

## **Cermets's utilization and his effect in the machined surface multifactorial analyzed**

**Luis M. Sarache**

*Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ing. Mecánica. Mérida,  
Edo. Mérida. Venezuela. Grupo: Análisis Multifactorial Aplicado a la Industria.  
Telf. 0274-2402921. Fax. 0274-2402806, sarachel@ula.ve*

### **Abstract**

The finished superficial one is studied and analyzes in national steels of the mechanized one by tools of hard metal (cermets) (TNMG); when they actuate the variables: depth, advance and speed of cut, type of tool and material of the piece, using the experimental design, applying a Fractional Factorial Design (DFF)  $2^{7-4}$ , which diminishes significantly the effort, time and cost of the experimentation on having realized the analysis multifactorial. Since result takes the advance as an only one factor of an individual way, this one will not be analyzed by his little effect in the significant one on the finished one, since the analysis is in use following the methodology for the case of graphs of two routes with interaction or combination of variables as: depth to 0.5 mm. And speed of cut to 266.41 m/min, they turn out to be the most favorable situation on having achieved a value I mediate of 3.51  $\mu\text{m}$ ; whereas the least favorable, is achieved by the same speed but to major depth 1,5 mm. There is verified experimentally that on having increased the depth of cut it worsens the finished one, this situation, very similar to the one that happens with the wear of the flank of tool, nevertheless, the fact of not obtaining the operational total factors to improve the finished one they do not concern since what is claimed is to determine the trends for the search of the optimization.

**Key words:** Cut of materials, quality control, finished superficial, multifactorial analysis, factorial design.

## **Utilización de cermets y su efecto en la superficie mecanizada analizado multifactorialmente**

### **Resumen**

Se estudia y analiza el acabado superficial de aceros nacionales mecanizados con herramientas de metal duro insertos (TNMG); cuando actúan las variables: profundidad, avance, velocidad de corte, tipo de herramienta y material de la pieza, utilizando un Diseño Factorial Fraccionado (DFF)  $2^{7-4}$ , que disminuye significativamente el esfuerzo, tiempo y costo de la experimentación al realizar el análisis multifactorial. Como resultado se tiene el avance como único factor de manera individual, éste no será analizado por su poco efecto en el significativo sobre el acabado, ya que el análisis se utiliza siguiendo la metodología para el caso de diagramas de dos vías con interacción o combinación de variables como: profundidad a 0,5 mm., y velocidad de corte a 266,41 m/min., que resultan ser la situación más favorable al lograr un valor promedio de rugosidad de 3,51  $\mu\text{m}$ ; mientras que la menos favorable, se logra con la misma velocidad pero a mayor profundidad 1,5 mm. Se comprueba experimentalmente que al aumentar la profundidad de corte empeora el acabado, situación esta, muy similar a la que sucede con el desgaste del flanco de herramienta, sin embargo, el hecho de no conseguir los factores ope-

racionales totales para mejorar el acabado no afectan ya que lo que se pretende es determinar las tendencias para la búsqueda de la optimización.

**Palabras clave:** Corte de materiales, control de calidad, acabado superficial, análisis multifactorial, diseño factorial.

## Introducción

Desde la invención de la mandrinadora creada por J. Wilkinson, el uso de los materiales ha trascendido de tal manera que no basta simplemente producir piezas de manera rápida y con buen acabado superficial, esto ha obligado a crear nuevos materiales para herramientas, sistemas de control avanzados y equipos cada vez más complejos que puedan de alguna manera incidir en la producción cuando ésta no esté dentro de los niveles de calidad exigidos, por ello se ha dedicado mucho esfuerzo y tiempo en el estudio del comportamiento de los materiales y el producto de la combinación de elementos metálicos, obteniéndose con esto, un acabado superficial que aumente la vida útil de la pieza al mejorar las superficies en contacto y disminuir la probabilidad de micro grietas que aceleren la falla mecánica. Es necesario conocer el efecto de las variables más importantes en el acabado superficial de piezas mecanizadas, por ello, el presente trabajo, plantea como objetivo, utilizando la metodología del Diseño Experimental Fraccionado Saturado (DFFS) y el Análisis Multifactorial de variables como herramientas para poder determinar las variables y sus interacciones que afectan el acabado superficial, entre las que se cuentan las siguientes: material de pieza en función del % de carbono, diámetro de la pieza, el tipo de portaherramientas, fluido de corte, la velocidad, el avance y profundidad de corte.

Con estas siete variables, se pretende obtener un patrón de respuesta que permita indicar cuáles de éstas inciden en el acabado superficial de manera significativa tal como lo plantea en sus estudios generales sobre manufactura Alting [1], de esta forma se pueden conseguir las condiciones, individuales o de interacción con las que se logre una superficie igual o mejor a las establecidas en la norma ISO Recommendation R 1302, 1<sup>ra</sup>, Ed., de 1971. Estas siete variables con dos niveles para cada una de ellas implica en total 16 ensayos básicos incluyendo las réplicas, pero con la ayuda de los (DFFS)  $2^{(7-4)}$ , esto disminuye considerablemente las pruebas, esfuerzo y costo que

regularmente se aplica para este tipo de estudios experimentales [2].

Como condición inicial hubo la necesidad de mecanizar las piezas, con longitudes y diámetros adecuados para cumplir con el tiempo de permanencia de contacto de la herramienta, se aplica la metodología experimental, logrando resultados y se analizan multifactorialmente los datos. Como apoyo a los estudios tribológicos de Kalpajian [3], se concluye que el mejor acabado superficial se obtiene al trabajar un acero AISI 1020 con el mínimo valor de avance de corte 0,25 mm/rev, independientemente del tipo de porta herramienta y de que exista lubricación o no para el caso de uso de insertos.

## Desarrollo Experimental

La investigación científica en el campo del acabado superficial de piezas, ha generado un creciente interés sobre la calidad de las piezas mecanizadas en las últimas décadas, con un gran esfuerzo para dilucidar sus causas y así predecir sus efectos, como hay un contacto continuo entre la herramienta y la pieza, donde la primera, es presionada contra la pieza, la cual es más blanda y es encajada por la herramienta si los ángulos son pequeños, produciendo una textura superficial con desviaciones repetitivas y aleatorias donde se presentan las ondulaciones [4], totalmente distintas a las fallas generadas por grietas, rayas, inclusiones y defectos, que se pueden presentar, por el contrario, cuando los ángulos son grandes la fractura del material sigue las líneas de deslizamiento generadas por los cortantes máximos en el material. Groover [5].

Las variables velocidad, avance y profundidad de corte se determinan según: operación, rigidez de la máquina, material, tipo y material de la herramienta y uso o no de fluido; para los metales duros, éstos se encuentran especificados según DIN 4990 y su uso por las recomendaciones ISO y las operaciones de corte dadas por el grupo P de Sandvik C.A., recubiertas con capas delgadas de un material resistente al desgaste, como

carburo de titanio, nitruro de titanio u óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ), con posibilidad de alojamiento tipo T o de mango, para obtener los parámetros a partir de la convergencia de las medidas de las variables físicas similares a los acabados obtenidos en láminas para uso industrial [6].

Los Diseños Experimentales Fraccionados Saturados DFFS desarrollan y depuran los procesos, logrando, mejorar el rendimiento, ya que, la meta puede ser desarrollar una manufactura consistente o robusta y optimizada en función de las variables de estudio y sus efectos sobre el mismo [7], es decir, que se encuentre afectado muy poco por fuentes de variabilidad externa que pueden generar ruido más no efecto real sobre el acabado superficial [8], que coincide con otros investigadores. La metodología estadística es el enfoque objetivo para analizar un problema que involucre datos sujetos a errores experimentales, tal que hay dos aspectos en cualquier problema experimental: el diseño del experimento y su análisis. Estos están relacionados, con estudios conocidos, ya que el método depende del diseño empleado que ha sido probado y soportado por la metodología y el análisis, de allí la necesidad de establecer las variables de estudio.

La unidad experimental para este estudio es el acero que será mecanizado y se escoge el mismo por ser un producto nacional y hace falta caracterizarlo desde el punto de vista de manufactura; el tratamiento, es el acabado superficial por ser el determinante de los niveles de calidad en la producción de las piezas; en la Tabla 1 se in-

dican los factores o variables independientes, y éstas son cuatro cuantitativas y tres cualitativas sin que esto genere ningún tipo de inconveniente desde el punto de vista estadístico, a su vez, los niveles representativos del rango de operación convencional se consideran como el grado de un factor operativo de cada variable.

### Fase Pre-Experimental

Las variables son: El material, acero comercial AISI-1020 y 1045, y herramienta de Metal Duro: T-MAX P, para cilindrado externo código: TNMG 160408-PM 4015. Según el código de identificación de las herramientas ISO 1832-1991: luego de evaluada para la experimentación se utilizan los siguientes valores: Avance: Mín.= 0,25 y Máx.= 0,50 mm/rev, Velocidad: Mín.= 400 y Máx. = 800 r.p.m., Profundidad: Mín.= 1,0 y Máx. = 2,5 mm., Diámetro de Pieza: Mín.= 19,05 mm., y Máx.= 25,4 mm., Fluido de Corte: aceite soluble de alta presión en emulsión y Tipo de Porta Herramienta: el tipo "T" y de Mango con Tiempo de Mecanizado de 30 s., y longitud de pieza [LP] que garantice contacto, Tabla 2.

### Fase Experimental

Se basa en el concepto de Patrón de Confusión, el cual confunde el efecto de las variables de interés con los efectos de las interacciones de alto orden y en este caso en particular se denomina saturado ya que el mismo reduce a la mínima expresión posible el número de ensayos a realizar.

Tabla 1  
Factores o variables de estudio, tipos, codificación y niveles correspondientes para un Diseño Factorial Fraccionado Básico (DFF)  $2^7$ .

Factores o variables de estudio	Tipo de variable	Niveles		
		Alto	Bajo	
Avance	[S] (mm./rev)	Cuantitativa	0.25	0.50
Velocidad	[N] (r.p.m.)	Cuantitativa	400	800
Profundidad	[P] (mm)	Cuantitativa	1	2.5
Diámetro de Pieza	[D] mm	Cuantitativa	3/4	1
Material de Trabajo	[M] % C	Cualitativa	AISI-1020	AISI-1045
Fluido de Corte	[L] adimensional	Cualitativa	No	Si
Tipo de Porta herramienta	[PH] adimensional	Cualitativa	Tipo " T "	Mango

Tabla 2  
Longitudes de pieza para garantizar permanencia de contacto de la Plaquita.

Muestra	[LP] mm.	[S] mm./rev.	[N] rpm.	[P] mm.
L1	73	0.25	400	1
L2	123	0.50	400	1
L3	123	0.25	800	1
L4	223	0.50	800	1
L5	74.5	0.25	400	2.5
L6	124.5	0.50	400	2.5
L7	124.5	0.25	800	2.5
L8	224.5	0.50	800	2.5

El experimento básico posee 7 variables (DFB  $2^7$ ), que requiere en total  $2^7 = 128$  pruebas, para un total general con réplicas de 256 experimentos; es importante aplicarlo ya que el número de pruebas se reduce a mediante el criterio de Patrón de Confusión a 16 pruebas cuando además es saturado el modelo utilizado, generando un estudio de un dieciseisavo fracción explicados anteriormente Sarache [9], esto es un (DFB  $2^{7-4}$ ) = 8 ensayos con dos réplicas para un total de 16 pruebas, donde se demostró [10], que era independiente del número de réplicas, que no incluye valores intermedios sino mínimos y máximos como representativos del rango de operación que se ajusta a la metodología de los (DFFS).

Para poder determinar la significancia se debe calcular la varianza individual y de interacción, para ello se utiliza la ecuación, donde dif., es la diferencia de las dos réplicas efectuadas en los ensayos:

$$S^2 = \left[ \left( \sum dif^2 \right) / 2g \right] = 0.0225 \mu m^2 \quad (1)$$

Donde g es el grado de libertad total del experimento, en este caso es 8:

$$S^2 = [S^2]^{1/2} = 0.15 \mu m \quad (2)$$

Para determinar la Varianza y el Error de los efectos del experimento se aplica:

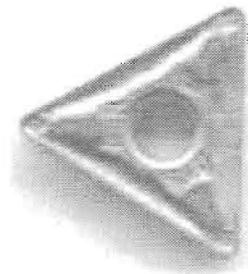


Figura 1. Reproducción fotográfica de una Plaquita TNMG 160408-PM 4015.

$$V(\text{efecto}) = (4 / 2g) S^2 = 0.0056 \mu m^2 \quad (3)$$

El Error de estos efectos se calcula:

$$E(\text{efecto}) = [V(\text{efecto})]^{1/2} = 0.075 \mu m \quad (4)$$

El valor de significancia es equivalente a 2\*Error de estos efectos, por lo tanto, será= 2\* 0.075  $\mu m$ = 0.15  $\mu m$  y para calcular el efecto de cada variable solo basta utilizar los datos aportados por la Tabla 3, insertándolos en la siguiente ecuación planteada por Box y Hunter [11], según el programa desarrollado SEMPRO [12], como herramienta de cálculo para determinar los efectos significativos tanto individuales como en interacción.

$$\text{Efecto } [x] = (2/N) \Sigma [\text{Valor Medio de Acabado} \\ * \text{Signo } + \text{ o } - \text{ de columna de variable de estudio}] \quad (5)$$

Tabla 3  
Valores promedios de rugosidad y de las diferencias de tres longitudes del (DFFS)  $2^{7-4}$ .

Muestra	Corrida ( $\mu\text{m}$ )								[Ra]( $\mu\text{M}$ )	Dif	Dif <sup>2</sup>	
	[S]	[N]	[P]	[CC]	[D]	[L]	[PH]	[A]				[B]
1	-	-	-	+	+	+	-	5.5	5.4	5.4	0.1	0.01
2	+	-	-	-	-	+	+	6.7	7.0	6.9	-0.3	0.09
3	-	+	-	-	+	-	+	4.5	4.1	4.3	0.4	0.16
4	+	+	-	+	-	-	-	9.0	8.8	8.9	0.2	0.04
5	-	-	+	+	-	-	+	6.3	6.1	6.2	0.2	0.04
6	+	-	+	-	+	-	-	8.9	8.8	8.8	0.1	0.01
7	-	+	+	-	-	+	-	5.1	5.0	5.1	0.1	0.01
8	+	+	+	+	+	+	+	8.5	8.5	8.5	0.0	0.00

$$\sum \text{Dif}^2 = 0.36$$

### Resultados

Los efectos que satisfacen el objetivo de la investigación para determinar cómo o en qué medida las variables independientes disminuyen el acabado superficial; se consideran las que poseen signo negativo por presentar un mejor acabado y las interacciones de variables para controlar mejor el proceso, hasta un máximo de cuatro interacciones de dos variables de resultado negativo.

Según la Tabla 4, hay que considerar aquellos efectos que poseen valores negativos ya que los mismos generan valores de rugosidad bajos, que a su vez producen el mejor acabado superficial; caso concreto los efectos significativos individuales Contenido de Carbono [CC] y Portaherramientas [PH], que no pueden ser analizados individualmente siguiendo la metodología de los Diseños Experimentales, ya que los mismos resultan asociados a otra variable tal como se muestra en la Tabla 5; en este caso el material y tipo de porta herramienta están asociados o en interacción con el avance y coincidentalmente las gráficas son las mismas para cada caso, no se consideran los otros valores significativos y su representación gráfica ya que los mismos no provienen del efecto individual, de allí la importancia de aplicar correctamente la metodología que genera la superficie de respuesta adecuada para este fin. Siguiendo

los criterios vigentes utilizados, entonces, se deben estudiar los efectos de interacción asociados a las dos variables anteriores calculados por el Programa SEMPRO II desarrollado por el Grupo de Análisis Multifactorial Aplicado a la Industria, donde se aprecia como interactúan con el avance como variable vinculante de los efectos significativos, en este caso, se considera de vital importancia analizar estas asociaciones que permiten controlar mayor número de variables que según su orden de magnitud serán las interacciones: [S] x [PH] y [S] x [L].

### Discusión

En la Figura 2, se aprecia que coinciden los valores de las interacciones con respecto al avance, se logra el mínimo valor de acabado para el menor avance independientemente que se cumplan las otras condiciones tanto del porta herramienta como de la existencia de lubricación, lo que coincide con lo planteado en la cual el coeficiente de fricción disminuye en la medida que la interfase de temperatura sea mayor, en este caso con interfase muy baja por el poco tiempo de contacto el coeficiente tiende a mantenerse constante, de allí su poco efecto sobre la utilización o no del lubricante y efectivamente se demuestra lo planteado [13], utilizando un acero 1018 con herramientas K1 recubiertas con WC, ya que las le-

Tabla 4  
Efectos Individuales de las distintas variables básicas de un (DFFB)  $2^7$ .

Efectos Individuales		Efectos ( $\mu\text{m}$ ) $\pm$ 2 Error ( $\mu\text{m}$ )
Avance	[S]	+3.025 $\pm$ 0.15
Velocidad de Corte	[N]	- 0.150 $\pm$ 0.15
Profundidad de Corte	[P]	+0.775 $\pm$ 0.15
Diámetro de Pieza	[D]	+1.000 $\pm$ 0.15
Contenido de Carbono	[CC]	-0.575 $\pm$ 0.15
Fluido de Corte	[L]	-0.025 $\pm$ 0.15
Tipo de Portaherramientas	[PH]	-0.575 $\pm$ 0.15

Tabla 5  
Efectos de Interacción de las distintas variables básicas de un (DFFS)  $2^{7-4}$ .

Efectos de interacción de variables		Efectos ( $\mu\text{m}$ ) $\pm$ 2 error ( $\mu\text{m}$ )
Avance x Contenido de Carbono	[S] [CC]	-0.575 $\pm$ 0.15
Avance x Tipo de Porta herramienta	[S] [PH]	-0.575 $\pm$ 0.15
Velocidad x Profundidad	[N] [P]	-0.575 $\pm$ 0.15
Velocidad x Fluido de Corte	[N] [L]	-0.575 $\pm$ 0.15
Profundidad x Diámetro de Pieza	[P] [D]	-0.575 $\pm$ 0.15
Diámetro de Pieza x Fluido de Corte	[D] [L]	-0.575 $\pm$ 0.15

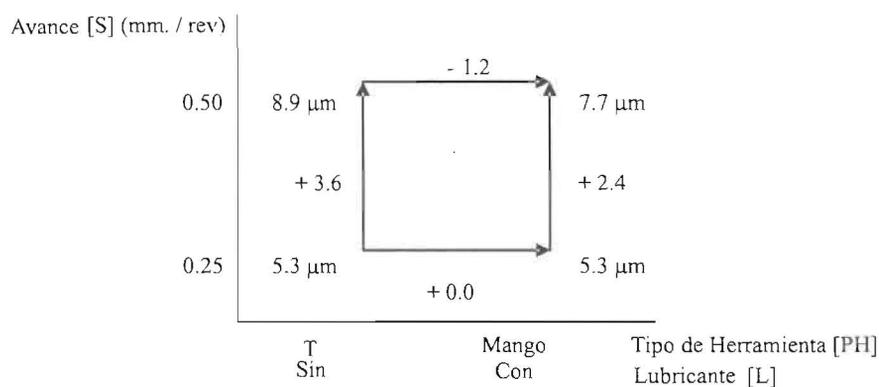


Figura 2. Diagrama de dos vías de la interacción Avance [S] y Portaherramientas [PH] y Avance [S] y Lubricante [L].

yes de la fricción que inciden en el acabado superficial tienden a ser calibradas con el uso de datos experimentales sencillos, al no olvidar el efecto del coeficiente de fricción y su efecto sobre el desgaste como una función de la geometría de la herramienta, factor este que tiene incidencia tal como lo demuestra Kaldor [14], cuando se evalúa

este tipo de factor como una alternativa planteando la metodología de la Lógica Difusa, se establece el método en dos pasos sobre la confiabilidad de las salidas de los procesos de manufactura en términos del Esfuerzo Optimo ( $\sigma$ )<sub>Opt.</sub> y el valor del Esfuerzo Real ( $\sigma$ ) para la geometría de la herramienta a utilizar.

9. Sarache, L.M. "Calidad del Embutido No Profundo Analizado con un Diseño Factorial Fraccionado  $2^{(6-2)}$ ", IV CIDIM, Santiago de Chile, Chile. Vol. 1 (1999) 322-328.
10. Atkinson, A. "Recent developments in the methods of optimum and related experimental designs", *Internat. Statistics*, (1988) 99-115.
11. BoxG, E.P., Hunter, J.S. "The  $2^{K-P}$  Fractional Factorial Designs", Parts II, *Technometrics* 3, (1961) 311-351; 449-458.
12. Torres, A., Sarache, L. "Sistema para la Evaluación Multifactorial de Procesos u Organizaciones (SEMPRO)", IICONIM, Mérida, Venezuela, (1997) 421-428.
13. Benítez, L. "El Proceso Tribológico Productivo" Memorias del II Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela (1998) 440-452.
14. Kaldor, S., Venuvinov, P. Macro level optimization of cutting tool geometry, *A.S.M.E. Journal of Manufacturing Science and Engineering* Vol. 119, (1997) 1-4,
15. Drozda, T.J., Wick, C. "Tool and Manufacturing Engineers Handbook", 4th. Ed., Vol. 1, Machining, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, Mich, 1983.
16. Sandvik Coromant AB, Sandvik de Venezuela, CoroKey, 7<sup>ma</sup>, Ed., 2001.
17. Bakerjian, R., Mitchell, P., "Manufacturing and Tool Engineers Handbook", 4th. Ed. 1992.
18. Tze, H., Chung, L. "Refined Friction Modeling for Simple Upsetting", *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol. 119, (1997) 563-569.
19. Machiningdata handbook, 3<sup>a</sup> Ed, Metcut Research Associates, Inc, USA, 1980.
20. Boothroyd, G. "Fundamentos del Corte de Metales y de las Máquinas Herramientas", Ed. McGraw Hill, Bogotá, 1987.
21. Weller, E.J., Reitz C.A. "Optimizing Machinability Parameters with a Computer", G. E. Carboly Systems Dept., Detroit, Michigan, 1988.

Recibido el 12 de Enero de 2004

En forma revisada el 04 de Octubre de 2004