

APLICACIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL EN UN PROCESO DE MAQUINADO EN TORNO POR CONTROL NUMÉRICO COMPUTACIONAL

Dr. Alfonso Cervantes Maldonado

Doctor en Administración y Estudios Organizacionales, con Maestría en Ingeniería Administrativa y Calidad. Responsable de 8 proyectos de investigación con financiamiento, autor de 12 publicaciones en revistas con arbitraje e indización, autor de 2 capítulos de libros. Amplia experiencia en las áreas de gestión empresarial, estudios organizacionales, administración de manufactura y optimización de procesos. Responsable del área de economía industrial, ENES UNAM, Unidad León.

Resumen

El presente trabajo presenta una propuesta de aplicación del diseño experimental en el proceso de maquinado en torno, con la finalidad de establecer parámetros efectivos para la toma de decisiones en el proceso de producción de una pieza tipo.

Se realizó un análisis de los diferentes factores que intervienen en el proceso, de manera que se contemplen en el diseño experimental; los resultados permiten identificar los niveles adecuados de los parámetros de operación. En el diseño experimental se consideraron diferentes condiciones para evaluar los tiempos de operación y los niveles de calidad en los diferentes tratamientos, analizando los factores de velocidad de giro en revoluciones por minuto, el factor f de avance de la herramienta de corte y la dureza del material a maquinar, así como la variable de respuesta del tiempo de maquinado por pieza en minutos, identificando que el factor

TECNOTREND[®]

más significativo para el tiempo de maquinado es el avance de la herramienta de corte.

Palabras clave

Diseño experimental, manufactura, maquinado, torno, control numérico computacional.

Introducción

En la actualidad la manufactura se ha consolidado como un polo de desarrollo para las entidades del país. En el ámbito global de las empresas manufactureras, se han establecido estándares del más alto nivel, dirigidos a **mejorar las capacidades competitivas de las empresas** (costo, calidad, tiempos de entrega, flexibilidad, innovación, medio ambiente y seguridad). La conformidad con estos estándares es fundamental para que estas empresas puedan competir.

El maquinado en torno por control numérico computacional es un proceso de manufactura de alta precisión que permite la producción de piezas con una alta calidad en la estandarización de sus especificaciones, lo que hace necesario la generación de propuestas que apoyen la toma de decisiones en lo referente a los parámetros de operación más adecuados y su impacto en los costos.

En este trabajo se presenta una propuesta como aproximación de un diseño experimental que toma en cuenta los factores de la velocidad de rotación en RPM (revoluciones por minuto), el avance de la herramienta de corte en milímetros y la dureza de la materia prima, tomando en cuenta diferentes tipos de acero y sus estándares de dureza.

Metodología

Se desarrolló un diseño experimental empírico mediante un diseño factorial multinivel 3³ (tres factores y tres niveles) de respuesta múltiple (con dos respuestas), con 27 tratamientos, los factores y niveles determinados se muestran a continuación en la tabla 1.

Tabla 1. Diseño experimental propuesto

Factor/Nivel	-1	0	1
<i>RPM</i>	2500	3500	4500
<i>Avance</i>	0.1	0.2	0.3
<i>Dureza</i>	213	218	224

Fuente: Cervantes et al. (2017)

El factor RPM se probará a las velocidades de giro de 2500, 3500 y 4500 revoluciones por minuto, el factor avance contempla tres diferentes avances $f=0.1$, $f=0.2$ y $f=0.3$ en milímetros y el factor dureza es la especificación de la dureza HBW de tres tipos de acero utilizados en el experimento.

Se analizaron los datos mediante la metodología de superficie de respuesta del diseño experimental factorial multinivel 3³, lo que es muy importante para poder identificar la curvatura en la superficie de respuesta en caso de que exista; de manera que se obtuvieron diferentes ecuaciones de regresión y se determinó que las más adecuadas son las ecuaciones cuadráticas de la forma $Y = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + B_3 \cdot X_3 + B_4 \cdot X_1^2 + B_5 \cdot X_1 \cdot X_2 + B_6 \cdot X_1 \cdot X_3 + B_7 \cdot X_2^2 + B_8 \cdot X_2 \cdot X_3 + B_9 \cdot X_3^2$, ya que toman en cuenta las interacciones de segundo orden que son significativas adicionalmente a los factores experimentales.

Para el análisis se utilizó la metodología de superficie de respuesta con el software Statgraphics Centurión Versión XVI®, debido a las funcionalidades gráficas y de optimización para el análisis de diseño de experimentos.

Resultados

La tabla 2 presenta el análisis de varianza donde es posible visualizar que **los tres factores definidos (RPM, Avance y Dureza)** son significativos a un nivel alfa de 0.05, en este caso los dos factores con mayor nivel de significancia para la variable de respuesta tiempo son el avance y la dureza del material.

Tabla 2. Análisis de Varianza para Tiempo

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:RPM	0.0098	1	0.0098	5.29	0.0345
B:Avance	2.07401	1	2.07401	1118.52	0.0000
C:Dureza	0.147606	1	0.147606	79.60	0.0000
AA	0.000266667	1	0.000266667	0.14	0.7092
AB	0.000533333	1	0.000533333	0.29	0.5987
AC	0.000833333	1	0.000833333	0.45	0.5116
BB	0.06615	1	0.06615	35.67	0.0000
BC	0.00333333	1	0.00333333	1.80	0.1976
CC	0.00281667	1	0.00281667	1.52	0.2345
Error total	0.0315222	17	0.00185425		
Total (corr.)	2.33687	26			

Fuente: Cervantes et al. (2017)

El valor del coeficiente de determinación (R^2) es del 98,6511 %, lo que indica que este modelo explica el 98,6511% de la variabilidad en la variable de respuesta Tiempo. De esta manera la ecuación de regresión para el tiempo es la siguiente:

$$\text{Tiempo} = 1.92667 - 0.0233333 * \text{RPM} - 0.339444 * \text{A} + 0.0905556 * \text{D} + 0.00666667 * \text{RPM}^2 - 0.00666667 * \text{RPM} * \text{A} - 0.00833333 * \text{RPM} * \text{D} + 0.105 * \text{A}^2 + 0.016666 * \text{A} * \text{D} + 0.0216667 * \text{D}^2$$

La figura 1 muestra la interacción de los factores en sus diferentes niveles, en donde se puede apreciar que **el avance es el factor más significativo y la relación con el tiempo de maquinado es negativa**; de igual manera, se observa que tanto la dureza como las RPM son factores con menor impacto en el tiempo de maquinado.

Gráfica de Efectos Principales para Tiempo

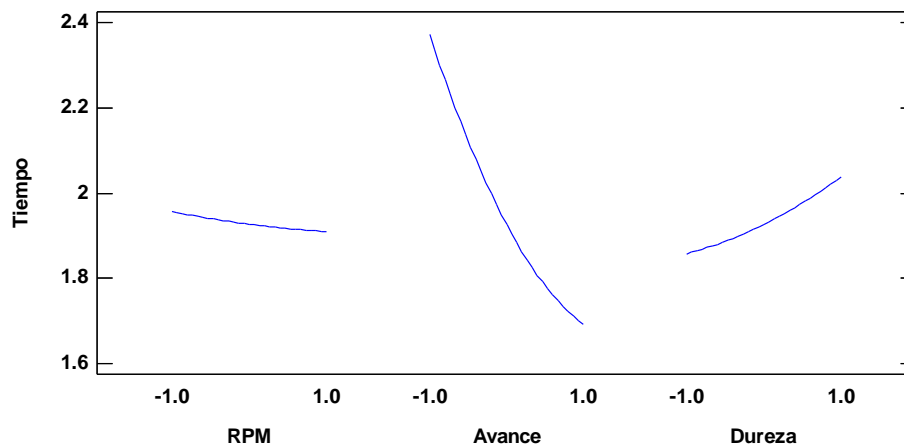


Fig 1. Efectos principales para la variable de respuesta tiempo. Fuente: Elaboración propia utilizando el software Statgraphics Centurión XVI.

La figura 2 muestra la superficie de respuesta del tiempo de maquinado en función de los dos factores de mayor significancia, donde es posible apreciar que los valores

de mayor deseabilidad, que se traducen en tiempos de maquinado más cortos, se encuentran de manera general en los niveles altos del factor avance y en los niveles bajos del factor dureza.

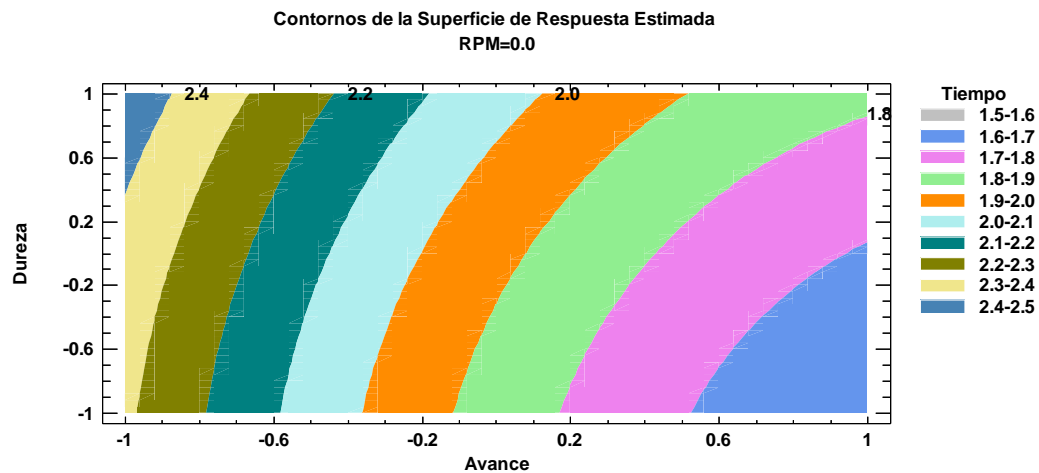


Fig 2. Gráfica de contornos para la variable de respuesta tiempo. Fuente: Elaboración propia utilizando el software Statgraphics Centurión XVI.

La tabla 3 muestra los valores óptimos que permiten contar con valores mínimos combinados en cuanto al tiempo de maquinado y presión.

Tabla 3. Factores establecidos y Óptimo

Factor	Establecimiento
RPM	-0.0532833
Avance	0.565463
Dureza	-0.999999

Fuente: Cervantes et al. (2017)

Conclusiones

Por lo anterior, de acuerdo a la región experimental se obtiene que el valor óptimo para el factor RPM que corresponde a 3447 revoluciones por minuto, así como el valor del avance es de $f=0.253$ y el valor de la dureza es de 213 HBW que corresponde a un acero 4140.

De esta manera se identifican estos parámetros como un nuevo tratamiento que impacte en la mejora de las condiciones de operación con valores esperados de tiempo 1.69 minutos y presión 2.80, que resultan en valores muy adecuados para su estandarización.

Referencias

- Bate, S. T., & Chatfield, M. J. (2016). Identifying the structure of the experimental design. *Journal of Quality Technology*, 48(4), 343-364. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/1829444407?accountid=14598>
- Cervantes, A., Romero, M., Jasso, J. F. (2017). Propuesta de diseño experimental para un modelo económico de manufactura en torno por control numérico computacional. Memorias del 4º coloquio en desarrollo económico, sustentabilidad, innovación y tecnología. México.
- Davim, J. P. (2016). *Design of Experiments in Production Engineering*. Springer Management and Industrial Engineering.
- Han, J., Wu, L., Yuan, B. et al. (2017). A novel gear machining CNC design and experimental research. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 88: 1711. doi:10.1007/s00170-016-8883-y
- Monka, P., Monkova, K., Balara, M. et al. (2016). Design and experimental study of turning tools with linear cutting edges and comparison to commercial tools

TECNO TREND[®]

International *Journal of Advanced Manufacturing Technology* 85: 2325.
doi:10.1007/s00170-015-8065-3

Šibalija, T. V., Majstorović, V. D. (2016). *Advanced Multiresponse Process Optimisation. An Intelligent and Integrated Approach*. Springer.