

CARACTERIZACIÓN DE REGÍMENES DE CORTE DEL TORNO SPECTRALIGHT 0400 DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

RESUMEN

Para el proceso de integrar el torno de control numérico Spectralight 0400 a una Celda de Manufactura Flexible (FMC), se requiere definir las condiciones límites (máximas y mínimas) de operación del mismo, mediante el uso de la Teoría de corte, para diferentes materiales comerciales que se usarán en la Celda.

PALABRAS CLAVES : Régimen de Corte. Celda de Manufactura Flexible (FMC).

ABSTRACT

For the integration process of the numeric control Lathe Spectralight 0400 to a Flexible Manufacturing System (FMS), the definition of the limit conditions (maximum and minimum) of operation are required, by the use of the metal Cutting Theory (Cheep removing) for different available materials that will be used in the FMS.

KEYWORDS: *Cutting Parameter. Flexible manufacturing system (FMC).*

CARLOS A. MONTILLA M.

Profesor Auxiliar en Ingeniería Mecánica. Candidato a Msc.
Universidad Tecnológica de Pereira.
cmontilla@utp.edu.co

LUIS CARLOS RIOS Q.

Profesor Auxiliar en Ingeniería Mecánica.
Msc Sistemas Automáticos de Producción
Universidad Tecnológica de Pereira
lcrios@utp.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

Una Celda de manufactura flexible es básicamente un arreglo de dos o más máquinas de control numérico, sumados a un brazo de robot, una estación de visión para control de calidad y unos almacenes (de materia prima, de espera, de producto terminado, etc), todos interconectados y comandados desde un programa central en un Computador. El propósito de una FMS es el de fabricar piezas con número de formas y tamaños de lote intermedios entre el taller convencional y los centros de mecanizado. Dichas piezas están agrupadas de acuerdo a ciertos parámetros comunes (formas, tamaños y secuencias de mecanizado similares, entre otros). Los parámetros comunes son definidos por la Tecnología de Grupos.

Por tal motivo, se hace necesario realizar un acercamiento a la definición de las capacidades de trabajo reales de la máquina, determinando así los regímenes de corte adecuados, para los materiales comerciales a usar, que no sobrepasen las características mecánicas y cinemáticas del equipo.

Para lograr este objetivo se realizaron pruebas de mecanizado con diferentes materiales, combinando las variables de velocidad de corte, profundidad de corte y material de la herramienta; para obtener los valores de potencia consumidas en la máquina.

2. ESPECIFICACIONES GENERALES DEL TORNO DE CONTROL NUMÉRICO

MODELO : SPECTRALIGHT 0400.

ESPECIFICACIONES DE MÁQUINA: RECORRIDO EJES.

EJE X	: 4,6pulg (116mm)
EJE Z	: 6,0pulg (152mm)
VOLTEO	: 3,5pulg (89 mm)
Distancia del carro	: 1,25pulg (32mm)
Transversal al centro de la copa	

ÁREA DE TRABAJO

TAMAÑO TABLERO	: 8,5 pulg x 2,75 pulg
Nº de Herramientas del porta-herramientas	: 4

HUSILLO

MOTOR DE GIRO	: 1/2HP (0.373kW)
TIPO DE MOTOR	: DC MAGNETO PERMANENTE
RANGO VELOCIDAD	: 200 – 2500 RPM
CONO HUSILLO	: MORSE N° 1

CONTRAPUNTA O CABEZAL

CONO	: MORSE N° 0
CARRERACABEZAL	: 1,5pulg (38mm)
DISTANCIA ENTRE CENTROS	: 8pulg (203mm)

EXACTITUD

REPETIBILIDAD:	0,0005pulg (0,0127mm)
RESOLUCIÓN	: 0,00013pulg (0,0032mm)

MOTOR PARA AVANCE

RATA AVANCE	: 0,1–12pulg/min (2–300 mm/min)
-------------	------------------------------------

AVANCE RÁPIDO: 30pulg/min
(762mm/min)
Nº MÁXIMO PASOS : 100 oz in.,
MOTOR 200 pasos/rev

DIMENSIONES MÁQUINA

ANCHO : 23pulg (584mm)
PROFUNDIDAD : 16pulg (406mm)
ALTURA : 18.5pulg (470mm)

El torno se opera desde un PC, bajo sistema operativo DOS o Windows, teniendo la posibilidad de interconectarse a un sistema CAD / CAM.

3. BREVE INTRODUCCIÓN A LOS CONCEPTOS RELACIONADOS CON LOS RÉGIMENES DE CORTE

Los procesos de maquinado para manufactura usan una herramienta de corte para remover el exceso de material de una pieza de trabajo, de tal manera que el material remanente sea la forma de la parte deseada [1].

El Maquinado se puede subdividir en tres procesos principales, torneado, taladrado y fresado.

En el caso particular de estudio del torno sólo se tendrá en cuenta el proceso de torneado, mismo que usa una herramienta de corte con un borde cortante simple (generalmente un buril ó cuchilla), destinado a remover material de una pieza de trabajo giratoria, para dar forma a un cilindro (pieza en bruto a maquinar). Durante el torneado se presentan dos movimientos, un movimiento de velocidad V_c del torneado, realizado por la parte de trabajo giratoria (pieza en bruto) y un movimiento de avance V_a realizado por la herramienta de corte, la cual se mueve lentamente en una dirección paralela al eje de rotación de la pieza de trabajo, como se observa en la figura 1.

Las tres variables que caracterizan el proceso de torneado son:

Un movimiento circular relativo entre la pieza a mecanizar y la herramienta de corte. A este movimiento se le denomina **Velocidad de Corte V_c** , y se expresa en pulg/min ó mm/min.

Un Movimiento lineal relativo entre la pieza a maquinar y la herramienta de corte. A este movimiento se le denomina **Avance V_a** y se expresa en pulg/rev (mm/rev) o mm/min.

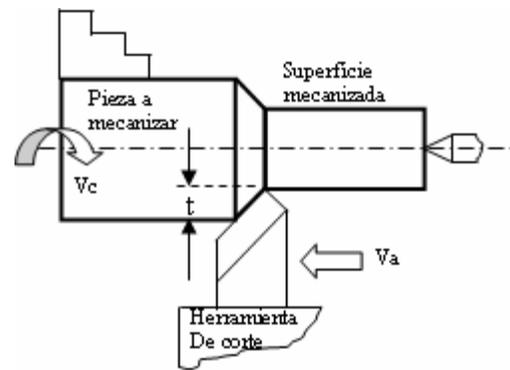


Figura 1. Proceso de cilindrado

En los tornos convencionales la cadena cinemática principal se subdivide para proporcionar el movimiento de avance de la herramienta de corte, es decir el avance depende de las RPM del husillo principal y se expresa regularmente en pulg/rev ó mm/rev.

En los tornos de Control Numérico, Centros de Mecanizado y tornos de fabricación reciente existe un accionamiento separado para el avance, por lo que el avance se expresa en pulg/min ó mm/min, es decir velocidad lineal de desplazamiento de la herramienta con respecto a la pieza.

La herramienta debe penetrar en la pieza una cierta distancia llamada **profundidad de corte t** , la cual se expresa en pulg ó mm.

Las variables anteriores constituyen tres de los elementos principales de un **REGIMEN DE CORTE** en una máquina herramienta, pudiéndose entender entonces un régimen de corte, como el conjunto de variables de corte que intervienen durante un proceso de Mecanizado ó Maquinado, naturalmente estas variables se deben elegir de forma tal, que el proceso se lleve a cabo de manera eficaz, económica y segura.

El producto de las tres variables básicas (V_c , V_a y t) proporciona un factor llamado **Velocidad de Remoción de Material**, la cual está dada por:

$$MRR = V_c * V_a * t, \quad (1)$$

Donde MRR está dada en pulg³/min o mm³/min de material removido durante el mecanizado.

Cabe recordar que el maquinado en general se subdivide en:

Desbaste primario, el cual se usa para remover grandes cantidades de material y producir una forma cercana a la deseada.

Desbaste secundario ó de acabado, el cual se usa para alcanzar las dimensiones finales de la pieza.

La elección del avance adecuado se puede realizar de acuerdo con uno ó varios de los ocho criterios siguientes:

1. Resistencia mecánica del sistema de sujeción de la herramienta.
2. Rigidez del sistema de sujeción de la herramienta.
3. Resistencia mecánica de la plaquita ó inserto (en el caso de herramientas que usen insertos de materiales endurecidos).
4. Resistencia mecánica de la transmisión del avance
5. Rigidez de la pieza a mecanizar.
6. Rugosidad de la pieza a mecanizar
7. Potencia de la máquina herramienta.
8. Tiempo de vida de la herramienta.

Para los casos de **mecanizados en serie** existe la posibilidad de llevar a cabo un proceso de optimización basado en “la Mayor Productividad” ó “Menor Costo de la Operación”, generando modelos matemáticos que expresen las (8) condiciones anteriores y las limitaciones cinemáticas de la máquina herramienta en estudio, hallando una solución analítica y gráfica que satisfaga de manera óptima todas las condiciones. Este método puede ser consultado en la referencia [2].

La conjunción de V_c , V_a y t determinarán la potencia requerida para el mecanizado (P), que finalmente debe ser suplida por el motor del torno.

Si se desea, se puede predecir el tiempo necesario para realizar un corte, que en este caso de estudio no es un parámetro primordial, como si lo es la potencia requerida para el mecanizado.

4. DESCRIPCIÓN DE OPERACIONES FACTIBLES DE REALIZAR EN EL SPECTRALIGHT. MATERIALES A USAR

Las operaciones de Torneado susceptibles de ser realizadas en el Spectralight 0400 son:

4.1 Cilindrado

Operación de mecanizado consistente en generar un sólido de revolución de forma cilíndrica.

4.2 Refrentado

Operación de mecanizado consistente en generar una superficie plana, perpendicular al eje Z de la máquina.

4.3 Conificado

Operación de mecanizado consistente en generar un sólido de revolución de forma cónica, bien sea, un tronco de cono ó un cono completo.

4.4 Torneado de Forma

Operación de mecanizado en la que la pieza final toma la forma con fue conformada previamente la herramienta de corte.

4.5 Roscado

Operación de mecanizado consistente en inscribir una hélice de rosca, sobre la superficie exterior de un cilindro.

5. METODOLOGÍA SEGUIDA

- Se eligieron (4) materiales comerciales para su mecanizado
Aluminio (extruido comercial)
Bronce (SAE 62)
Latón comercial
Teflón (politetrafluoroetileno)
- Para los materiales anteriores se consultaron las Velocidades de corte en la referencia [3].
- Se eligió el cilindrado como la operación de mecanizado a realizar para el análisis.
- Se tomó como herramienta de corte una pastilla de carburo de tungsteno, identificada con la nomenclatura :
 $V B M A 20 04 00 F N^{[4]}$.
- Para cada material se seleccionaron diferentes profundidades de corte, para calcular teóricamente las potencias requeridas.
- Se realizaron en el torno los cilindrados experimentales para cada material.
- Simultáneamente se tomaron los valores de corriente y voltaje del motor, correspondientes a cada material y a cada profundidad de corte. Con los valores anteriores se calculó la potencia real consumida para cada caso, usando la expresión :

$$P = V * I \tag{2}$$

V: Voltaje de alimentación a motor

I: Corriente consumida

P: Potencia consumida por el motor

- Se confrontaron resultados experimentales vs resultados teóricos, de potencia consumida por el motor.

Vc (m / min) Aprox.	Material de la Herramienta		
	Material a mecanizar	Acero alto carbono *	HSS ** Carburos de tungsteno
Aluminio	90	213	305
Latón	15	60	210
Bronce	13	40	90
Teflón			75 – 120

Tabla 1. Velocidades de corte para materiales comerciales a cilindrar

* Carbono entre 0,8 y 1,3%.

** High Speed Steel. Aceros rápidos para herramienta.

Todos los datos de la tabla anterior (a excepción del teflón) fueron tomados de la referencia [3]

Teflón. Material termoplástico, cuyo nombre técnico es Politetrafluoroetileno [3].

5. FÓRMULAS DE LAS VARIABLES DE UN REGIMEN DE CORTE. TABLAS PARA CÁLCULOS.

5.1 Expresiones Generales.

- Velocidad del Husillo (N) en rpm.

$$N = 60 \cdot V_c / (\pi \cdot D) \quad (3)$$

D : diámetro exterior a mecanizar.

- Potencia requerida para el mecanizado (P)

$$P = K \cdot t \cdot V_a \cdot V_c / E \quad (4)$$

E: eficiencia, la cual es del orden de 0,8 para los tornos.

Material a mecanizar	K
Aluminio	4
Latón	6
Bronce	6

Tabla 2. Constante K para el torno [3]

- Tiempo de mecanizado para un proceso de cilindrado (Tm).

$$T_m = L \cdot n / V_a \quad (5)$$

L : Longitud a mecanizar

n : Número de pasadas necesarias para alcanzar el diámetro deseado.

Todas las expresiones y tablas usadas en este numeral 5.1 fueron tomadas de [3]

5.2 Expresiones mejoradas para trabajo con Pastillas de carburo

-Cálculo de la Velocidad de Corte.

$$V_c = C_v / (t^x \cdot S^y \cdot T^m) \quad (6)$$

Material a maquinar	Avance	Coeficiente y exponentes			
		Cv	X	Y	m.
Aleaciones varias cobre HB 100-140	Va<=0.2	270	0.12	0.25	0.23
	Va > 0.2	182	0.12	0.30	0.23

Aleaciones varias de aluminio y duraluminio; HB <= 100	Va <= 0.2	485	0.12	0.25	0.28
	Va > 0.2	328	0.12	0.50	0.28

Tabla 3. Coeficiente Cv y exponentes x,y,m para a herramientas de carburo. Operación de cilindrado [4]

6. CRITERIOS DE LOS REGIMENES DE CORTE APLICADOS AL SPECTRALIGHT 400.

Estudiadas las características del Spectralight 400 y con el panorama ofrecido por las limitaciones de los Regímenes de Corte, se pueden sintetizar los siguientes criterios:

- RPM máximas del Husillo
200 rpm <= N <= 2500 rpm
- Potencia máxima requerida para el mecanizado.
P calculada = P <= 0.373 Kw (1/2 HP)

Puesto que se trata de un torno con fines educativos el tiempo de mecanizado no es condición apremiante en el análisis.

Observando el cálculo de velocidad angular para el motor del husillo, podemos concluir que son pocas las velocidades recomendadas en la teoría que se pueden cumplir para este torno, debido a que éste sólo se puede operar hasta 2500 rpm.

La potencia requerida en el torno se calculó tomando el voltaje de los terminales del motor, que es de corriente continua, y la corriente consumida por el motor para cada profundidad de corte en función de la velocidad de avance de la herramienta.

La combinación de las velocidades de avance y las profundidades de corte para los diferentes materiales ensayados forman un conjunto de resultados, que se presenta en la tabla 4.

Material	Diámetro del eje (mm)	Vel. de corte (pie/min)	R.P.M.	Material de herramienta
Teflón	19	400	2043	Carburo
Aluminio	18	300	1617	Acero al C
	18	1000	5390 *	
Bronce	18	300	1617	Carburo
Latón	19	200	1021	HSS
	19	700	3574 *	

Material	Profundidad de corte (mm)	Pot. teórica (kW)	Potencia Real promedio (kW)
----------	---------------------------	-------------------	-----------------------------

Teflón	1,5	0,058	0,085
Aluminio	0,8	0,021	0,098
Bronce	0,5	0,011	0,086
Latón	1,5	0,065	0,092

Tabla 4. Resumen de cálculos y resultados

7. EJEMPLO DE CÁLCULO

Se desea realizar una operación de cilindrado sobre un eje de diámetro exterior 19 mm (3/4 in), para llevarla a un diámetro exterior de 16mm. El material a maquinarse es Teflón, y se va a usar una herramienta de carburo.

D bruto = 19 mm
 D final = 16 mm
 Material pieza = Teflón
 Material herramienta = Carburo

- Profundidad de corte

$t_{\text{total}} = (19 - 16)\text{mm}/n$. Donde n : número de pasadas.

Se va a realizar el corte en (1) pasada.

$t_{\text{total}} = 1,5\text{mm}$

- Velocidad de la pieza (N) en rpm

Usando $V_c = 400 \text{ ft/min}$ (para herramienta de carburo cortando Teflón), y aplicando fórmula (3)

N = 2043 RPM

- Velocidad de avance.

En el torno se seleccionó $V_a = 25\text{mm} / \text{min}$.

Dividiendo entre las N calculadas, tenemos

Va= 0,0004 pulg/rev.

- Potencia teórica (P)

Usando factor $K = 4$ (para torno y teflón),

P = 0,058 kW

- Potencia real (medida)

Con multímetro y pinza para medición de corriente continua, se obtuvo:

Voltaje = 61 V

Corriente = 1,4 A

Luego, P_{real} = 0,085 kW

Finalmente, se presentan los resultados del cálculo en la Tabla 4, con lo cual se puede decidir si las variables de régimen de corte tomadas son posibles de ejecutar en el Spectralight 0400.

En la misma tabla aparecen condensados los cálculos para los demás materiales elegidos.

8. OBSERVACIONES FINALES Y CONCLUSIONES

En este trabajo se propuso la aplicación de la teoría básica de los regímenes de corte en las máquinas

herramientas, para la caracterización de las condiciones máximas y mínimas de operación del torno Spectralight 400, lo cual se consiguió en parte, ya que algunas de las velocidades angulares del husillo (calculadas a partir de las velocidades de corte recomendadas) no se pueden alcanzar en el torno en estudio.

Se definieron los regímenes de corte alcanzables, se puntualizaron las características del torno Spectralight, se realizó una consulta de propiedades (Tabla 1) de algunos materiales comerciales factibles de ser usados y con base en ello se calcularon los parámetros de trabajo del torno para unos materiales específicos.

Las principales conclusiones que se pudieron obtener en este estudio fueron:

En el torno no puede realizar maquinados con una profundidad de corte muy grande, debido a la alta vibración que se presenta. Las potencias reales y teóricas indican que sería factible de lograrlo, pero la parte estructural del equipo impide alcanzarlo (la estructura del torno no es muy robusta, debido a que es un torno de carácter didáctico, por lo tanto no absorbe muchas vibraciones, lo cual no depende de la adecuada sujeción del mismo).

Se observó que los cálculos de potencia real obtenidos en los ensayos de cilindrado para diferentes materiales, son mayores que la respectiva potencia teórica calculada.

Se debe prestar especial atención a la operación del torno, puesto que con los materiales comerciales ensayados y unos regímenes de corte cuidadosamente seleccionados, el torno presenta un funcionamiento satisfactorio.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] GROOVER M. Fundamentos de manufactura Moderna. Materiales, procesos y sistemas. Ed. Prentice Hall Hispanoamerica S. A. 1996.
- [2] HENAO E., DIAZ A., SALAZAR E. Principio de Cálculo de los elementos del Regimen de Corte usando la Computadora. U. T. P. 2002.
- [3] POLLACK H. Máquinas Herramientas y manejo de Materiales. Ed. Prentice Hall International..
- [4] CHEVALIER A.; BOHAN J. (1999). Tecnología del Diseño y fabricación de piezas metálicas. Editorial Limusa.
- [5] BAUMEISTER T., AVALLONE A., BAUMESITER III T.(1992). Manual del ingeniero Mecánico. Programas Educativos S. A. de C. V.
- [6] KOSILOVA, MESCHERIAKOV. Manual del Tecnólogo de Máquinas. Tomo 2.

Resumen de cálculos y resultados

Material	Diámetro del eje (mm)	Vel. de corte (pie/min)	R.P.M.	Material de herramienta
Teflón	19	400	2043	Carburo
Aluminio	18	300	1617	Acero al C
	18	1000	5390 *	
Bronce	18	300	1617	Carburo
Latón	19	200	1021	HSS
	19	700	3574 *	

* Estas velocidades sobrepasan las máximas del torno en estudio

Material	Profundidad de corte (mm)	Pot. Teórica (kW)	Potencia Real promedio (kW)
Teflón	1,5	0,058	0,085
Aluminio	0,8	0,021	0,098
Bronce	0,5	0,011	0,086
Latón	1,5	0,065	0,092

V : Forma de la pastilla (Romboidal)
 B : Ángulo de incidencia de la pastilla (5°)
 M : Tolerancia en las medidas de la pastilla
 A : Tipo de pastilla (sujeción con tornillo central)
 20 : Tamaño de la pasilla (diagonal mayor del rombo)
 04 : Espesor de la pastilla
 00 : Radio de la punta (ángulo vivo)
 F : Arista de corte (neutra, sin redondeos)
 N : Ejecución del corte (Neutro)
 El ancho de la pastilla (diagonal menor) es 7mm. Material amarillo (M).