

# OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS MEDIANTE EL DISEÑO DE PARÁMETROS DE PROCESO SEGÚN MÉTODO TAGUCHI

## PROCESS OPTIMIZATION BY DESIGNING OF PROCESS PARAMETERS THROUGH TAGUCHI METHOD

IbarrondoJoaquín<sup>1</sup>, MuravschikEmanuel<sup>1</sup>, GarreraRaúl A.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Grupo de investigación de control avanzado de procesos y producción GICAPP, UTN Facultad Regional Córdoba, Maestro M. López esq. Cruz Roja Argentina, C.P. 5000, Córdoba, Argentina, [utn.gicapp@gmail.com](mailto:utn.gicapp@gmail.com)

<sup>2</sup>Persona a quién debe estar dirigidos los mails.

### RESUMEN.

El método Taguchi es una poderosa herramienta para la optimización de la Calidad y es muy estudiado en diversos trabajos. En este estudio, el método Taguchi es aplicado para el diseño de parámetros óptimos de una operación de torneado. El objetivo es optimizar la Rugosidad. Dentro de la metodología se aplica herramientas como la matriz ortogonal y el análisis de Varianza (ANOVA). El caso aplicado es el torneado de un árbol de levas de material SAE 1046, mediante una herramienta de inserto de metal duro.

A través de este estudio, no sólo se pueden obtener los parámetros de corte óptimos para las operaciones de torneado, sino también los parámetros de corte principales que afectan el rendimiento de corte.

**Palabras claves:** Método Taguchi, Optimización, Torneado

**Abstract** The Taguchi method is a powerful tool for optimizing quality and is widely studied in several papers. In this study, the Taguchi method is applied for the design of optimal parameters of a turning operation. The aim is to optimize the roughness. Within the methodology as the orthogonal matrix tools and analysis of variance (ANOVA) was applied. The case applied is turning a cam shaft made of SAE 1046 through a hard insert tool.

Through this study, not only can obtain the optimal cutting parameters for turning operations, but also the main cutting parameters affecting cutting performance.

**Keywords:** TaguchiMethod, Optimization, Turning

## 1. INTRODUCCIÓN

Una tarea importante en la Operación de Torneado es la programación de parámetros de corte que permitan lograr un proceso de mecanizado de alto rendimiento. Históricamente, dicho diseño de parámetros se basaban en la experiencia del operario o especialista, o a través de un manual. Sin embargo, esta metodología no asegura que sea el diseño óptimo según máquina, herramienta y medio ambiente.

Se han propuesto, en varios estudios, metodologías matemáticas para el correcto diseño de parámetros, incluyendo la aplicación de modelos matemáticos. La desventaja de los Modelos Matemáticos es muy costoso en términos de tiempo y materiales.

En este trabajo, se propone la metodología Taguchi para un diseño de parámetros de corte más eficiente. El método Taguchi es una poderosa herramienta para la optimización de la Calidad y es muy estudiado en diversos trabajos. Permite optimizar el rendimiento de la operación a través de la programación de los parámetros del proceso y la reducción de sensibilidad del rendimiento ante fuentes de variación.

Se introducirá sobre el método Taguchi y a continuación se detallará la metodología aplicada para el caso de estudio elegido para este trabajo, con el fin de optimizar la Rugosidad del material.

## 2. DESARROLLO

El sistema de calidad propuesto en la metodología de Taguchi supone una revolución de los sistemas de calidad tradicionales, donde predominaba el uso de herramientas para el control *On Line*. El enfoque de Taguchi destaca la importancia del control de la calidad *Off Line* y, por tanto, de un diseño apropiado del producto y del proceso. Se utiliza fundamentalmente el diseño de experimentos como herramienta para fabricar productos más robustos y, por tanto, menos sensibles a los factores de ruido. Es decir, se reducen los efectos de la variabilidad sobre las características de la calidad del producto y del proceso. Inicialmente, la aplicación del diseño de experimentos estaba más dirigida a la optimización de los valores promedio de las características de la calidad sin tener en cuenta los efectos de la variación.

La Filosofía de la calidad de Taguchi se puede resumir en los siete puntos básicos siguientes (M.D. Ruiz Medina, 2004):

1. Un aspecto importante de la calidad del proceso manufacturado es la pérdida total ocasionada por dicho producto a la sociedad.
2. En una economía competitiva son necesarias una mejora continuada de la calidad y una reducción de los costos. Se distinguen tres tipos de costos:
  - a) Costos asociados al diseño del producto.
  - b) Costos de manufacturación.
  - c) Costos de operación.

Estos tres tipos de costos se pueden reducir mediante un uso apropiado del diseño de experimentos.

3. Un programa de mejora continuada de la calidad incluye una reducción constante de la variación de las características de la calidad en torno a los valores nominales o umbrales.
4. La pérdida ocasionada por la variabilidad en el proceso de fabricación del producto es proporcional al cuadrado de la desviación típica de la característica de la calidad estudiada respecto al valor nominal.
5. La calidad y el coste final del producto manufacturado dependen en gran medida del diseño efectuado para el producto y el proceso.
6. La variabilidad del proceso y del producto se puede reducir mediante el efecto no lineal de los parámetros del producto y del proceso sobre las características de la calidad.
7. Los diseños de experimentos estadísticos pueden ser utilizados para identificar el conjunto de parámetros del producto y del proceso que reducen la variación y, por tanto, mejoran la calidad, la productividad, la fiabilidad del proceso de manufacturación y sus resultados.

En la metodología de Taguchi se distinguen tres etapas en el diseño de la calidad *Off Line* (M.D. Ruiz Medina, 2004; W.H. Yang, Y.S. Tarn, 1998):

- Diseño del sistema.

- Diseño de los parámetros.
- Diseño de la tolerancia.

Método Taguchi (Taguchi, 1990) utiliza un diseño de matrices ortogonales para estudiar todo el espacio de parámetros con un pequeño número experimentos únicos. Los resultados experimentales, a continuación, se transforman en una señal-ruido (S/N). Taguchi recomienda el uso de la S/N para medir las características de calidad que se desvían de los valores deseados. Por lo general, hay tres categorías de característica de calidad en el análisis de la S/N, es decir:

- a) El menor de la mejor
- b) El más alto de la mejor
- c) El nominal de la mejor.

Independientemente de la categoría de la característica de calidad, una mayor relación de S/N corresponde a una mejor característica de calidad. Por lo tanto, el nivel óptimo de los parámetros del proceso es el nivel de mayor S/N.

Además, se realiza un análisis estadístico de la varianza (ANOVA) para ver los parámetros de proceso que son estadísticamente significativas. Con el S/N y ANOVA, se pueden predecir la combinación óptima de los parámetros del proceso. Finalmente, se debe llevar a cabo un experimento de confirmación con los valores obtenidos.

En resumen, el diseño de parámetros del Método Taguchi incluye los siguientes pasos:

- (1) la identificación de las características de calidad y el diseño de parámetros a ser evaluados.
- (2) determinación del número de niveles de los parámetros de diseño y posibles interacciones entre los parámetros de diseño.
- (3) la selección de la matriz ortogonal apropiada y asignación de los parámetros de diseño de la matriz ortogonal.
- (4) la realización de los experimentos sobre la base de la disposición de la matriz ortogonal;
- (5) análisis de los resultados utilizando el S/N y ANOVA.
- (6) selección de los niveles óptimos de los parámetros de diseño
- (7) la verificación de los parámetros de diseño óptimos a través del experimento de confirmación.

Por lo tanto, tres objetivos pueden alcanzarse a través del diseño de parámetros del método Taguchi, es decir: la determinación de los parámetros de diseño óptimos para un proceso o un producto, la estimación de la contribución de cada parámetro de diseño hacia las características de calidad y la predicción de las características de calidad basado en el diseño óptimo de parámetros (W.H. Yang, Y.S. Tarn, 1998).

Las fortalezas de la metodología de Taguchi son las siguientes (E. A. CRUZ RESTREPO; J. E. RESTREPO CORREA, et al., 2008):

- Enfatiza en la calidad durante la etapa del diseño del proceso.
- Reconoce la importancia relativa de los factores que influyen en el desempeño de los productos o procesos.
- Enfatiza en la reducción de la variabilidad, por medio del uso de la función de pérdida y de la razón señal-ruido –existiendo una para cada objetivo que se quiera lograr con el experimento.
- Se concentra en el concepto de diseño de parámetros que sirvan para disminuir la variabilidad en el desempeño de los productos.
- También puede ser utilizada para el mejoramiento de procesos y productos ya existentes.

La metodología planteada por Taguchi ha ocasionado también bastante controversia desde su introducción en Estados Unidos (M.D. Ruiz Medina, 2004).

Una de las críticas se basa en la confusión de efectos que se produce en los diseños ortogonales fraccionarios que utiliza. Debido al elevado número de factores en relación con el número de tríadas, los tratamientos dados por las diferentes combinaciones de factores no se pueden estudiar en profundidad.

Otro inconveniente de esta metodología es que las razones señal-ruido utilizadas no siempre proporcionan los resultados deseados. En algunos casos se puede comprobar que no hacen eficiente el uso de datos experimentales.

A pesar de los inconvenientes señalados, la filosofía de Taguchi ha tenido una fuerte influencia en el uso de la técnica de diseño de experimentos en el ámbito de la teoría de la calidad.

Aunque las herramientas o los elementos estadísticos utilizados en la metodología de Taguchi no son óptimos, suponen un gran avance en la mejora de la calidad y en la aplicación de las técnicas de diseño de experimentos en este contexto.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Caso de Estudio

En este trabajo se procede a estudiar un caso de aplicación del Método Taguchi, el cual consiste en diseñar los parámetros óptimos de una operación de torneado. Se obtienen datos del proceso, con sus tres niveles de operación, los cuales son: Velocidad de Corte, Avance de la Herramienta y Profundidad de Corte. El objetivo del estudio es obtener los valores óptimos de los parámetros seleccionados para optimizar la Rugosidad del material. Los datos provistos para este estudio es una empresa automotriz, cuya identidad se reserva en este estudio.

##### 3.1.1 Selección de los parámetros de corte y sus niveles

- a) Velocidad de corte
- b) Avance de la herramienta
- c) Profundidad de Corte

SELECCIONAR UN PROCESO DE MECANIZADO:	Torneado árbol de levas
DEFINIR EL TIPO DE HERRAMIENTA USADA:	Inserto de metal duro
MATERIAL DE HERRAMIENTA USADA:	Metal duro
MATERIAL A MECANIZAR:	Acero SAE 1046
<b>DATOS DE ENTRADA</b>	<b>DATOS SALIDA</b>
1) Velocidad de corte 2) Avance de herramienta 3) Profundidad de corte	1) Rugosidad 2) Dimensión (diámetro, espesor, otro)
<b>1</b> <b>CARACTERÍSTICA DE SEGURIDAD O CRÍTICA</b>	
Rugosidad: <input type="text"/> mm	Dimensión: <input type="text" value="28,4"/> mm
Tolerancia sup.: <input type="text"/> mm	Tolerancia sup.: <input type="text" value="0,05"/> mm
Tolerancia inf.: <input type="text"/> mm	Tolerancia inf.: <input type="text" value="-0,05"/> mm

Tabla 1

### 3.1.2 Experimento de Matriz Ortogonal

2 DEFINICIÓN DE PARAMETROS DE CORTE Y NIVELES					
PARAMETROS DE CORTE	Unidad	Nivel 1 (min.)	Nivel 2 (nom.)	Nivel 3 (max.)	
1) Velocidad de corte	m/min	162	180	198	
2) Avance de herramienta	mm/min	0,45	0,5	0,55	
3) Profundidad de corte	mm	0,8	1	1,2	

3 FORMA DE LLEVAR A CABO EL EXPERIMENTO					
N° DE EXPERIMENTO	PARÁMETROS DE CORTE			RUGOSIDAD	DIMENSIÓN
	Velocidad de corte	Avance de herramienta	Profundidad de corte		
1	Nivel 1	Nivel 1	Nivel 1	R1	D1
2	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 2	R2	D2
3	Nivel 1	Nivel 3	Nivel 3	R3	D3
4	Nivel 2	Nivel 1	Nivel 3	R4	D4
5	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1	R5	D5
6	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 2	R6	D6
7	Nivel 3	Nivel 1	Nivel 2	R7	D7
8	Nivel 3	Nivel 2	Nivel 3	R8	D8
9	Nivel 3	Nivel 3	Nivel 1	R9	D9

4 RECOLECCIÓN DE DATOS					
N° DE EXPERIMENTO	PARÁMETROS DE CORTE			RUGOSIDAD Ra	DIMENSIÓN
	Velocidad de corte	Avance de herramienta	Profundidad de corte		
1	162	0,45	0,8	10,4	28,40
2	162	0,5	1	12,5	28,38
3	162	0,55	1,2	13,5	28,41
4	180	0,45	1,2	10,7	28,40
5	180	0,5	0,8	13,7	28,42
6	180	0,55	1	13,4	28,41
7	198	0,45	1	11,5	28,40
8	198	0,5	1,2	11,9	28,40
9	198	0,55	0,8	13,4	28,41

Tabla 2

### 3.1.3 Análisis del Ratio S/N

Para la característica de la Rugosidad, se evalúa según la categoría: "Menor de la Mejor". Independientemente de la categoría de la característica de calidad, una mayor relación de S/N corresponde a una mejor característica de calidad. Por lo tanto, el nivel óptimo de los parámetros del proceso es el nivel de mayor S/N.

En el gráfico Fig. 1 podemos ver tres curvas correspondientes a cada parámetro y se observa que los mayores S/N de cada parámetro son:

<b>1) Velocidad de corte</b>	<b>Nivel 1: 162</b>
<b>2) Avance de herramienta</b>	<b>Nivel 1: 0,45</b>
<b>3) Profundidad de corte</b>	<b>Nivel 3: 1,2</b>

<b>N° DE EXPERIMENTO</b>	<b>Rugosidad (mm)</b>	<b>Ratio S/N (dB)</b>
1	10,4	-20,341
2	12,5	-21,938
3	13,5	-22,607
4	10,7	-20,588
5	13,7	-22,734
6	13,4	-22,542
7	11,5	-21,214
8	11,9	-21,511
9	13,4	-22,542

Tabla 3

<b>Media de Ratio S/N</b>				
<b>Parámetros de Corte</b>	<b>Nivel 1</b>	<b>Nivel 2</b>	<b>Nivel 3</b>	<b>Máx-min</b>
1) Velocidad de corte	-21,629	-21,955	-21,756	
2) Avance de herramienta	-20,714	-22,061	-22,564	
3) Profundidad de corte	-21,872	-21,898	-21,568	

Tabla 4

Gráfico de S/N - Rugosidad

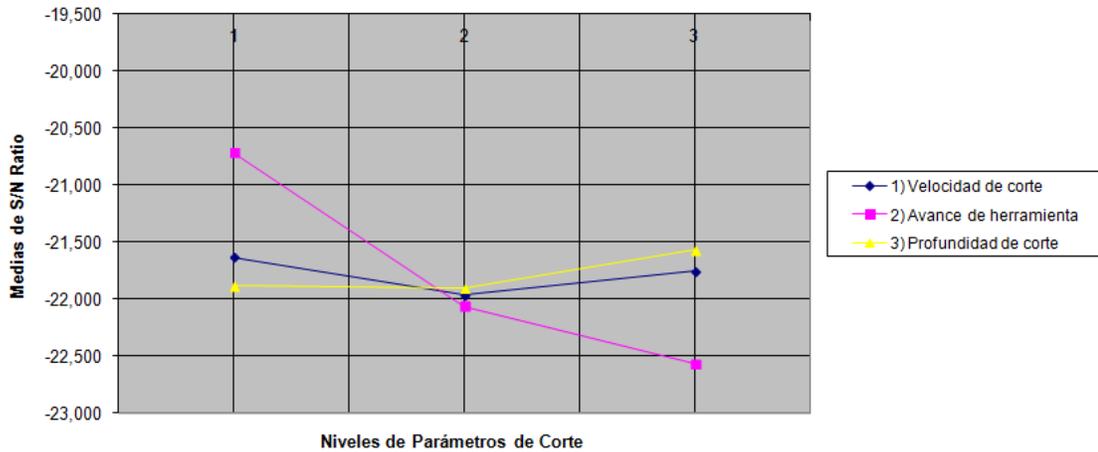


Fig. 1

### 3.1.4 Análisis de Varianza

El propósito de este análisis es determinar cuáles parámetros afectan con mayor significancia a las características de calidad.

En la Tabla 5, se puede observar cómo afectan los tres parámetros a la característica de Rugosidad.

El parámetro que tiene mayor influencia en la característica es el Avance de la Herramienta, seguido de la Profundidad de Corte y por último, la Velocidad de Corte.

Tabla ANOVA					
Parámetros de Corte	Grados de Libertad	Suma de las Desviaciones Cuadradas	Media de las Desviaciones Cuadradas	Parámetro F	Contribución
1) Velocidad de corte	2	0,162	0,081	0,19781543	<b>2,43127687</b>
2) Avance de herramienta	2	5,488	2,744	6,6924562	<b>82,25452553</b>
3) Profundidad de corte	2	0,202	0,101	0,24600557	<b>3,023564219</b>
Error	2	0,820	0,410		<b>12,29063338</b>
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>6,672</b>			<b>100</b>

Tabla 5

Una vez realizado los análisis de S/N y ANOVA, podemos determinar que el diseño óptimo de parámetros de este caso de estudio es el siguiente:

**Parámetros Óptimos según Método (a confirmar por prueba)**

1) Velocidad de corte	<b>162</b>
2) Avance de herramienta	<b>0,45</b>
3) Profundidad de corte	<b>1,2</b>

Tabla 6

### 3.1.5 Pruebas de Confirmación

Una vez determinada los parámetros óptimos, se debe proceder a una prueba de confirmación para evaluar la eficacia del método.

Para este estudio, se está a la espera de los resultados de la prueba de confirmación, el cual se realizará en la empresa automotriz que está colaborando en este trabajo.

#### **4. CONCLUSIONES**

En este trabajo se estudia la aplicabilidad del Método Taguchi para la optimización de los parámetros de corte en una operación de torneado.

Como se demuestra en este trabajo, el Método descrito provee una herramienta sistemática y eficiente para el diseño de parámetros óptimos.

En el caso estudiado, se detecta que la Rugosidad puede ser mejorada en forma significativa en operaciones de torneado.

Para el estudio completo, se está a la espera de los resultados de la prueba de confirmación.

#### **5. AGRADECIMIENTOS**

Se agradece especialmente a Mauricio Coggiola y Pablo Paz por su colaboración con este trabajo y la facilitación de información y datos necesarios para el caso de estudio.

#### **6. REFERENCIAS**

E. A. CRUZ RESTREPO; J. E. RESTREPO CORREA, et al. Comparación de las metodologías clásica y Taguchi del diseño experimental en un ingenio azucarero del valle del cauca, *Universidad Tecnológica de Pereira*, 2008.

G. TAGUCHI, Introduction to Quality Engineering, *Asian Productivity Organization*, Tokyo, 1990.

M.D. RUIZ MEDINA, TEMA 9: Desarrollo de la metodología de Taguchi, *Universidad de Granada*, 2004.

W.H. YANG, Y.S. TARNG, Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method. *Journal of Materials Processing Technology*, 1998, Vol. 84, p. 122–129.