

# Modelaje de la viruta en el proceso de maquinado

## Parte II. Validación experimental

Eugenio López Guerrero, Miguel Ruiz Silva\*

### Abstract

Since the study of machinability must be done under a particular criterium, we have chosen for this work the analysis of the chip geometry. In the first article of this serie was exposed also the mathematical model of the tool movement, and the influence on the machined surface. This second article presents the experimental results of the statistical study of the relationship between the parameters of the NC-code and chip thickness. This should allow part of the validation of the method presented in the first article.

**Key words:** geometric modeling, machining, machinability, CNC.

### INTRODUCCIÓN

En el artículo anterior se expusieron las razones por las cuales el análisis de la viruta, tanto de la morfología así como de otras propiedades, puede utilizarse para evaluar la calidad del maquinado.

El análisis matemático ideal presupone que la viruta se comporta como un cuerpo rígido y que el corte ocurre en forma geométrica perfecta. La diferencia de posición de un álabe de la herramienta con respecto al anterior durante el proceso da como resultado el espesor de la viruta.

Resultados estadísticos de un ensayo bajo condiciones de maquinado iguales a las del análisis mostraron cierta validez de la matemática propuesta.

Este trabajo presenta ensayos del mismo modelo bajo diferentes condiciones de maquinado, sus resultados y conclusiones. Un ejemplo del tipo de resultados que se discuten se muestra en la figura 1.

### OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo son: a) validar por medio de una serie de experimentos el modelo

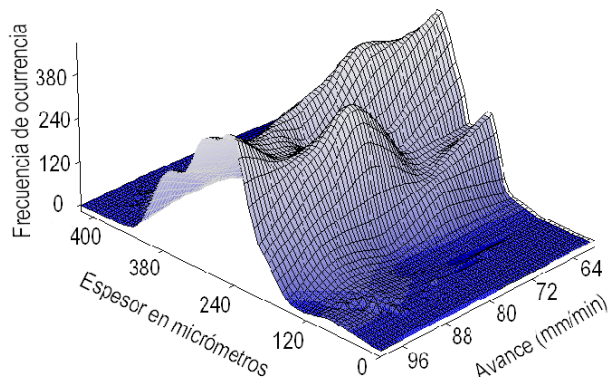


Fig. 1. Superficie de probabilidades de ocurrencia para los espesores de rebaba de los ensayos.

propuesto para el análisis de viruta y su influencia en los parámetros del proceso de maquinado, b) establecer una relación entre dicho modelo y las propiedades del proceso y de esta manera inferir resultados en situaciones de maquinado que puedan ser mejoradas.

A continuación se muestra cómo alcanzar ambos objetivos. Trabajos posteriores deberán establecer las condiciones que permitan la aplicación de este método a nivel industrial.

### METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

#### Caracterización del material utilizado.

El material usado en los experimentos fue un perfil extruido de aluminio comercial para maquinado que es usado en la región por talleres de maquinado para la fabricación de piezas de aluminio con aplicación de planta tales como guías, cajas de balero para correderas, etc. En la industria de la decoración tiene aplicaciones como piezas de ornato y soportes de carga, como lámparas de mesa y otros objetos de uso doméstico.

\* Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, UANL  
E-mail: elopez@uanl.mx

El análisis electroquímico identificó al material como aluminio 6063 de acuerdo a las tablas del Manual de Aluminios de la ASM. Los valores resultados de las pruebas a tensión revelan que el material es una aleación de aluminio tipo 6063 con tratamiento térmico clase T6 ó T8.

### Condiciones de maquinado.

Para los experimentos se maquinó la barra de aluminio con condiciones de corte fijas utilizando un centro de maquinado EMCO VMC 300. El corte se hizo a 2.54 mm (0.1in). No se utilizó refrigerante. El resto de los valores de corte experimentales fueron los mismos que los usados en los cálculos teóricos (tabla I).

Tabla I. Valores utilizados para los cálculos y los experimentos de maquinado.		
Número de álabes	N	2
Radio de la herr. (mm)	r	10
Velocidad de giro (rpm)	S	800
Profundidad (mm)	t	2.54

Se realizaron cinco experimentos, las velocidades de avance para cada uno de ellos se muestran en la tabla II.

Tabla II. Valores de velocidad de corte utilizados en los experimentos de maquinado.					
	Exp. #1	Exp. #2	Exp. #3	Exp. #4	Exp. #5
Avance F mm/min	100	90	80	60	70

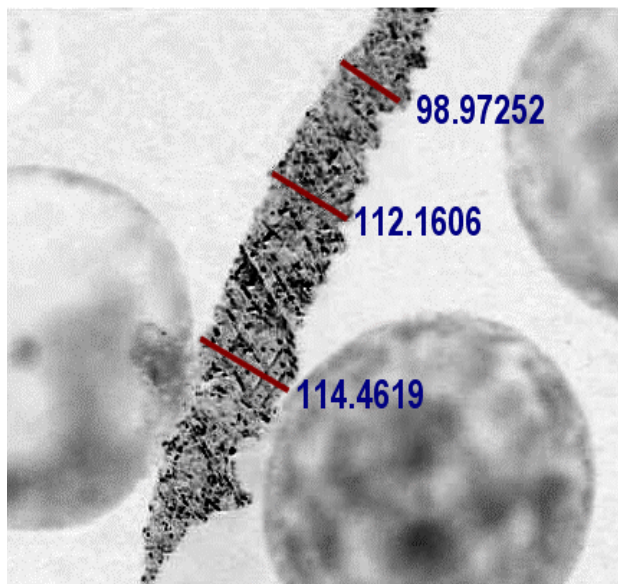


Fig. 2. Mediciones de diferentes puntos de cada rebaba por medio de programas de computadora.

Utilizando un microscopio óptico NIKON a 5X y un programa computacional de análisis de imágenes digitales (figura 2) se hicieron tres mediciones por cada rebaba de cada ensayo. Se seleccionó el valor de espesor máximo de rebaba y se obtuvieron los datos de la figura 3. Las tendencias se denotan con aproximaciones lineales.

### Cálculos estadísticos.

Los diagramas de frecuencia hechos para cada experimento se muestran en la figura 4. En general muestran dos poblaciones por experimento: “baja” y “alta” dimensión de espesor. La de más clara tendencia es la población “baja” para todos los casos, excepto el experimento #3, el cual tiene una diferencia de  $90\mu\text{m}$  ( $=123-213\mu\text{m}$ ).

Ya que la diferencia entre la situación de maquinado entre experimentos es solamente la velocidad de avan-

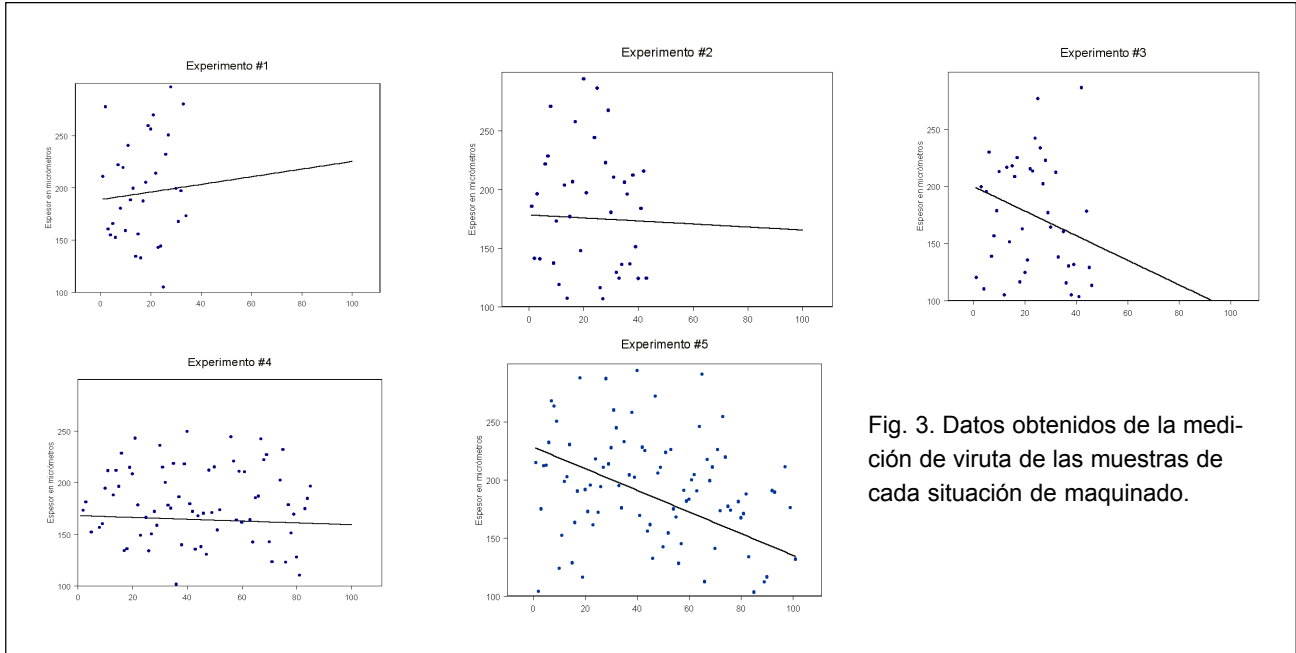


Fig. 3. Datos obtenidos de la medición de viruta de las muestras de cada situación de maquinado.

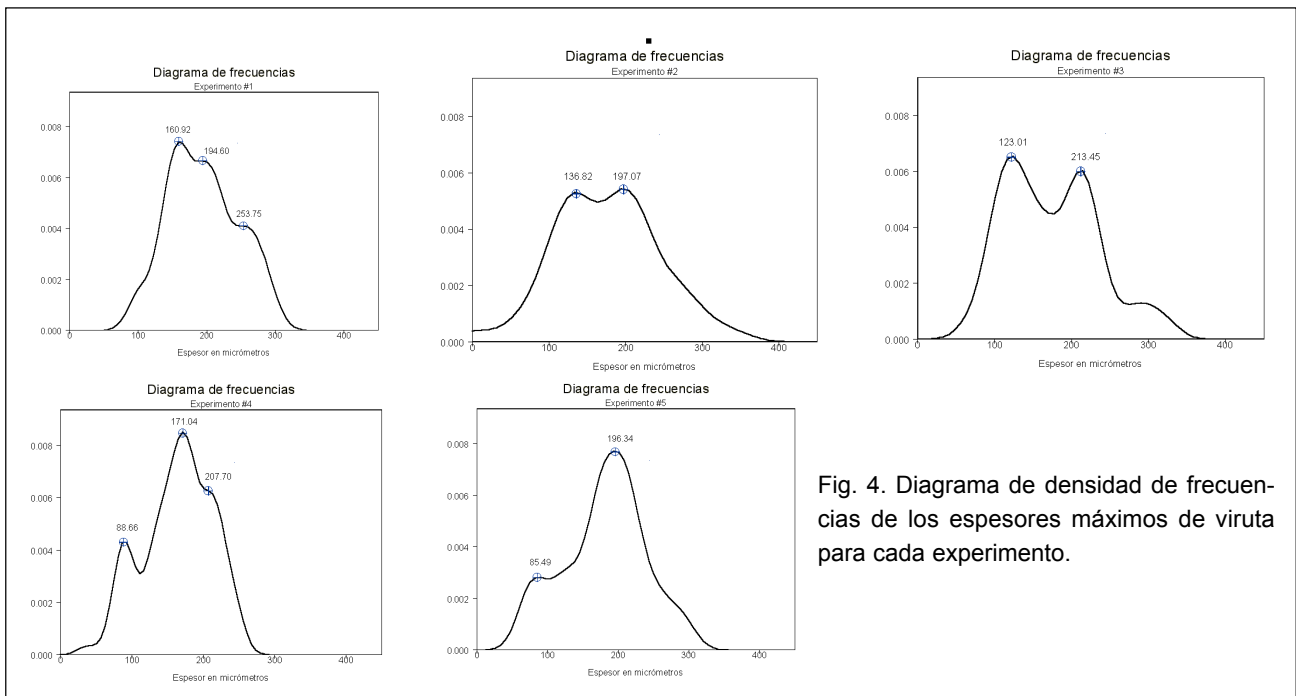


Fig. 4. Diagrama de densidad de frecuencias de los espesores máximos de viruta para cada experimento.

ce, es posible construir la tercera dimensión como un eje adicional. La figura 1 muestra entonces la superficie de densidad probabilística de ocurrencia de los espesores de viruta en función de la velocidad de corte.

Los valores estadísticos de las poblaciones se muestran en la tabla III.

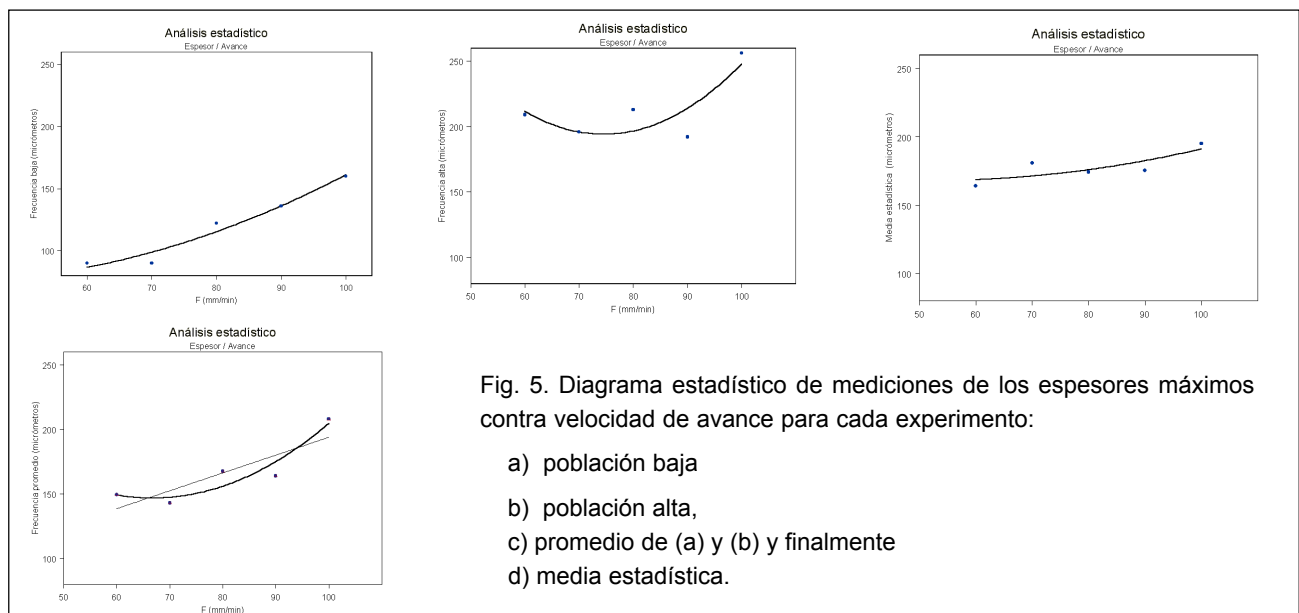
Tabla III. Media estadística del espesor de viruta para cada experimento con un intervalo de confianza del 95%.				
Exp.	Frec. baja (μm)	Frec. alta (μm)	Intervalo de confianza de la media	Media (μm)
0	133	361	110.0 189.1	149.5
1	160	256	177.3 213.0	195.1
2	136	192	154.5 196.2	175.3
3	122	213	156.1 192.4	174.2
4	90	209	153.8 174.5	164.2
5	90	196	169.4 192.3	180.8

A partir de ellos es posible contruir curvas de inferencia del comportamiento del espesor en función de la velocidad. Estas curvas se muestran en la figura 5.

### DISCUSIÓN

Como era de esperarse, el valor de espesor de viruta máximo se incrementa conforme se aumenta la velocidad de corte (figura 5a). Sin embargo, presenta un comportamiento no lineal (figura 5b) que puede ser explicado como consecuencia del arranque del material por la herramienta al no alcanzar ésta a cortarlo adecuadamente debido a la velocidad, lo que explicaría la presencia de dos poblaciones por experimento (figura 4). La figura 5d muestra la relación entre la media estadística de las poblaciones con respecto a la velocidad de corte. Significativamente la tendencia de las figuras 5a, 5b y 5d es la misma, lo que demuestra la relación proporcional de la velocidad de corte con el espesor de la viruta.

Los picos secundarios de los diagramas de frecuencia de la figura 4 pueden explicarse también como



diferencias posicionales de la viruta en el proceso de medición, lo que podría ocasionar el medir espesores fuera del plano de la sección transversal de cada viruta.

Una forma sencilla de ver el intervalo del espesor de la viruta con respecto a la velocidad de corte es una vista en planta de la superficie de densidades de la figura 1, esta vista en planta se muestra en la figura 6.

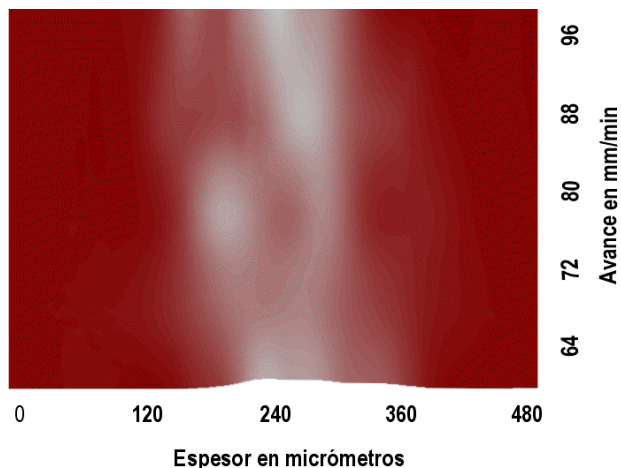


Fig. 6. Vista en planta de la superficie de la fig. 1 que muestra claramente el intervalo de espesores de rebaba esperado a partir de los datos obtenidos de los experimentos.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACION

El estudio de la maquinabilidad debe contemplar algo más que las propiedades de maquinado de un material bajo un análisis ortogonal simple. El desarrollo de nuevas tecnologías, criterios de evaluación y complejidad de productos obligan a replantear el estudio del proceso de maquinado en forma integral.

Se ha demostrado que bajo condiciones de maquinado moderadas es posible pronosticar algunas características de viruta en función de la velocidad de corte. El presente trabajo no considera experimentos

exhaustivos que permitan relacionar la morfología completa de la viruta con la situación de corte ni las propiedades de materiales.

Es necesario considerar y validar la inferencia de la calidad del maquinado por medio de las características de la viruta tales como rugosidad y textura dentro del modelo propuesto.

## RECONOCIMIENTOS

El presente trabajo fue realizado por los autores como parte de su proyecto de investigación en el Doctorado de Materiales FIME-UANL bajo el apoyo de PROMEP y PAICYT 2001 (contrato CA556-01), utilizando las instalaciones del Centro de Manufactura Integrada por Computadora y del Programa Doctoral de Materiales de la FIME UANL.

Los autores agradecen la colaboración de los ingenieros Roberto Mireles, Francisco Delgado y Eleazar Sánchez de la Coordinación de Automatización; a los estudiantes del programa “Verano de Investigación UANL” Juan Manuel García Reyes y Ana Cristina de la Portilla; al Dr. Virgilio González del programa doctoral de materiales de FIME.

## BIBLIOGRAFÍA

1. López, E. Ruiz, M. Modelaje de la viruta en el proceso de maquinado. Revista Ingenierías vol. IV, no. 13, 2001.
2. American Society of Tools Engineers. Tool Engineers Handbook. Mc Graw Hill, 1949.
3. Shaw, Milton. Metal cutting principles. Oxford University Press, 1984.
4. Stevenson, Robin and Stephenson, David. The effect of prior cutting conditions on the shear mechanics of orthogonal machining. Minerals, Metals and Materials Society, 1996.
5. Groover, Mikell P. Fundamentals of Modern

- Manufacturing, Ed. Prentice Hall, 1996.
6. V. Chiles, S.C. Black and Arnold. Principios de Ingeniería de Manufactura. CECSA, 1999.
  7. Metals Handbook 9th edition, vol 6 "Aluminium". ASM International, 1989.
  8. Cavazos García, José Luis. Tratamiento térmico de una aleación de aluminio 6063. Tesis Doctoral FIME-UANL, 1998.
  9. Metals Handbook 9th edition, vol 16 "Machining". ASM International, 1989.
  10. Degarmo, Paul E, Black, J.T. y Kohser, Ronald A. Materials and Process in Manufacturing. Ed. Prentice Hall, 1997.
  11. Boothroyd, Geoffrey. Fundamentos de Corte de Metales y de las Maquinas-Herramientas. Ed. Mc Graw-Hill Latinoamericana S.A. 1978.
  12. Schaffer, Saxena, Antolovich, Sanders & Warner. Ciencia y Diseño de Materiales para Ingeniería. Ed. CECSA, 1999.
  13. Schey, John A. Introduction to manufacturing processes. Ed. Mc. Graw Hill, 1987.
  14. Mangonon, Pat. The principles of materials selection for engineering design, Prentice Hall, 1999.