia entre el ánodo y el cátodo requiere de un voltaje mayor.

Los cátodos pueden ser hechos de grafito, acero inoxidable, cobre o de preferencia de plomo. Se debe tener cuidado de que el gas no quede atrapado en cavidades de los objetos que se electropulen, ya que el pulido no ocurrirá si existen bolsas o burbujas de gas. En estos últimos casos, es necesario construir cátodos especiales similares a los que encontramos en la práctica de cromado.

Las corrientes dispersas pueden dañar seriamente los tanques a menos que se tomen ciertas precauciones. El trabajo no debe ser más cercano al lado o al fondo del tanque, que la distancia del trabajo al cátodo. Esto puede ser eliminado insertando paneles de vidrio a lo largo de las paredes del tanque (inclusive del fondo).

Las colgaderas son preferentemente construidas de cobre, debido a su alta conductividad. Las puntas pueden ser hechas de cobre, latón o bronce fosforado; naturalmente la porción de las puntas expuestas, son materia de ataque y gradualmente disminuyen en dimensión. El tantalio o el titanio, a pesar de su costo, pueden ser justificados para producciones a gran escala, debido a que no son atacados y no requieren mantenimiento. La vida de las puntas para colgar puede ser aumentada si son recubiertas por un proceso de galvanoplastia. Todas las porciones de la colgadera que no están en contacto con la pieza que va a ser pulida, pueden ser aisladas con una cubierta.

Las colgaderas deben ser diseñadas con suficiente área de sección transversal, para resistir el amperaje requerido. Estas, deben hacer un contacto positivo con la pieza que esta siendo electropulida o las partes no recibirán la densidad de corriente necesaria con la posibilidad de hacer arco. Los objetos de poco peso no pueden ser electropulidos satisfactoriamente en ganchos de tipo "J", debido a la densidad de la solución y a la acción del gas, el cual provoca un efecto de "levantamiento".

El abastecimiento de calentamiento o enfriamiento debe ser proporcionado a las soluciones para electropulir dependiendo del tipo. Un equipo automático de regulación de temperatura es lo más conveniente debido a que todas las soluciones tienen un rango definido de operación. El enfriamiento se obtiene a través de agua o de refrigeración por medio de serpentines, placas, chaquetas o intercambiadores de calor.

Como fuentes de calentamiento podemos utilizar: vapor a través de serpentines, calentadores de inmersión eléctricos y por medio de fuego directo bajo el fondo del tanque; sin embargo, se debe tener cuidado para que la disipación del calor sea uniforme en la mayor área posible. Estos equipos pueden ser construidos en plomo, tantalio o acero inoxidable 316. Para escoger el equipo adecuado debe considerarse el tipo de solución usada principalmente por su resistencia a la corrosión.

La mayoría de las soluciones de electropulido tienen una alta resistencia eléctrica, por consiguiente, un efecto de calentamiento es posible. Este efecto es determinado por la capacidad del tanque, el área que está siendo procesada y la densidad de corriente. Ocasionalmente, este efecto compensa parcial o completamente la necesidad de calentamiento externo dependiendo del rango de temperatura requerido.

Cuando las piezas están siendo electropulidas ya sea en ciclos largos de tiempo o con altas densidades de corriente la agitación es recomendable, debido a que tiende a eliminar las líneas de gas producidas por el oxígeno; y a remover la materia quemada por las altas densidades de corriente obteniéndose un mejor acabado a causa de que una nueva solución reemplaza a la película de electropulido saturada. La agitación se puede aplicar por medios mecánicos en la varilla de trabajo o por agitación de la solución ya sea por medio de propelas o por aire. El volumen del aire debe ser controlado y uniforme para prevenir la destrucción de la película anódica.

Los acabados desde el satén al acabado espejo son producidos controlando las variables: tiempo, temperatura y densidad de corriente. Baja temperatura con un corto tiempo de inmersión producirá acabados similares al satén. Acabados más brillantes se obtienen aumentando el tiempo, la temperatura y la densidad de corriente.

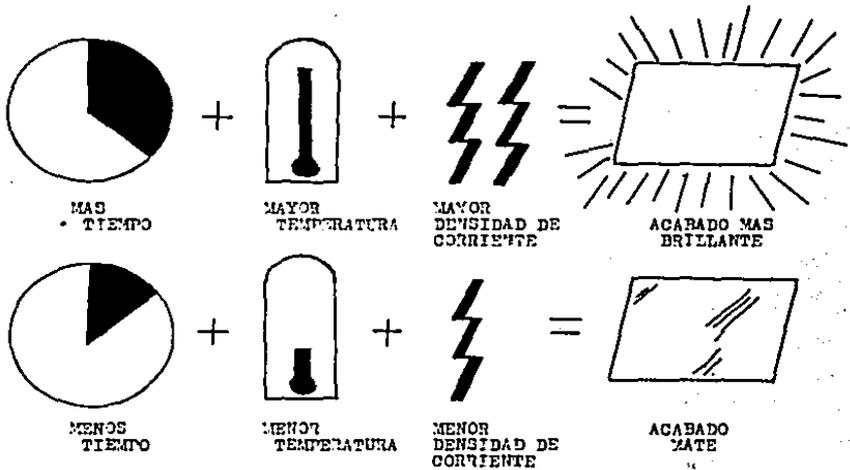
Tres tipos de electrolitos: alcalinos, cianuros y ácidos

son usados para varios metales y aleaciones. En el caso del acero inoxidable, el níquel y aleaciones de cobre, los electrolitos de ácido fosfórico son los más conocidos.

Las soluciones de electropulido basadas en cianuros o en baños con componentes de cromo, halógenos u otros materiales nocivos requieren campanas de extracción o escapes laterales análogos a los utilizados en el electrodepositado. En el tipo de soluciones de ácido fosfórico concentrado, una ligera brisa es liberada pero esta no es peligrosa.

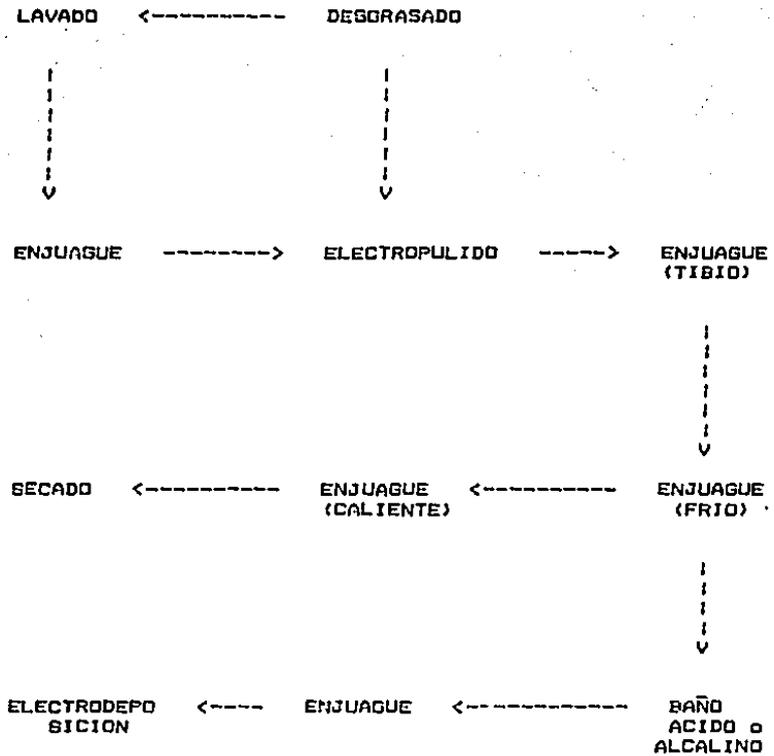
Las piezas después de haber sido electropulidas son enjuagadas de varias maneras ya sea por enjuague a base de espumas o por remojado. En el caso del remojado es benéfico que se agite especialmente cuando se utilizó como electrolito alguna solución ácida. También para este tipo de soluciones, un enjuagado más completo y más rápido se obtiene si se utiliza agua caliente o tibia en lugar de fría. Los enjuagues que siguen inmediatamente al electropulido llegan a ser fácilmente contaminados necesitando un sobreflujo o un cambio periódico. Deben evitarse enjuagues a altas temperaturas.

Una inmersión ácida o alcalina es especialmente utilizada para prevenir la aparición de una película lechosa u opaca en la pieza secada. Esta inmersión, también es un medio de neutralización de los residuos peligrosos. Este proceso se utiliza en piezas que van a ser electrodepositadas posteriormente, y se aplica a temperatura ambiente.



EL GRADO DE ACABADO SUPERFICIAL, ESTA DETERMINADO POR LAS CONDICIONES SUPERFICIALES EXISTENTES Y ES CONTROLADO PRINCIPALMENTE POR EL TIEMPO, LA TEMPERATURA Y LA DENSIDAD DE CORRIENTE.

DIAGRAMA DE FLUJO



El enjuague final con agua, remueve contaminantes de los ciclos previos, este enjuague debe ser cambiado frecuentemente. Si no va a haber tratamientos posteriores, se recomienda usar enjuagues calientes para secar el trabajo rápidamente. Con este paso se termina el proceso de electropulido.

A continuación se enumeran las fórmulas más usadas para el electropulido de acero inoxidable:

C.P. Madson

Acido fosfórico .....	75-100X
Agua .....	0-25X
Amp/pie cuadrado .....	300
Temperatura .....	150 F - (65.5 C)

H. Uhlig

Acido fosfórico y glicerina .....	90%
Glicerina .....	mayor a 50%
Amp/pie cuadrado .....	mayor a 20
Temperatura .....	mayor a 200 F - (93.3 C)

I. Ostrofsky

Acido cítrico .....	55%
Acido sulfúrico .....	15%
Amp/pie cuadrado .....	100 mínimo
Temperatura .....	200 F - (93.3 C)

C. Faust

Acido sulfúrico .....	15%
Acido fosfórico .....	63%
Amp/pie cuadrado .....	50 mínimo
Temperatura .....	80-175 F (26.6-79.4 C)

### I. Clingan

Acido fosfórico .....	56%
Acido sulfúrico .....	27%
Dietilén-glicol-monobutil-eter .....	7%
Temperatura .....	125-165 F (51.6-73.8 C)

### Heisberg y Levin

Acido láctico .....	33%
Acido fosfórico .....	40%
Acido sulfúrico .....	13.5%
Amp/pie cuadrado .....	75-300
Temperatura .....	140-200 F (71-93.3 C)

### C. Faust

Acido fosfórico .....	56%
Acido crómico .....	12%
Amp/pie cuadrado .....	100-1000
Temperatura .....	80-175 F (26.6-79.4 C)

### A. Field

Acido nítrico .....	70%
Acido acético .....	30%
Amp/pie cuadrado .....	75 mínimo
Temperatura .....	75 F máximo (23.8 C)

### J. Kreml

Acido sulfúrico .....	10-60%
Acido glicólico .....	20-80%
Amp/pie cuadrado .....	150 mínimo
Temperatura .....	175-212 F (79.4-100 C)

En este último proceso, se utiliza corriente alterna. El electropulido ocurre en la mitad positiva del ciclo.

En la última década se ha enfatizado en el uso de agentes

de naturaleza orgánica en los electrolitos de ácidos concentrados. Estos materiales reducen varias desventajas encontradas en soluciones con ácidos en estado puro como son: la excesiva densidad de corriente, un angosto rango de operación, pobre poder de desprendimiento de material, largos ciclos de inmersión, ataque químico, manchado y dificultad en la obtención de brillantes.

Con el conocimiento de la importancia que tiene el acabado superficial, para todos los procesos industriales con características sanitarias, se han ido desarrollando a lo largo del siglo un sinnúmero de pruebas para estudiar y comparar los diferentes tipos de acabado.

En el presente capítulo mostramos un resumen de las pruebas más representativas, para poder comparar y obtener las ventajas y desventajas existentes entre los diferentes tipos de superficies.

#### Detención de líquido

El "detenido del líquido" puede ser definido como la retención de líquido en una planta después de haber sido drenada. La Federación de Manufactura de Alimentos y la Asociación Técnica de Maquinaria Alimenticia (1967), recomiendan en sus principios higiénicos de diseño que todas las superficies interiores en contacto con el producto deben ser autodrenadas, minimizando por consiguiente la detención del producto, debido a que entre menos material queda, será más fácil su limpieza reduciendo el costo por este concepto.

Un estudio fundamental del efecto de la rugosidad sobre la detención del producto, puede ayudar en la selección del

acabado superficial más adecuado.

- Métodos del experimento:

a) Equipo de pruebas: Consiste esencialmente de ocho piezas de prueba de acero inoxidable, las cuales pueden ser mantenidas individualmente sobre un plano inclinado regulable. El agua o la sacarosa en solución puede ser recirculada sobre las placas por dos unidades de recirculación.

b) Medición de la rugosidad superficial: La medición de cada placa se hizo a través y a lo largo de la misma.

c) Preparación de las piezas de prueba: El siguiente procedimiento fue utilizado para preparar las piezas antes de cada experimento:

- 1.- Remojado en agua de la llave.
- 2.- Lavado con solución caliente (70-80°C) de metasilicato de sodio 95% y polifosfato de sodio, usando una brocha suave de nylon.
- 3.- Enjuagado en agua de la llave.
- 4.- Enjuagado en frío con ácido nítrico al 50%.
- 5.- Enjuagado en agua desmineralizada.
- 6.- Secado con toallas de papel y almacenado con papel.
- 7.- Desengracado inmediato antes de usarse con tricloroetileno.

d) Estudio visual y fotográfico: El agua fue recirculada sobre la pieza durante 5 minutos con un gasto de diez litros/minuto, después se removió la unidad de recirculación y se permitió el drenado de la película líquida. El drenado del líquido fue estudiado visual y fotográficamente para las ocho piezas. Las fotografías fueron tomadas en intervalos de tiempo conocidos durante todo el periodo de drenado.

#### Detención de la solución de sacarosa al 21%

La solución de sacarosa (20%  $\pm$  0.5%) fue recirculada por cinco minutos con un gasto de 10 litros/minuto, con una temperatura mantenida de 20 °C ( $\pm$  1 °C). El equipo de recirculación fue removido y se permitió el drenado por 10 minutos. Un segundo equipo de recirculación fue montado con 15 litros de agua y la solución de sacarosa remanente enjuagada con la recirculación del agua durante 10 minutos. La concentración de sacarosa en la solución original fue determinada midiendo el índice refractivo usando un refractómetro. La cantidad de sacarosa contenida en el agua de enjuagado fue determinada por el método del ácido fenol-sulfúrico.

La retención fue determinada para cuatro acabados superficiales: mate, brillante, electropulido y desbastado; con dos direcciones de grano o de rayado ( a lo largo de la dirección del flujo longitudinal; o a través de la dirección

del flujo cruzado) en cinco ángulos de drenado. La retención fue calculada de la cantidad de agua para enjuagar, la concentración de sacarosa en la solución original y en el agua de enjuagado.

#### -Resultados y discusión.

La tabla I da la línea de centro promedio de rugosidad en micrómetros Ra, para ocho piezas probadas. Este es el compendio de veinte lecturas tomadas.

El acabado electropulido aparece como la superficie más rugosa medida por el valor Ra, pero se debe recordar que este valor es una medida solamente del promedio de amplitud de las irregularidades independientemente de su frecuencia y su forma.

Dos superficies pueden tener el mismo valor Ra pero la naturaleza de una puede ser protuberante con una serie de irregularidades superficiales ondulantes, mientras la otra puede tener un perfil más dentado.

Considerables diferencias pueden ser observadas entre los valores Ra de las dos piezas con acabado brillante. Esto ilustra que el valor Ra de un material dado puede variar relativamente dentro de amplios límites.

Langevald (1972) mostró el rango considerable de valores Ra para placas del mismo acabado nominal de diferentes

fabricantes.

TABLA I

Acabado superficial	Valores de Ra' (um)	
	longitudin.	transversal
Pulido espejo rayado longitudinal	0.025-0.05	0.125-0.175
Pulido espejo rayado transversal	0.075-0.125	0.225-0.3
Pulido mate rayado longitudinal	0.075-0.125	0.2-0.3
Pulido mate rayado transversal	0.075-0.135	0.2-0.3
Electropulido rayado longitudinal	0.25-0.325	0.35-0.45
Electropulido rayado transversal	0.25-0.35	0.35-0.45
Desbastado rayado longitudinal	0.625-0.0875	0.115-0.165
Desbastado rayado transversal	0.0625-0.0875	.0875-0.125

Muy pocos fabricantes desean conocer la figura del acabado superficial, confiándose en un termino general descriptivo a la apariencia visual o al método de producción. Debe tenerse cuidado en las variaciones del valor Ra con el mismo acabado nominal para la aplicación e interpretación de resultados.

El resultado visual y fotográfico del drenado de agua sobre las ocho piezas probadas, demostró que el acabado superficial tuvo un efecto en la "detención". La siguiente lista muestra los resultados del mejor al peor:

- 1.- Pulido brillante (espejo)
- 2.- Electropulido
- 3.- Desbastado
- 4.- Acabado mate (No.1)

La dirección del grano o rayado, parece tener un efecto en

la manera en la cual el agua es drenada de la superficie, particularmente para la superficie con acabado mate donde el rayado fue muy pronunciado, el drenado tiende a tener lugar a lo largo de la dirección del grano. Diez minutos fueron seleccionados como el tiempo de drenado estandar para ser utilizado en todos los experimentos, debido a que después del mismo, el drenado había cesado por completo, efectivamente, en todas las superficies.

Los estudios visuales y fotográficos demostraron la posible importancia del acabado superficial y la dirección del grano para la retención; además la necesidad de futuros estudios cuantitativos. La tabla II muestra los gramos de la solución de sacarosa sobre ocho superficies de acero inoxidable en cinco ángulos de drenado.

El efecto del acabado superficial fue encontrado altamente significativo estadísticamente, pero no se encontró correlación entre el valor  $R_a$  y la retención del producto.

Los resultados confirman las observaciones de los estudios fotográficos y visuales, es decir, que el pulido mate tiene la mayor retención, el desbastado la siguiente y el abrigantado y el electropulido las menores.

TADLA II

Efecto del ángulo de drenado y el acabado superficial en la detención (solución de sacarosa al 21 %).

ACABADO SUPERFICIAL	ANGULO DE DRENADO				
	.46	.92	1.9	2.6	3.7
<b>Pulido mate rayado transversal</b>					
Corrida 1	71.2	45.4	37.7	25.9	23.1
Corrida 2	68.5	43.3	25.3	24.9	25.6
Corrida 3	62.8	47.0	28.4	30.3	25.4
Promedio	67.5	45.2	30.5	27.0	24.7
<b>Pulido mate rayado longitudinal</b>					
Corrida 1	67.5	46.7	32.5	31.1	23.1
Corrida 2	71.9	38.3	29.9	25.0	23.8
Corrida 3	58.1	38.2	26.6	25.8	34.5
Promedio	65.8	41.1	29.7	27.3	27.1
<b>Desbastado rayado transversal</b>					
Corrida 1	61.5	39.5	24.6	26.6	21.5
Corrida 2	67.6	49.5	25.0	20.7	9.1
Corrida 3	60.8	34.8	22.7	24.9	23.6
Promedio	63.3	41.3	24.2	24.1	18.1
<b>Desbastado rayado longitudinal</b>					
Corrida 1	38.7	43.7	20.7	25.3	19.4
Corrida 2	45.6	36.2	24.7	18.6	18.5
Corrida 3	50.0	36.4	28.5	15.8	21.7
Promedio	44.8	38.8	24.6	19.9	19.9
<b>Electropulido rayado transversal</b>					
Corrida 1	22.1	12.6	6.3	13.3	7.3
Corrida 2	26.8	14.7	8.0	6.4	8.2
Corrida 3	17.6	16.6	12.0	4.4	6.9
Promedio	22.2	14.6	8.8	8.0	7.5
<b>Electropulido rayado longitudinal</b>					
Corrida 1	40.1	19.4	13.4	12.2	10.6
Corrida 2	28.3	16.0	10.8	9.4	8.3
Corrida 3	23.5	11.9	15.4	7.6	12.2
Promedio	30.6	15.8	13.2	9.7	10.4
<b>Pulido espejo rayado transversal</b>					
Corrida 1	36.1	33.1	7.5	12.3	14.9
Corrida 2	16.0	10.0	15.4	6.0	5.4
Corrida 3	42.8	19.1	18.3	8.7	6.3
Promedio	31.6	20.7	13.7	9.0	8.9
<b>Pulido espejo rayado longitudinal</b>					
Corrida 1	33.8	33.8	8.2	18.2	8.4
Corrida 2	16.8	36.1	11.9	14.3	7.7
Corrida 3	13.8	42.8	8.2	8.6	8.5
Promedio	21.5	37.6	9.4	13.7	8.2

Wenzel (1936), fué quizá el primero en examinar los efectos de la rugosidad superficial sobre una pieza húmeda y sugirió que para una superficie rugosa existía más área superficial que para una superficie tersa y en el mismo sentido existía una mayor intensidad de energía superficial. Esta suposición aunque no explique la histéresis del ángulo de contacto, podría significar que la superficie con el valor Ra más grande (electropulido) podría ser "mojada" más fuertemente y retener más líquido que las superficies con menor valor Ra.

Bikerman (1950), estudió el deslizamiento de gotas de agua en varias superficies y encontró que la inclinación requerida para remover la gota a lo largo de la superficie, aumentaba con el aumento del valor Ra.

Aunque esto podría parecer en un principio, estar en desacuerdo con los resultados presentados aquí, esto indica que el acabado superficial es importante. El drenado del líquido en este experimento fue en la forma de una partícula más que en forma de gotas.

Bikerman también estudió el ángulo de contacto del agua contra varios acabados en acero inoxidable y es interesante hacer notar que aunque él pensó que las diferencias encontradas fueron pequeñas y sin importancia, la superficie con pulido No. 4, tuvo el menor ángulo de contacto y por consiguiente se hubiera esperado que fuera la superficie más problemática o difícil para remover el líquido remanente.

Bikerman (1957), sugirió que las diferencias en el "mojado" entre varias rugosidades superficiales pudieran ser explicadas en términos de capilaridad. Cada onda en una superficie rugosa es análoga a un tubo capilar; si sus paredes son humedecidas, el líquido se alza o se esparce en ellas. Si el ángulo de contacto es mayor de 90°, el menisco, (concauidad o convexidad que forma la superficie de un líquido contenido dentro de un tubo) es abatido y el líquido se contrae. Entre más grandes y más empinadas sean las ondas y más frecuentemente se encuentren, mayor esparcimiento capilar habrá. Esta teoría indica que no solamente la rugosidad superficial evaluada por el valor Ra es importante sino también la configuración de la superficie.

Bartell y Shephard, en su estudio con bloques de parafina, demostraron que no era la altura de las asperezas lo que era importante en la retención de líquidos sino la inclinación de los lados de las asperezas.

TABLA III

Angulo de contacto del agua sobre varios acabados superficiales en acero inoxidable (Bikerman, 1950).

ACABADO SUPERFICIAL No.	ANGULO DE CONTACTO
1 (el mas rugoso)	89
2D	81
2B	91
4	60
6	70
7	87

Una conclusión similar fue alcanzada en un estudio teórico por Erick (1973) quien encontró que la inclinación (pendiente) de las asperezas era un factor importante para determinar el equilibrio efectivo del ángulo de contacto. Cuando el ángulo de inclinación de las asperezas aumenta con respecto a la horizontal, el ángulo de contacto de histéresis aumenta, disminuyendo la facilidad de drenado.

Se debería esperar, de los trabajos anteriores, que la superficie que tuviera las asperezas con el menor ángulo de inclinación con la horizontal (electropulida) sería la más difícil de "mojar" y por consiguiente retendría el mínimo de material o producto después del drenado y aquellas superficies con ángulos mayores de inclinación en las asperezas tendrían la mayor retención. (PORQUE ENTONCES EL ACABADO ABRILLANTADO O ESPEJO TENIA CONSIDERABLEMENTE MENOR RETENCION QUE LOS OTROS ACABADOS MECANICOS, CUANDO DEBIA ESPERARSE QUE TUVIERA EMPINADOS LADOS EN LAS ASPEREZAS ? ).

Esto puede ser explicado por los resultados de Bertell y Shephard, quienes notaron que para asperezas verticales muy finas, el ángulo de contacto era incrementado a 180, lo que dificultaba remover el aire que se encontraba en la onda fina.

Daufin (1977), encontró que la orientación de la dirección del grano relativa al flujo, tenía un efecto en la retención bacteriana. Después de limpiar un tanque de 650 litros, el conteo de bacterias fue mayor cuando la dirección del grano

fue horizontal.

Aunque la dirección del grano parece tener un pequeño efecto en la limpiabilidad y detención del producto, no sería costeable la fabricación del equipo con la orientación del grano en una dirección particular.

Los resultados de las investigaciones aquí presentadas sugieren que la gran inversión que se destina para lograr el acabado requerido en la industria alimenticia por medio del pulido mecánico no se garantiza, el electropulido puede proveer el método más efectivo a menor costo para el acabado de la mayoría de las superficies que entran en contacto con el alimento.

#### Efectos pasivos

Pruebas realizadas por la NASA condujeron a determinar los efectos pasivos de la solución de electropulido sobre el acero inoxidable, mostrando que este tratamiento aumenta la pasividad de este metal sobre aquellos métodos convencionales de pasivación. Piezas de acero inoxidable 321, contaminadas y después tratadas por varios métodos, fueron expuestas aproximadamente 560 horas en un medio ambiente salino. Todas las piezas tratadas convencionalmente (ácido nítrico a varias temperaturas y concentraciones) mostraron una considerable cantidad de oxidación después de ocho horas y fueron removidas

de la prueba, mientras que las piezas electropulidas no mostraron ningún cambio hasta las 40 horas. En este punto, una ligera mancha se observó en el centro de las piezas y después de 146 horas empezó la oxidación. Durante el curso de este estudio la prueba fue repetida con excepción de algunas variaciones en los tratamientos de ácidos convencionales. En el experimento repetido, todas las piezas fueron expuestas por aproximadamente 750 horas, y otra vez, las piezas electropulidas mostraron considerablemente menor oxidación que las piezas que fueron pasivadas por medios convencionales.

Ventajas

La más obvia ventaja en el electropulido es el gran ahorro de tiempo, el cual puede ser trasladado directamente al costo. Normalmente el electropulido es una operación corta, el promedio de operación fluctúa entre 4 a 8 minutos durante todo el ciclo, el cual comprende: limpiado, electropulido y enjuagado. Además del corto tiempo de duración del proceso, muchas piezas pueden ser procesadas simultáneamente. Los resultados son consistentes debido a la facilidad con la que se pueden controlar las variables: tiempo, temperatura y densidad de corriente. Operadores altamente calificados no son necesarios, y el rechazo de piezas es más difícil que ocurra.

Se ahorra trabajo cuando las piezas son electropulidas y después electrodepositadas. El trabajo de desbaste y limpieza es simultáneo. La limpieza anterior al proceso de galvanoplastia, necesaria con otros métodos de acabado no elimina si se electropulido primero. También cuando el electropulido precede a la galvanoplastia, la adhesión de depósitos es mejorada en algunos casos.

El electropulido generalmente reduce el valor de micropulveres de un acabado superficial particular donde un

33% hasta un 66%. Este mejoramiento de rugosidad no es siempre constante debido a variables que influyen antes de que se efectúe el electropulido.

Los registros que se han ido llevando a lo largo de los años demuestran que si se aplica el electropulido después de un pulido mecánico, el acabado mejora notablemente. A continuación se mencionan algunos acabados mecánicos con electropulido posterior:

Acabado #1 - Electropulido=Acabado con No. de grano	80/100
Pulido No. grano 80 - Electropulido = Acabado con No. de grano	150/180
Pulido No. grano 120 - Electropulido=Acabado con No. de grano	220/240
Pulido No. grano 180 - Electropulido=Acabado con No. de grano	280/320.

El mejoramiento de acabados superficiales por medio de abrasivos se vuelve cada vez más costoso, debido a los numerosos pasos requeridos. Alternativamente, el costo del electropulido permanece prácticamente constante.

El electropulido puede eliminar uno o más pasos de acabado, sin aumentar el costo final (en algunos casos lo reduce), proporcionando un acabado superior. Cuando se aplica un acabado de electropulido, generalmente aumenta la productividad de un 15% a un 30%, debido a la rapidez del

proceso.

Otra ventaja del electropulido sobre otros métodos de acabados superficial, es su versatilidad para ser utilizado en el pulido de piezas con formas complejas, en el pulido de interiores o de piezas extremadamente pequeñas; por otro lado se pueden electropulir piezas de peso y tamaño no usual. En pocas palabras puede hacer lo que por otros medios es imposible o en su defecto muy costoso de hacer.

Si recordamos que las bacterias miden de 0.3 a 40  $\mu\text{m}$ , y tomamos en cuenta la inherente falta de uniformidad de los procesos mecánicos manuales con que se producen las superficies sanitarias, no consideramos correcto conformarnos con esta calidad de acabado.

Una superficie sanitaria es engañosa por naturaleza, ya que la acción mecánica del pulido que la produce, no solo involucra una remoción, sino también el flujo superficial de metal.

Este fenómeno crea pliegues que no son detectables a simple vista y pasan desapercibidos cuando se inspecciona la superficie con rugosímetros, por consiguiente, las asperezas y marcas superficiales son sitios colectores de focos de infección, ya que pueden alojar monómeros (glucosa, aminoácidos etc) o colonias de bacterias (bacilos, cocos, etc). Cuando hay estancamiento de monómeros, la polimerización comienza ya que

otros monómeros se unen y crecen. Por medio del electropulido desaparecen estos pliegues dejando una superficie tersa y libre de cavidades.

El enlace que tiene lugar entre una superficie metálica y una película protectora o revestimiento es debido al enlace mecánico primeramente creado por la aspereza superficial y después por el enlace polar, causado por una reacción química del revestimiento de la superficie metálica. Cuando se aplica el electropulido, este enlace es reducido o aliviado debido a la reducción de las asperezas superficiales, formandose una superficie metálica pasiva e inerte ya que han sido removidos los centros activos que inician el enlace polar.

Por esta razón la resistencia a la corrosión aumenta como quedo demostrado en el experimento realizado por la NASA.

El coeficiente de fricción superficial es reducido significativamente. Como resultado hay menos fricción y por consiguiente menos "desgaste". Por tal motivo podemos decir que una superficie electropulida producida propiamente tendrá un acabado permanente (durable por muchos años) y no es comunmente asunto para degradación en uso normal a menos que sea por abuso físico descuidado, así como una raspadura enérgica o por ataque químico más allá de la resistencia corrosiva del mismo metal.

Las propiedades de anti-adherencia y escape son superiores

a superficies producidas mecánicamente. Esto es debido principalmente al tipo de rugosidad que se obtiene mediante el electropulido. Sobre este punto se han realizado gran número de experimentos que respaldan esta afirmación.

Como consecuencia de las propiedades anteriormente citadas es fácil deducir que la frecuencia y el tiempo de limpieza del equipo o las piezas electropulidas se reduce considerablemente con lo que disminuye de manera notoria el costo de mantenimiento del equipo.

#### Aplicaciones

Por las características mismas del proceso y por todas las ventajas que presenta, sus aplicaciones son innumerables.

Si tomamos como campos de aplicación el visual y el funcional o industrial, podemos dividir las aplicaciones de la siguiente manera:

##### A) VISUAL :

- Nivelado (uniformidad)
- Pulido o abrillantado
- Reflejo superior
- Proposito de inspección

**B) FUNCIONAL:**

- Remoción de asperezas (desbaste)
- Control de tamaño
- Adhesión en la electrodeposición
- Resistencia a la corrosión
- Vida de fatiga
- Electromaquinado
- Mejoramiento en la rugosidad

Además se puede aplicar para procesos y productos químicos tales como:

- A.B.S.
- P.V.C.
- Nylon
- Poliésteres
- Elastómeros
- Poliestireno
- Polietileno
- Polipropileno

También puede ser aplicado en equipo como:

- Reactores
- Tanques
- Autoclaves

- Marmitas
- Agitadores
- Flechas
- Tuberia
- Valvulas
- Conexiones
- Bombas
- Condensadores
- Intercambiadores de calor
- Evaporadores
- Serpentes
- Centrífugas
- Transportadores
- Secadoras
- Filtros
- Pasteurizadoras
- Mezcladoras

A nivel industrial, tiene un gran campo de acción porque puede ser empleado en industrias que requieren de un acabado superficial específico ( por ejemplo, acabado sanitario ) tales como:

- Alimenticia
- Química
- Nuclear

- Farmacéutica.
- Papelera
- Refresquera

Como se puede notar, sería inacabable la lista de aplicaciones que tendría el electropulido; esto demuestra el gran campo de acción que tiene este proceso a nivel industrial.

Generalidades

Para poder evaluar las ventajas económicas de un método sobre otro, debemos de tomar en cuenta todos los factores que influyen dentro del proceso de fabricación de una pieza que requiera un acabado superficial determinado. Para tal efecto, se puede tomar como ejemplo una abrazadera, cuya función es la de unir dos ferrulas especiales, conocidas en la industria sanitaria con el nombre de ferrulas "clamp". Este tipo de junta es muy utilizada en la industria alimenticia en general por su facilidad para armar y/o desarmar una línea, lo cual facilita la limpieza de la misma. Por ser utilizada esta pieza en la industria alimenticia y algunas veces hasta en la farmacéutica, requiere de un acabado superficial del No. 4 o sanitario, necesitando forzosamente de un proceso de pulido en su manufactura.

Evaluación de costos proceso mecánico o convencional

A continuación se enumera de una manera breve como se distribuye el costo de fabricación de una abrazadera de 1 1/2 pulg. (37 mm).

De acuerdo a los datos tomados en la fábrica Productos  
 Manufacturados Inoxidables S.A. de C.V. en Marzo de 1986, se  
 tienen las siguientes tablas:

TABLA I

Medida	1 1/2"
Materia prima directa	\$ 9 474
Materia prima indirecta	\$ 1 784
Total materia prima	\$11 258
Mano de obra	\$ 3 500
<b>TOTAL</b>	<b>\$14 758</b>

TABLA MATERIA PRIMA DIRECTA

DIRECTA	1 1/2"
Abrazadera (2 semicuerpos)	\$7 469
Redondo 5/16 25 g.	\$ 500
Redondo 3/16 3 g.	\$ 105
Maripoca	\$1 400
<b>SUMA:</b>	<b>\$9 474</b>

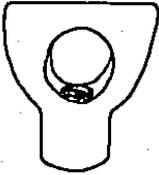
TABLA MATERIA PRIMA INDIRECTA

INDIRECTA	1 1/2"
Pulido con polvo (220 g.)	\$ 859
Satinado (120 g.)	\$ 656
Abrillantado (15 g.)	\$ 68
Otros	\$ 200
SUMA	\$ 1 784
TOTAL MATERIA PRIMA	\$11 258

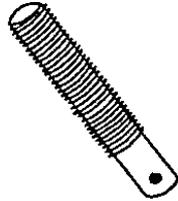
Si observamos en esta tabla, de la materia prima indirecta casi el 90% se debe al proceso de pulido mecánico, que en dinero es \$1 584.

Para poder entender mejor las siguientes tablas es necesario que conozcamos las piezas que forman la abrazadera. El siguiente dibujo la muestra desarmada con los nombres de cada parte.

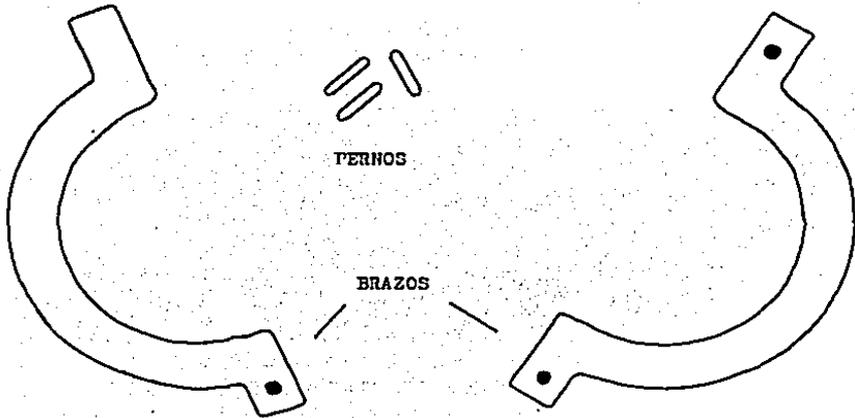
PARTES DE LA ABRAZADERA



MARIPOSA



TORNILLO



PERNOS

BRAZOS



ESLABON

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

TABLA "A"

<u>DEPARTAMENTO</u>	<u>ELEMENTO</u>	<u>HERRAMIENTA</u>	<u>ACTIVIDAD</u>	<u>TIEMPO</u> (min)	<u>TIEMPO</u>
MAQUINADO	ABRAZADERA	TALADRO	RECTIFICAR BARRENO DE BRAZOS	2	
MAQUINADO	ABRAZADERA	ESMERIL	AVELLANADO 1 BRAZO	3	
MAQUINADO	ABRAZADERA	ESMERIL	REDONDEO BRAZOS PARTE TRASERA	5	
MAQUINADO	ABRAZADERA	MANUAL	CERRAR BRAZOS	2	
ENSAMBLE	ABRAZADERA	MANUAL	PONER ESLABON CON PERNOS	1	
SOLDADURA	ABRAZADERA	M. SOLDAR	SOLDAR PERNOS DE ESLABON	3	
ENSAMBLE	ABRAZADERA	MANUAL	PONER TORNILLO CON PERNO	2	
SOLDADURA	ABRAZADERA	M. SOLDAR	SOLDAR PERNO DE TORNILLO	1	
PULIDO	ABRAZADERA	MANUAL	LIJA INTERIOR	6.67	
PULIDO	ABRAZADERA	CEPILLO	PULIR CON POLVO	13.33	
PULIDO	ABRAZADERA	CEPILLO	SATINADO	26.67	
PULIDO	ABRAZADERA	CEPILLO	ABRILLANTADO	20	
PULIDO	ABRAZADERA	MANUAL	LAVADO CON GASOLINA	13.33	
ENSAMBLE	ABRAZADERA	MANUAL	PONER MARIPOSA	1	71.322
CONTROL CALIDAD	ABRAZADERA	MANUAL	PRUEBA ABRAZADERA	7	107
MAQUINADO	ESLABON	SEGUETA	CORTAR TIRAS LAM-CAL 10	0.05	
MAQUINADO	ESLABON	MANUAL	ENDEREZAR TIRAS	0.03	
PINTURA	ESLABON	MANUAL	ENTINTAR TIRAS	0.02	
MAQUINADO	ESLABON	MANUAL	TRAZAR	0.1	
MAQUINADO	ESLABON	TALADRO	PUNTEAR	0.3	
MAQUINADO	ESLABON	TALADRO	BARRENAR	0.6	
MAQUINADO	ESLABON	ESMERIL	REBABEAR	0.3	
MAQUINADO	ESLABON	SEGUETA	CORTAR	0.9	
MAQUINADO	ESLABON	ESMERIL	REDONDEAR	0.03	
MAQUINADO	ESLABON	ESMERIL	REBABEAR	0.02	22
PULIDO	ESLABON	CEPILLO	PULIR	0.02	2.37
MAQUINADO	PERNO	SEGUETA	CORTAR RED 3/16"	0.05	0.05
MAQUINADO	MARIPOSA	TORNO	TORNEADO	7	
MAQUINADO	MACHUELADORA	MACHUELADORA	MACHUELADO	5	
MAQUINADO	MARIPOSA	ESMERIL	REBABEADO	1	
PULIDO	MARIPOSA	CEPILLO	PULIR CON POLVO	2.5	
PULIDO	MARIPOSA	CEPILLO	SATINADO	5	
PULIDO	MARIPOSA	CEPILLO	ABRILLANTADO	5	
PULIDO	MARIPOSA	MANUAL	LAVADO CON GASOLINA	2.5	20.002
ENSAMBLE	MARIPOSA	MANUAL	RECTIFICADO	2	30
MAQUINADO	TORNILLO	TORNO	TORNEADO	5	
MAQUINADO	TORNILLO	ESMERIL	REDONDEAR	2	
MAQUINADO	TORNILLO	TALADRO	BARRENAR	1	
MAQUINADO	TORNILLO	ESMERIL	REBABEAR	0.6	
PULIDO	TORNILLO	CEPILLO	PULIDO	1	77
ENSAMBLE	TORNILLO	MANUAL	REVISION	1	10.6
<b>TIEMPO TOTAL</b>				<b>150.02</b>	

TABLA "B"

<u>DEPARTAMENTO</u>	<u>ELEMENTO</u>	<u>HERRAMIENTA</u>	<u>ACTIVIDAD</u>	<u>TIEMPO</u> (=m)	<u>TIEMPO</u>	<u>TIEMPO</u>
CONTROL CALIDAD	ABRAZADERA	MANUAL	PRUEBA ABRAZADERA	7	7	4.67x
ENSAMBLE	ABRAZADERA	MANUAL	PONER TORNILLO CON PERNO	2		
ENSAMBLE	ABRAZADERA	MANUAL	PONER MARIPOSA	1		
ENSAMBLE	ABRAZADERA	MANUAL	PONER ESLABON CON PERNOS	1		
ENSAMBLE	MARIPOSA	MANUAL	RECTIFICADO	2		
ENSAMBLE	TORNILLO	MANUAL	REVISION	1	7	4.67x
MAQUINADO	ABRAZADERA	MANUAL	CERRAR BRAZOS	2		
MAQUINADO	ABRAZADERA	TALADRO	RECTIFICAR BARRENO DE BRAZOS	2		
MAQUINADO	ABRAZADERA	ESMERIL	AVELLANADO 1 BRAZO	3		
MAQUINADO	ABRAZADERA	ESMERIL	REDONDEO BRAZOS PARTE TRASERA	5		
MAQUINADO	ESLABON	ESMERIL	REBABEAR	0.3		
MAQUINADO	ESLABON	MANUAL	TRAZAR	0.1		
MAQUINADO	ESLABON	TALADRO	PUNTEAR	0.3		
MAQUINADO	ESLABON	SEGUETA	CORTAR TIRAS LAM-CAL 10	0.05		
MAQUINADO	ESLABON	TALADRO	BARRENAR	0.6		
MAQUINADO	ESLABON	ESMERIL	REBABEAR	0.02		
MAQUINADO	ESLABON	MANUAL	ENDEREZAR TIRAS	0.03		
MAQUINADO	ESLABON	SEGUETA	CORTAR	0.9		
MAQUINADO	ESLABON	ESMERIL	REDONDEAR	0.03		
MAQUINADO	MARIPOSA	TORNO	TORNEADO	7		
MAQUINADO	MARIPOSA	ESMERIL	REBABEADO	1		
MAQUINADO	MARIPOSA	MACHUELADORA	MACHUELEADO	5		
MAQUINADO	PERNO	SEGUETA	CORTAR RED 3/16"	0.05		
MAQUINADO	TORNILLO	TORNO	TORNEADO	5		
MAQUINADO	TORNILLO	ESMERIL	REBABEAR	0.6		
MAQUINADO	TORNILLO	ESMERIL	REDONDEAR	2		
MAQUINADO	TORNILLO	TALADRO	BARRENAR	1	35.98	24x
PINTURA	ESLABON	MANUAL	ENTINTAR TIRAS	0.02	0.02	0.01x
PULIDO	TORNILLO	CEPILLO	PULIDO	1		
PULIDO	ABRAZADERA	CEPILLO	ABRILLANTADO	20		
PULIDO	ABRAZADERA	MANUAL	LIJA INTERIOR	6.67		
PULIDO	ABRAZADERA	CEPILLO	SATINADO	26.67		
PULIDO	ABRAZADERA	MANUAL	LAVADO CON GASOLINA	13.33		
PULIDO	ABRAZADERA	CEPILLO	PULIR CON POLVO	13.33		
PULIDO	ESLABON	CEPILLO	PULIR	0.02		
PULIDO	MARIPOSA	CEPILLO	SATINADO	5		
PULIDO	MARIPOSA	CEPILLO	ABRILLANTADO	5		
PULIDO	MARIPOSA	MANUAL	LAVADO CON GASOLINA	2.5		
PULIDO	MARIPOSA	CEPILLO	PULIR CON POLVO	2.5	96.02	64x
SOLDADURA	ABRAZADERA	H. SOLDAR	SOLDAR PERNO DE TORNILLO	1		
SOLDADURA	ABRAZADERA	H. SOLDAR	SOLDAR PERNOS DE ESLABON	3	4.00	2.67x

TIEMPO TOTAL

150.02

De acuerdo a estos datos el pulido de una abrazadera se lleva 95 minutos o sea el 64% del tiempo total de manufactura, lo cual representa en función de dinero \$ 2 240.

Si sumamos el costo por materia prima indirecta y mano de obra, correspondientes al pulido de una abrazadera, obtendremos un costo por este concepto de \$ 3 824, lo que representa el 26% del costo total ( VER TABLA I ).

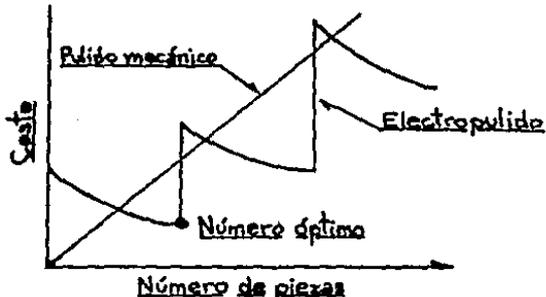
#### Evaluación de costos del electropulido

Utilizando el electropulido como proceso de acabado superficial se modifican dos puntos importantes en el costo total de la abrazadera, estos son la materia prima indirecta y la mano de obra.

Es importante mencionar que la materia prima indirecta permanece constante en el proceso mecánico sin importar el número de abrazaderas que se fabriquen, ya que cada abrazadera requiere de cierta cantidad de material pulidor para obtener el acabado requerido; sin embargo en el electropulido, por las características mismas de este proceso, el costo por este concepto se reduce entre mayor sea el número de piezas a pulir, ya que se lleva a cabo a través de baños en tinas electrolíticas.

## GRAFICA

### COSTO MATERIA PRIMA INDIRECTA



En el electropulido hay un número óptimo, a partir del cual el costo comienza a incrementarse, debido a varios factores por ejemplo, que requiera mayor densidad de corriente, mayor cantidad de electrolito, o quizá la utilización de otra tina por falta de espacio, pero todo esto va en función de la pieza a electropulir.

Otro punto de interés es el tiempo de manufactura; mientras que en el proceso mecánico el pulido se tiene que hacer pieza por pieza en el electropulido se pueden pulir muchas piezas a la vez en un tiempo considerablemente menor al que se utilizaría mecánicamente. Como se vio en el capítulo IV, el tiempo total del proceso fluctúa de 4 a 8 minutos, lo cual nos da un ahorro enorme.

El problema de este proceso es que para que sea rentable se debe de manejar cierto volumen de piezas; en el caso de las abrazaderas hablamos de 100 piezas en adelante.

De acuerdo a datos obtenidos en Abril de 1988 de la compañía Demologos S.A. , única empresa en México que se dedica al electropulido comercialmente, obtuvimos los siguientes costos referentes a las mismas abrazaderas :

<u>No. DE PIEZAS</u>	<u>COSTO</u>
100 - 500	\$ 3 620 c/u
500 - 1000	\$ 3 540 c/u
1000 - 2000	\$ 3 350 c/u

A primera vista, el costo por electropulido es inferior al pulido mecánico, pero desgraciadamente, si electropulimos la pieza directamente de fundición ( proceso de cera perdida "investment casting" ), obtendremos como resultado un acabado equivalente al que alcanzaríamos mecánicamente con lija del número 80 o el número 100, lo cual nos deja fuera del acabado sanitario ( 120/180 ). Por tal motivo para alcanzar el acabado No. 4 ( sanitario ), requerimos de un pulido mecánico previo con polvo esmeril de tamaño de grano No. 80.

Este pulido previo nos incrementaría el costo de manufactura por dos motivos anteriormente vistos, la mano de obra y la materia prima indirecta. De acuerdo a la tabla de materia prima indirecta y a la TABLA B, obtenemos que el incremento por este pulido es de \$1 395, el cual sumado al costo unitario por electropulido nos arroja los siguientes

resultados:

<u>No. PIEZA</u>	<u>COSTO PULIDO</u>	<u>COSTO ELECT.</u>	<u>COSTO TOTAL</u>
100/ 500	\$1,395	\$3,620	\$5,015
500/1000	\$1,395	\$3,540	\$4,935
1000/200	\$1,395	\$3,550	\$4,945

Si tomamos como base de comparación el costo mas alto, debido a que la producción de estas piezas no se realiza a gran escala, tendremos que la diferencia en costo entre un proceso y otro es de \$1,191 por pieza, favoreciendo al pulido mecánico.

## CONCLUSIONES

Por medio de este estudio, se puede demostrar la importancia que tiene el acabado superficial en la optimización de los diferentes procesos existentes en la industria.

El acabado superficial repercute directamente en los costos de operación y mantenimiento del equipo, ya que dependiendo de este, los resultados se mejoran y el tiempo se reduce, con lo cual, las pérdidas por estos conceptos, disminuyen y en algunos casos desaparecen.

Con lo anterior, se puede afirmar que el electropulido posee demasiadas ventajas por encima de los pulidos convencionales, ya que da un acabado superficial mejor al que se puede obtener mecánicamente con un tiempo de operación menor y costo más bajo.

Desgraciadamente la aplicación de este proceso en México tendrá que esperar varios años por 3 razones fundamentales:

- 1.- El desconocimiento y falta de información de este proceso, provoca que la industria nacional, se muestre reacia al cambio, por lo cual es muy difícil romper la inercia de años aunque se tengan pruebas contundentes de los beneficios del electropulido sobre el pulido mecánico.

2.- El equipo y los elementos que se requieren para el proceso de electropulido son en su totalidad de importación, haciendolo hasta este momento un proceso más caro que el método convencional. Actualmente solo existe una compañía en México que se dedica a esto.

3.- Los industriales que han tenido contacto con este proceso basan su elección unicamente sobre el aspecto económico, y pasando por alto todas las otras ventajas que trae consigo el electropulido. En realidad lo que se esta haciendo es comparar dos procesos similares pero con alcances totalmente diferentes.

Basandome en todo lo tratado, expongo las siguientes conclusiones:

1) El electropulido es un proceso de acabado muy superior al proceso mecánico. Es el sustituto ideal de este último proceso.

2) México aun no cuenta con la infraestructura necesaria para que el proceso sea costeable.

3) Se debe informar a través de revistas especializadas a la industria nacional de los beneficios que trae este proceso.

## BIBLIOGRAFIA

### Electropolishing

Metal Finish Guidebook and Directory for 1978  
Hackensack, New Jersey  
Jumer, J.F

### Electropolishing What, How and Why

Jumer, J.F.  
August 1958

### Electropolishing mill and abrasive finished stainless steel

Canadian Chemical & Process Equipment Exhibition  
Toronto, Canada  
Jumer, J.F

### NASA Technical Memorandum

Nasa TM X-64516  
Astronautic Laboratory  
Lowery, J.R  
April 15, 1970

### Liquid Hold-up on stainless steel surfaces

Journal of food Engineering, 1982  
Great Britain  
Milledge, J.J

### Optimizaci3n de la limpiabilidad

Revista Mexicana de Ciencias Farmac3uticas Vol.15 #43  
M3xico  
Villafranca, Jorge.

### Electropulido y Anodizado de metales

Fedotiev, A.  
Ed. Gustavo Gili