

Journal of Engineering Research

Acceptance date: 20/05/2025

APLICACIÓN DEL ALUMINIO ESTRUCTURAL EN LA FABRICACIÓN DE UNA HERRAMIENTA PARA LA EXTRACCIÓN DE RODAMIENTOS DEL MOTOR TURBOFAN JT8D DISPONIBLE EN LA ESIME UPT

Víctor Manuel Sauce Rangel

Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de
México, MÉXICO

<https://orcid.org/0000-0003-1333-9153>

Tiburcio Fernández Roque

Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de
México, MÉXICO

<https://orcid.org/0009-0001-8285-5509>

José Arturo Correa Arredondo

Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de
México, MÉXICO

<https://orcid.org/0009-0005-5279-891X>

Alejandro Mejía Carmona

Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de
México, MÉXICO

<https://orcid.org/0009-0001-4359-2099>



All content in this magazine is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

Resumen: Se dimensionó la herramienta de extracción para su fabricación en aleación de aluminio, Al 6061 T6 disponible en el mercado nacional. Con la modelación de la herramienta en ANSYS y los resultados de los tratamientos aplicados, el tratamiento T6 representa la máxima resistencia para esa aleación y el incremento de la dureza no incrementa las propiedades tensión y corte. La herramienta de extracción se fabricó considerando tres secciones en lugar de dos como se había propuesto, debido a que, en dos secciones, no ajustó radialmente en la hendidura o ranura del anillo interno. Para el proceso de anodizado, se normalizó la aplicación de la concentración de electrolito, el tiempo y la aplicación de corriente. Para la electrolisis, se diseñó un reactor con intercambiador de calor para el control de la temperatura y un prototipo experimental de pruebas electroquímicas. El proceso proporciona buenos resultados, estos son reportados y discutidos en este reporte.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los procesos de diseño y fabricación, se realizan aplicando la ingeniería directa, si se sigue ese camino hacia “atrás” o de manera inversa, se hace ingeniería inversa, si continuamos con el camino y planteamos cambios o mejoras, por la derecha, ese camino nos lleva a una reingeniería, si no alteramos los contenidos de los modelos obtenidos durante los procesos de la ingeniería inversa y seguimos el camino de la izquierda, eso se llama desarrollar una copia.

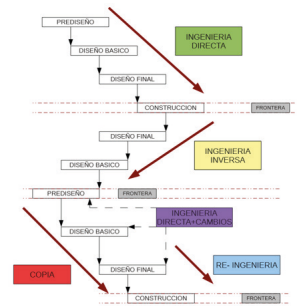
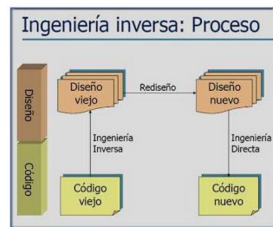


Figura 1. Procesos de Ingeniería inversa [1]

MODELADO EN ANSYS

El Método de los Elementos Finitos convierte las condiciones de equilibrio en un conjunto de ecuaciones algebraicas lineales (o no lineales) en función de los desplazamientos nodales. Después de obtener la solución de las ecuaciones se pueden hallar las deformaciones y los esfuerzos en los elementos. A medida que se utiliza un mayor número de elementos para representar la estructura, los esfuerzos se acercan más al estado de equilibrio con las cargas aplicadas. Por tanto, un concepto importante en el uso del Método de los Elementos Finitos es que, en general, un modelo de Elementos Finitos se aproxima a la solución real del problema a medida que se incrementa la densidad de los elementos, lo cual conduce a la realización de un análisis de convergencia de la solución [2].

PROCESO DE ANODIZADO

INTERCAMBIADOR DE CALOR HELICOIDAL [3]

Un serpentín helicoidal es un intercambiador de calor que consiste de un tubo de metal doblado anularmente formando una bobina. Convencionalmente, un intercambiador de calor de configuración helicoidal se fija concéntricamente con dos cilindros de menor y mayor diámetro que el serpentín, como se muestra a continuación.

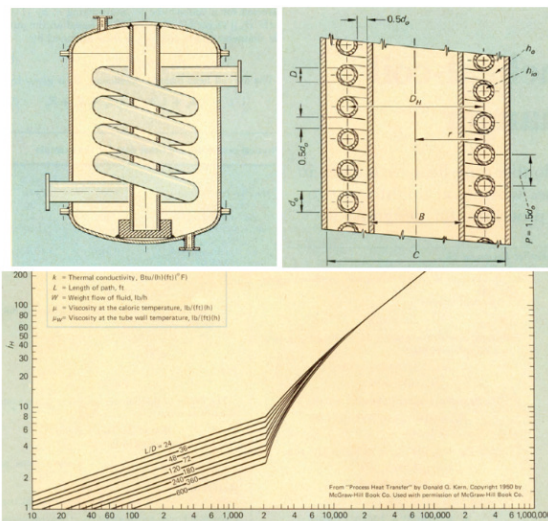


Figura 2. Gráfica de los factores de corrección para el coeficiente de transferencia de calor por convección

INTERCAMBIADOR DE CALOR HELICOIDAL TEÓRICO

La función de un serpentín es permitir la transferencia de calor entre los fluidos que viajan dentro del serpentín y a través del área anular de los cilindros. No obstante, en el equipo de anodizado que se fabricará, únicamente habrá un fluido en movimiento. Agua fría pasará en el interior del serpentín mientras que el ácido sulfúrico permanecerá en reposo dentro del recipiente.

OBJETIVOS

Herramienta de extracción, dimensionamiento geométrico de la herramienta propuesta.

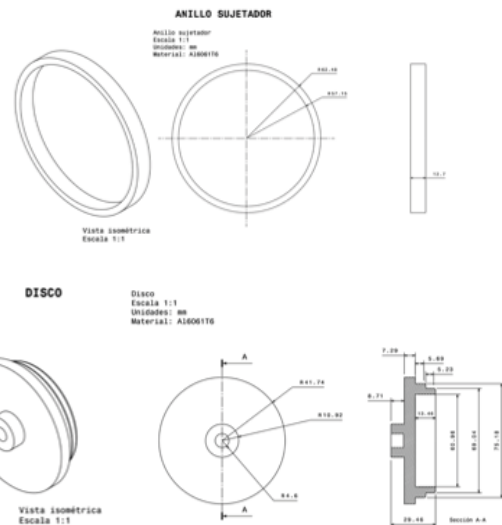


Figura 3. Dimensionamiento geométrico de anillo sujetador y Disco

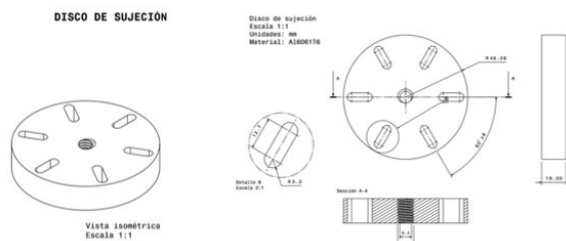


Figura 4. Dimensionamiento geométrico del Disco de sujeción

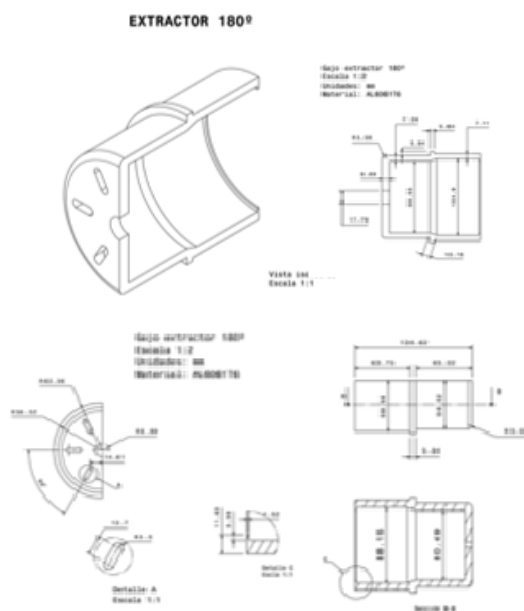


Figura 5. Dimensionamiento geométrico del extractor

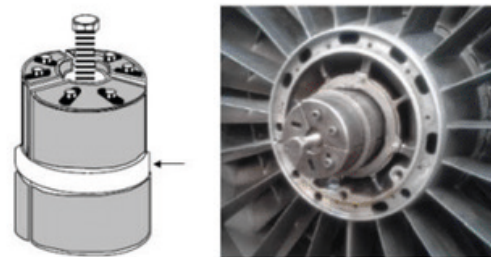
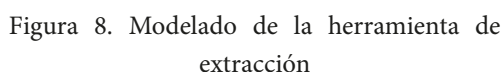


Figura 9. Tres Gajos o componentes para la extracción con ajuste radial. Extractor instalado dentro de la ranura del anillo interno del rodamiento número 1.

Determinación del esfuerzo requerido en la herramienta propuesta (ANSYS)

Figura 7. Esfuerzos de Von Mises para la herramienta y resultados del desplazamiento axial

En este trabajo a partir de los modelos desarrollados, se dimensionaron cada una de las piezas de la herramienta de extracción considerando dos gajos o componentes, Fig. 11, en lugar de los tres componentes propuestos en la herramienta inicial.



Para llevar a cabo un proceso de anodizado se requieren cuatro componentes principales: un cátodo, un ánodo, una fuerza electromotriz o voltaje y un fluido en donde se producen los iones necesarios para desarrollar un proceso de electrólisis. Por esta razón el equipo de anodizado propuesto demanda un recipiente capaz de contener con firmeza al cátodo y al ánodo con sus respectivas tomas de corriente eléctrica, además de almacenar el fluido electrolítico sin tener fugas.

Otro componente secundario necesario, pero no menos importante, es un intercambiador de calor que regule la temperatura de la solución. Durante la electrólisis el fluido iónico aumenta su temperatura considerablemente, con la ayuda del intercambiador de calor se controla la temperatura del sistema.

A continuación, se describe el equipo propuesto y cada uno de sus componentes. La idea surgió a partir de un sketch o borrador “a mano” que posteriormente se dibujó en el software CAD CATIA V5R21.

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO

El equipo que se fabricó consiste en un recipiente de PVC, hecho con un tubo, un cople y una tapa. En la parte superior se adhirió una placa cuadrada de triplay con un barreno interno de la misma dimensión que el diámetro del tubo. En esta placa se colocan los soportes para el ánodo y el cátodo y se sujetan con tornillos. El soporte del cátodo está unido a este con dos tornillos, mientras que el soporte del ánodo tiene un barreno en la parte superior en donde se cuelga un gancho con un tornillo y una junta. Las piezas de aluminio se van a sujetar en el gancho. Finalmente, el intercambiador de calor tendrá una geometría helicoidal (serpentín) y cuyo diámetro externo es ligeramente menor al diámetro interno del tubo, esto con el objeto de que no haya juego o vibraciones; la solución será ácido sulfúrico (). A continuación, se muestra el dibujo CAD.

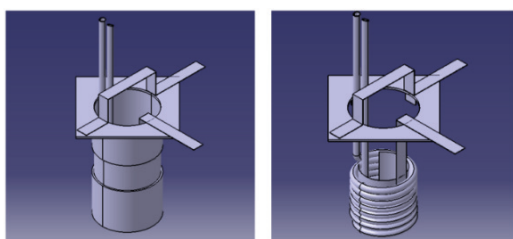


Figura 10. Dibujo CAD de recipiente de PVC, hecho con un tubo, un cople y una tapa e intercambiador de calor helicoidal

DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES

RECIPIENTE

El recipiente se fabricó con un tubo de PVC de 11.6 cm de diámetro externo y 11 cm de diámetro interno (3 mm de espesor). Se eligió este material debido a que resiste hasta 110 °C (punto de fusión), de igual manera resiste la presencia de soluciones ácidas, es fácil de adquirir y es de bajo costo. El cople de PVC tiene un diámetro externo de 10.9 cm y un diáme-

tro interno de 10.5 cm (2 mm de espesor). La tapa tiene un diámetro de aproximadamente 11 cm para su ensamble con el tubo. La altura del recipiente es de 20.2 cm. Los componentes se pegaron con pegamento para PVC amarillo, y en las uniones del tubo con el cople y la tapa se colocó silicón transparente para evitar fugas.

SISTEMA COMPLETO

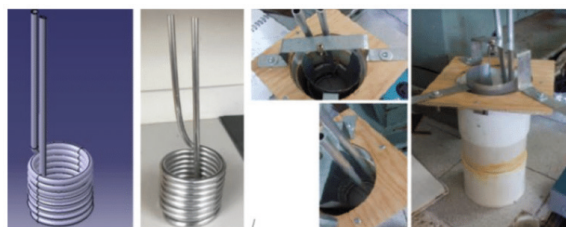


Figura 11. Dibujo CAD con serpentín real y sistema completo

EQUIPO EXPERIMENTAL DE PRUEBAS ELECTROQUÍMICAS PARA RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES.

El prototipo experimental completo, se diseñó y fabricó para realizar las diferentes pruebas de recubrimientos metálicos:



Figura 12. Prototipo experimental para prácticas de recubrimientos superficiales

RESULTADOS

La propuesta previa presentada del rediseño de la herramienta en el primer proyecto, donde se aplicó la metodología TRIZ y que consideró la fabricación de la herramienta en aluminio estructural 6061 T6 con dos gajos, Fig.11, no se realizó debido a que en el momento de la inserción para la extracción del rodamiento no acopló, no ajustó radialmente en la hendidura o ranura del anillo interno, por tal motivo se fabricó considerando tres componentes o gajos, Figuras. 13, 14.

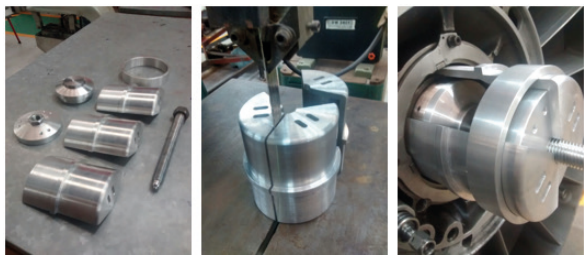


Figura 13. Herramienta extractora fabricada en Al 6061 T6 con dimensionamiento geométrico, seccionada y rectificada en las superficies de corte.



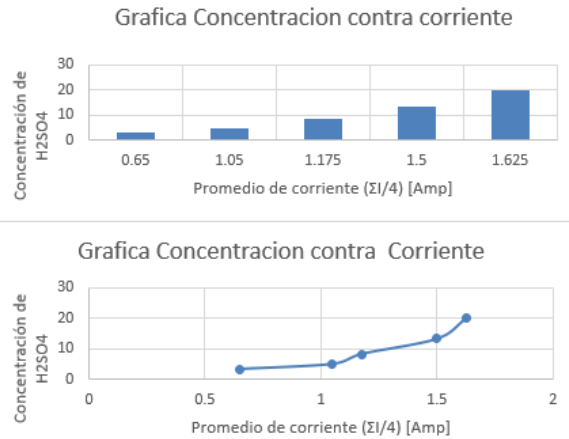
Figura 14. Herramienta extractora en operación con la presentación parcial y total del rodamiento No.1 del Motor turbofan JT8D

TRATAMIENTOS TÉRMICOS Y DUREZAS

Condición o T. térmico	Temperatura (°C)	Tiempo (hr)	Dureza (HRB)
T 6			55.2
T. solubilización	500	1	64.4
T. envejecido artificial	530	18	63
T. envejecido artificial	560	6 12 18	57 56.5 56
T. envejecido artificial	180	1 6 18	54 50.8 39.9

Tabla 1. Resultados promedio de durezas, aluminio AL 6061 T6

PROCESO DE ANODIZADO



Gráfica 1. Comportamiento del efecto de la concentraci3n con la intensidad de corriente.

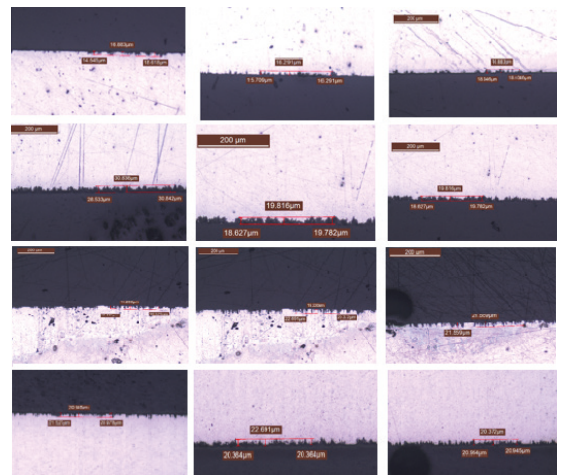
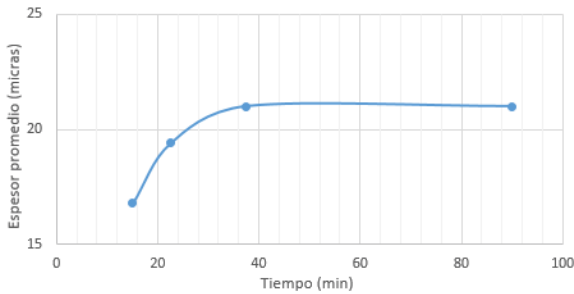


Figura 15. Espesores promedio de muestras en orden descendente a 15, 22.5, 37.5 y 90 minutos a 100X.

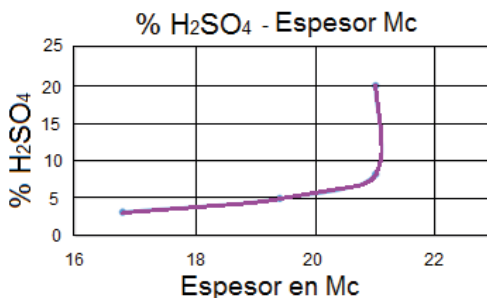
Tiempo de proceso (min)	Espesor promedio $\Sigma(\mu_c/3)$
15	16.8
22.5	19.4
37.5	21
90	21

Espesor promedio, micras - tiempo, min.



Gráfica 2. Tiempo de proceso contra espesor promedio obtenido.

% H_2SO_4	Espesor promedio, Mc
3.3	16.8
5	19.4
8.3	21
20	21



Gráfica 3. Concentración ácida contra espesor promedio obtenido.

MICROANÁLISIS POR Sonda ELECTRÓNICA TIPO EDS, DISCRIMINACIÓN DE ENERGÍA.

Con la finalidad de confirmar la presencia de Al_2O_3 , se realizaron pruebas de microanálisis para determinar la presencia de estos elementos químicos, los que se pueden observar en las microfotografías siguientes:

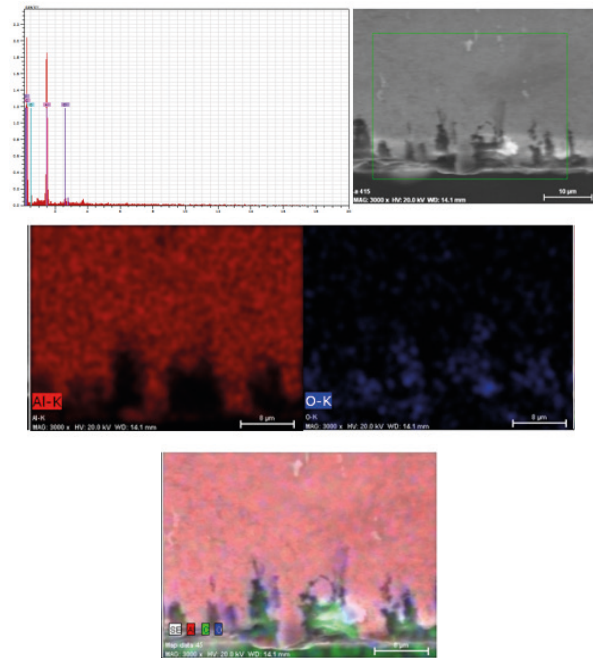


Figura 16. Microfotografías de una sección de prueba donde se puede observar la presencia de aluminio, oxígeno y carbono, que confirman la presencia del Al_2O_3 .

ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

Las propiedades mecánicas obtenidas con el recalentamiento a $530^\circ C$ durante 18 horas, tabla 1, la dureza se incrementa de 56.2 a 63 HRB; Es probable que esto se deba al recalentamiento de la aleación a una temperatura por debajo de la línea de sólidos, donde la difusión es más rápida y se favorece incrementando y homogenizando la distribución de precipitados [4]. Sin embargo, las propiedades mecánicas obtenidas son menores debido al crecimiento de los precipitados. [5]

MODELADO EN ANSYS

El modelado de la herramienta extractora propuesta, fig. 7 -8, se realizó considerando 2 gajos, lo que no funcionó y la herramienta se manufacturó en tres gajos, fig. 9, 13 y 14, con la finalidad de que la misma pudiera ajustar radialmente en la hendidura del anillo interno del rodamiento.

ANODIZADO ELECTROLÍTICO

La secuencia del proceso de anodizado, proporciona las etapas para la realización adecuada del proceso y establece la cantidad de electrolito ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$) que debe contener el reactor o cuba para la electrolisis [6].

Cuba para electrolisis con serpentín para el control de la temperatura del baño y Prototipo.

El diseño de la cuba se dibujó con el uso del software CAD CATIA V5R21, FIGS. 10, 11 y 12 y se fabricó utilizando material PVC y aluminio para los electrodos, así como para la elaboración del serpentín, Fig. 11, para disminuir la temperatura de la solución electrolítica $\leq 20^\circ\text{C}$. [3].

EQUIPO EXPERIMENTAL DE PRUEBAS ELECTROQUÍMICAS PARA RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES

Como se observa en la Fig. 12, se diseñó y manufacturó el equipo experimental para pruebas electroquímicas en general, que será de utilidad para complemento del material de corrosión de metales en aeronáutica en el desarrollo de prácticas. El Microanálisis por sonda electrónica tipo EDS, confirma la presencia de Al_2O_3 , Fig. 16, la fuente que se debe utilizar debe ser de CC de corriente constante y no de CC con voltaje variable, debido a ello, el depósito superficial no es homogéneo.

REFERENCIAS

- [1]. [https://www.google.com.mx/search?q=ingenieria+inversaoq=ingenieria+inversa&aqs=chrome..69i5 7j0l5.8550j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8]
- [2]. Mompín J. (Ed.): "Sistemas CAD / CAM / CAE. Diseño y fabricación por ordenador". Marcombo 1986
- [3]. *Designing a helical – coil heat exchanger*. Ramachandra K. Patil, Rath Industrial.
- [4]. Light Alloys Metallurgy of the light metals, IJ Polmear, Third edition, pp. 94
- [5]. ISO 3, Preferred numbers — Series of preferred numbers. International Organization for Standardization
- [6]. Introducción a la metalurgia física., Sidney H. Avner., McGraw Hill., 1984. , 1973.
- [7]. [https://www.google.com.mx/search?q=ingenieria+inversaoq=ingenieria+inversa&aqs=chrome..69i5 7j0l5.8550j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8]
- [8]. A. CARNICERO, Introducción al método de los elementos finitos, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Año 2011.
- [9]. Tecnología de materiales, Carlos Ferrer Giménez, Vicente Amigó Borrás, Año: 2003
- [10]. Metales resistentes a la corrosión, Autor: Pere Molera Sol, Año: 1989
- [11]. https://es.wikipedia.org/wiki/Proceso_de_fabricaci%C3%B3n
- [12]. Baile Puig, Maite. Estudio de la conformación de componentes Aluminio-silicio en estado semisólido. Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Cataluña, 2005
- [13]. ISO 17, Guide to the use of preferred numbers and of series of preferred numbers. 1973.