

ESTUDIO DEL DESEMPEÑO DE HERRAMIENTAS DE CORTE DE ACERO RÁPIDO CONVENCIONAL Y ACERO RÁPIDO SINTERIZADO EN LA INDUSTRIA METALMECÁNICA

Jorge Mario Grueso Castillo

Ingeniero Mecánico, Magister en Ingeniería Mecánica, Docente programa Ingeniería Electromecánica Universidad Autónoma de Colombia. Integrante grupo de investigación en ENERGÉTICA, adscrito al SUI. jorge.grueso@fuac.edu.co

Recibido: 03-11-2009, aceptado: 17-11-2009, versión final: 17-11-2009¹

RESUMEN

Este trabajo aborda el estudio de las principales variables que inciden en el proceso de torneado, particularmente su relación e incidencia en la optimización de procesos productivos de piezas mecanizadas. Con el uso apropiado de las herramientas de corte en los procesos de arranque de material es posible optimizar el desempeño de las herramientas, no sólo por la prolongación de vida de la herramienta, sino que por aumento de productividad, con reducción de costos operativos. La propuesta metodológica presentada en este trabajo se basa en el estudio dimensional de las variables que permite atrapar la física del proceso de corte adicionando a las variables mecánicas, los costos de producción. Se realizaron pruebas con diferentes herramientas con el fin de validar los números planteados en talleres de mecanizado y determinar si las herramientas son utilizadas bajo parámetros óptimos productivos, planteando alternativas de mejoramiento de producción desde una visión técnico-económica.

Palabras clave: análisis dimensional, Torneado, herramientas de corte.

ABSTRACT

The present paper consist in the study of the tool wear of sintered high speed steel, conventional high speed steel, hard metal widia and tungsten carbide in turning. The testing in turning operations at workshops in Bogotá, under different sequences of work piece materials and cutting conditions up to the wear of the tool. Data were collected to develop a graph relating two non-dimensional numbers (π_1 , π_2). Graphs constructed with collection of many data show to be convergent to a zone where all data can be agglutinated of non-dimensional numbers π_1 y π_2 , they facilitated to do the comparisons between tools.

Keywords: Dimensional Analysis, turning, tool Wear.

¹ La técnica de números adimensionales aplicada en la medición de variables de operación en mecanizado de materiales ha sido desarrollada por el grupo LATEMM (Laboratorio de Técnicas Modernas de Manufactura) de la Universidad de Los Andes. El trabajo fue elaborado dentro del tema de investigación de tesis de maestría en Ingeniería Mecánica del Ing. Jorge Mario Grueso Castillo.

1. INTRODUCCIÓN

Es de gran importancia en ingeniería conocer los costos asociados a una producción y las velocidades o tasas a las que se llega a un objetivo final de manufactura, generalmente una alta tasa de producción significa probablemente unos bajos costos asociados a la misma.

Un análisis de costos en una producción puede ser un asunto complicado y muchas veces aplica solo a una operación que se encuentre bajo estudio. La importancia de las operaciones de remoción de material en el panorama actual se puede visualizar considerando las cifras de los costos asociados con esta actividad, los cuales incluyen el aumento de los costos de herramientas, costos laborales y costos de inversión de capitales. En los Estados Unidos, se estima que los costos anuales asociados a los procesos de remoción de material constituyen alrededor del 10% del producto interno bruto (Shaw, 2005).

En el ámbito local es visible y palpable que la experiencia obtenida por los operarios a través del tiempo les permite trazar reglas empíricas capaces de sentar directrices y determinar las condiciones de corte muy cercanas a las óptimas en operaciones específicas de maquinado haciendo que la introducción de formas, procesos y métodos más elaborados técnicamente, choquen de manera brusca en procura de un objetivo básico que es la optimización del proceso de corte de material, de allí que el conocimiento de las condiciones de los procesos de corte y su relación con las variables que inciden el desempeño de la herramienta sea un tema de permanente investigación.

Al tratar de encontrar una metodología para determinar cuál es el comportamiento óptimo de una herramienta de corte en operación de torneado desde la óptica (visión-perspectiva) económica se requiere responder a ciertas preguntas orientadoras:

- a) Para ese mediano taller de mecanizado con máquinas herramientas controladas numéricamente y/o convencionales

donde se conocen o son medibles una serie de variables que inciden directamente en los costos finales de producción. ¿Es posible conocer los costos asociados en la producción de una pieza en serie?

- b) Al tratar de comparar una herramienta con otra desde la óptica ya mencionada. ¿Cómo se puede determinar cuál es la de mejor productividad? Si productividad para nuestro caso es obtener la mayor cantidad de piezas a un menor costo (¿o menor tiempo?).
- c) ¿Cuáles deben ser los criterios, a partir de un conocimiento básico del proceso de corte en torno, que me direccionan hacia la determinación de las mejores condiciones de trabajo para obtener una optimización del proceso?

2. APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE ANÁLISIS DIMENSIONAL PARA LA OPTIMIZACIÓN DE COSTOS Y EL CORTE DE METALES

La física es una ciencia exacta y se basa en la precisa medida de las cantidades donde los procesos de medida pueden ser directos como encontrar las longitudes de una mesa, o indirectos como la determinación de la longitud de onda de una luz monocromática, expresados básicamente en cuatro dimensiones básicas: masa, longitud, tiempo y temperatura.

La economía esta asistida por otros significados y otros tipos de medidas, por ejemplo la cantidad de materia en un cuerpo no es un caso simple de medida para un economista, más si lo sería algún caso de macro-economía como la ecuación de cambio de moneda $MV=PT$ (Frits, 1967). En pocas palabras

Solo los físicos e ingenieros pueden escoger para un caso dado las dimensiones primarias para un estudio físico y solo los economistas pueden escoger dimensiones primarias económicas

así lo expresa en su libro el profesor Frits J. de Jong, haciendo referencia al estudio por análisis

dimensional de algunos casos prácticos donde la fusión de las dos disciplinas es inevitable.

En el siguiente trabajo se realiza un intento riguroso por debatir esta afirmación y proponer un estudio económico a partir de una visión de ingeniería, para tal efecto es crucial desde cualquier punto de vista escoger las dimensiones primarias que gobiernan un fenómeno. Conociendo que la medida cuantitativa de algo es un número que podemos usar como punto común entre dos disciplinas que al parecer son distantes en sus conceptos pero de alguna manera usan números para describir comportamientos de un objeto de estudio.

Por otro lado, conociendo que los estudios experimentales suelen ser muy costosos, es necesario reducir al mínimo la experimentación requerida, esto se hace empleando una técnica llamada análisis dimensional, que se basa en el concepto de homogeneidad dimensional, asegurando que todos los términos de una ecuación tengan las mismas dimensiones (Potter, 1998).

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En Colombia, sólo en la Universidad de Los Andes, se ha estudiado el fenómeno de la vida de herramientas utilizando la técnica de análisis dimensional. Además, se tiene conocimiento que la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, también realiza investigaciones en el tema de desgaste de herramientas.

La revisión bibliográfica se basó fundamentalmente en las tesis de grado realizadas en la Universidad de Los Andes en temas de mecanizado y los libros de texto sobre corte de metales. Destacándose el aporte de los trabajos de los estudiantes de pregrado Carolina Pérez González quien durante el 2004 estudió el desempeño de pastillas intercambiables de acero rápido sintetizado en la industria metalmeccánica nacional (Perez, 2004) y Juan Guillermo Saavedra Santibáñez, quien desarrolló una metodología para realizar ensayos sistemáticos de mecanizado en Colombia en el mismo año (Saavedra, 2004).

A pesar de la escasa literatura que existe de metodologías de estudios experimentales para evaluar el desgaste de herramientas en corte de metales utilizando números adimensionales, la referencia (Astakhov, 1998) presenta un capítulo completo sobre el tema bajo el enfoque termodinámico.

Así mismo, ningún análisis de tipo dimensional ha sido asociado a conocer cuál es la influencia de la optimización de procesos y herramientas en los costos finales de una producción programada, que es un gran aporte de este trabajo a la industria metalmeccánica nacional. La operación básica de torneado, también llamada corte semi-ortogonal en el laboratorio de investigaciones (Trent, 2000) facilitará inicialmente el estudio de los parámetros adimensionales por ser la operación más empleada en el trabajo experimental de corte de metales.

4. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES RELEVANTES

Para describir el fenómeno antes mencionado es necesario determinar primero las magnitudes que pueden ser útiles, aquellas que tienen una influencia primordial en su desarrollo; después nos interesa conocer las relaciones existentes entre ellas.

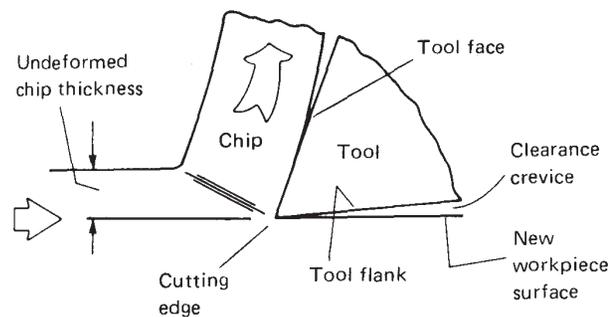


Figura 1. Modelo de formación de viruta.

Fuente: Referencia (Micheletti, 1980), p. 74.

- T_p Tiempo de preparación de la máquina.
- T_i Tiempo de Improductividad.
- T_{cd} Tiempo Carga y Descarga de material.
- T_t Tiempo Cambio de la Herramienta.

Dado que el enfoque que se requiere en nuestro caso estudio que son los medianos y grandes talleres capaces de producir en línea cantidades considerables de piezas, el criterio que se debe tener en cuenta es el de la optimización del costo, es decir, encontrar las condiciones de corte para cierta combinación de variables manipulables en la cual se obtenga el menor valor económica-mente hablando de la pieza obtenida teniendo en cuenta que para cumplir ese objetivo fue necesario invertir dinero y tiempos (con costos adicionales).

Variables Econométricas relevantes en este enfoque:

a) Tiempos

Unidades: [tiempo] ► [s]. Se describen:

Tiempo de preparación de máquina: Periodo en el cual se realiza la operación de y descarga de piezas, posicionar herramientas de corte.

Tiempo de improductividad: Lapso requerido para la regulación o manipulación de maquinaria en tiempo no productivo, incluye el tiempo de NO contacto de la herramienta con el material.

Tiempo de carga y descarga de Herramienta: Medida de la duración en operaciones necesarias para posicionar adecuadamente la herramienta de corte.

Tiempo Cambio de Herramienta: Periodo en el cual se realiza la operación del intercambio de herramienta debido a que se llegó a un criterio de desgaste definido.

b) Costos

Unidades: [\$/tiempo] ► [\$/]. Se describen entonces:

Costo de preparación de la máquina (C_p): Incluye carga y descarga de piezas, posicionar herramientas de corte, donde la máquina esta queda en posición para trabajo efectivo sobre el material.

Definida por:

$$C_p = C_o \times (T_p + T_{cd} + T_t) \quad (1)$$

Donde C_o es el Costo del Operario que será todo aquello cuantificable "EN DINERO" como remuneración pagada por trabajos realizados en relación al proceso de corte.

Costo improductivo: Regulación o manipulación de maquinaria en tiempo no productivo. Dado por:

$$C_i = C_o \times T_i \quad (2)$$

Costo de Fluido de corte [C_f]: Valor asociado al flujo de refrigerante que se añade a operación de torneado con el fin de mantener una temperatura ideal de trabajo que permita tener capa límite entre la herramienta y el material a mecanizar, evitando el excesivo desgaste de la herramienta.

Costo de Herramienta [C_h]: Valor sujeto tanto a las medidas tarifarias "EN DINERO" que proponga el proveedor, como la relación de tiempo que se encuentra la herramienta de corte en contacto efectivo con el material a mecanizar. Decretando un criterio de vida de herramienta según la ecuación de Taylor o tratamiento matemático para definirlo.

Costo Operación de la máquina [C_{om}]: Este valor "EN DINERO" debe contener la información recogida por otras variables que se citan:

- Anualidad²
- Mantenimiento de Maquinaria (Torno).
- Energía Consumida.
- Potencia Nominal del torno.
- Potencia Específica de Corte.

² Es una serie de pagos que cumple con las siguientes condiciones: a) Todos los pagos son de igual valor. b) Todos los pagos se hacen a iguales intervalos de tiempo. c) Todos los pagos son llevados al principio o al final de la serie a la misma tasa. d) El número de pagos debe ser igual al número de periodos.

- Tiempo de trabajo efectivo: Lapso en el cual la máquina herramienta está consumiendo energía eléctrica.

C_p	Costo de preparación de la máquina
C_i	Costo de Improductividad.
C_f	Costo del Fluido de Corte.
C_{om}	Costo Operación de la máquina.

Dado que se han identificado las variables relevantes en el proceso de corte, se procede a encontrar un equivalente en números adimensionales capaces de capturar la naturaleza del fenómeno y determinar entre varios tipos de herramientas, cual es la de mejor desempeño y rentabilidad.

Como preguntas orientadoras y claves en el planteamiento del análisis dimensional en procura de encontrar las posibles dudas que le pueden surgir a aquel empresario que quiera conocer el comportamiento de diferentes herramientas de corte bajo la visión técnico-económica se presentan las siguientes:

- ¿Cuánto cuesta retirar un mm^3 de material?
- ¿Cuánto cuesta comprar y usar cada mm de herramienta desgastada?
- ¿Cuán lucrativo es el proceso de retirar material con una herramienta específica?

5. NÚMEROS ADIMENSIONALES

Dado que se conocen las variables que intervienen en el fenómeno de corte se procede a deducir un número adimensional capaz de responder el primer interrogante.

Se consideran las variables que intervienen directamente en la duración de la herramienta, este ítem se puede evaluar través de diferentes conceptos, tales como:

Tiempo Efectivo de Mecanizado. También llamado tiempo total de mecanizado, se mide a partir del lapso en el cual la herramienta de

corte se encuentra en contacto con el material de trabajo realizando trabajo efectivo de corte [*Medido en min.*].

Avance: Para que el mecanizado se extienda a lo largo del material es necesario que el útil o herramienta realice un movimiento relativo a la pieza de trabajo paralelo al eje de la misma, este movimiento se conoce como avance y es en otras palabras una velocidad de avance sobre el material. [*Medido en m/s.*].

Profundidad de Corte: Es el avance en forma radial realizado sobre el material, la acción de esta variable se denota en la reducción diametral de la pieza mecanizada. [*Medido en mm.*].

Longitud Mecanizada: Es la sección de material que ha sido sometida a corte [*Medido en mm.*].

Número de Piezas Mecanizadas. Hace referencia a la cantidad total de piezas que pueden ser manufacturadas durante la vida de la herramienta, llámese pieza a un producto terminado bajo unas características determinadas con anterioridad.

Como correspondencia a lo anterior existen a su vez unos criterios para determinar la vida útil de la herramienta, dado que se vislumbra que debe existir una velocidad de operación en la cual se maximice la utilización de esta, la determinaron de la vida económica de herramienta se puede determinar a partir de:

Dstrucción Total de Filo. En esta condición la herramienta no puede trabajar más a no ser que se someta a un reafilado, este criterio es comúnmente a herramientas de acero rápido asociadas a máquinas no automáticas.

Dimensiones Prestablecidas en Zona de Desgaste. Con el aumento en las magnitudes del desgaste será reflejada fielmente en las dimensiones de la pieza mecanizada; por tal razón en máquinas automatizadas este criterio toma un valor crucial cuando se requiere de un acabado específico.

Acabado superficial de Pieza Mecanizada.

Como indicativo de la Calidad de producto terminado es de gran utilidad, aunque la aplicación de este criterio no es fácil, debido a que el desgaste de la herramienta evidentemente se refleja en el acabado su variación no es de tipo uniforme.

Volumen de Material Retirado: Está determinado por variables como la Profundidad de corte P_c , el avance A_v y la Longitud mecanizada [Medido en mm^3/s].

$$V_{MR} = A_v \cdot L_M \cdot P_C \quad (3)$$

Como el fenómeno de retirar material se da en contacto directo entre material y pieza, ese lapso de tiempo efectivo de contacto estará determinado por la Vida de la Herramienta. Dado que existen diversos criterios para determinar el tiempo de duración de herramienta no será un obstáculo para ser determinado.

El criterio de Taylor ha demostrado ser de gran precisión para medir esta variable, además de trabajos anteriores realizados en el LATEMM³.

Como parámetro de tiempo y delimitador del proceso de arranque de viruta se involucra en este análisis el tiempo de duración de Herramienta T, Así:

$$V_{MR[T]} = A_v \cdot L_M \cdot P_C \cdot T \quad (4)$$

Consecuentemente a lo anterior el volumen removido queda definido en unidades de mm^3 . Los costos asociados al mecanizado y particularmente en retirar de la pieza un mm^3 de material se resaltan como:

$$C_1 = \Sigma C = C_p + C_i + C_f + C_{om} \quad (5)$$

Por lo tanto se asocia al análisis de la siguiente manera, definimos una variable A:

$$A = \frac{C_p + C_i + C_o + C_m}{A_v \cdot L_M \cdot P_c \cdot T} = \frac{C_1}{V_{MR[T]}} \quad (6)$$

Conociendo cuál es costo de materia prima por unidad de volumen es posible plantear un grupo adimensional para estas variables encontrando un número bastante interesante y del cual se puede extraer información relevante del proceso. Por tanto B se define como:

$$B = \frac{C_{MP}}{V_{MP}} \quad (7)$$

Donde:

C_{MP} Costo de Materia Prima. [\$]

V_{MP} Volumen de materia Prima. [mm^3]

El número adimensional se define naturalmente de la siguiente manera:

$$\pi_1 = \frac{A}{B} = \frac{\frac{C_1}{V_{MR[T]}}}{\frac{C_{MP}}{V_{MP}}} = \frac{\frac{C_p + C_i + C_o + C_m}{A_v \cdot L_M \cdot P_c \cdot T}}{\frac{C_{MP}}{V_{MP}}} \quad (8)$$

Este número entrega una interesante relación entre los costos asociados en retirar volumen de material y la materia prima necesaria para producir.

Igualmente para resolver el interrogante número dos (*¿Cuánto cuesta comprar y usar un mm de herramienta desgastada?*) se deben conocer para tal efecto las variables que afectan el desgaste de la herramienta:

Costo de Herramienta por Filo [C_{HF}]: Es necesario conocer la cantidad de dinero invertida o que se requiere invertir y minimizar el estudio a un filo de corte, conociendo sus características extrapolarlas al resto de la herramienta [Cuantificado en \$]. Cálculo de esta variable:

$$C_{HF} = \left[\frac{C_{CH} \times T_H}{N_F \times T_{TM}} \right] \quad (9)$$

³ Laboratorio de Técnicas Modernas de Manufactura, Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia. <http://farojas.unian-des.edu.co/latemm/services.htm>

Dónde:

C_{CH} : Costo Comercial de Herramienta. [\\$]

T_H : Vida de Herramienta. [s]

N_F : Número de filos de Herramienta.

T_{TM} : Tiempo total de mecanizado. [s]

Nótese que en la relación anterior existe una relevancia importante dada entre el tiempo de duración de la herramienta (Vida de Herramienta, T_H) y el tiempo total de mecanizado (T_{TM}), ya que nos revela gran información sobre cuál es el uso de la herramienta, es decir; ese cociente debe ser normalmente cercano a uno si la herramienta es usada correctamente, de lo contrario si este cociente es mayor a uno la herramienta se está usando bajo condiciones que aumentan los costos y probablemente está siendo retirada aún cuando no se ha desgastado totalmente.

Desgaste [V_B]: El rozamiento entre viruta y cara de desprendimiento de la herramienta, así como la lubricación de estas superficies en contacto, reviste notable importancia en el arranque de viruta, la interacción entre el material a cortar y herramienta crean una relación de contacto que junto al rozamiento crean el desgaste de la herramienta. [*Medida en μm*].

$$\pi_2 = \frac{C_1}{\frac{V_B}{C_{HF}}} \quad (10)$$

El segundo número adimensional será definido así:

Expresa una relación entre el costo necesario para desgastar una herramienta hasta un criterio determinado y el costo de filo de herramienta a partir de una longitud mecanizada.

En primera instancia se requiere conocer como es la correlación de estos dos números a través de un ensayo preliminar de datos, usando una gráfica π_2 vs. π_1 .

Con el planteamiento de las preguntas orientadoras hasta el momento es posible responder dos cuestionamientos básicos en un estudio preliminar en optimización en el proceso de corte de material, usando la misma metodología se plantea resolver el tercer interrogante a través de un análisis de productividad de la operación de torneado.

En general para casos de medición (productividad) se orienta a un determinado factor específico, donde se expresa la relación existente entre una determinada cantidad de producto y la cantidad de factores que usaron para obtenerlo, además puede definirse también de una manera más simple como "habilidad o facultad de producir" que implica una estrecha relación entre fuente o medio de producir y algo que se obtiene mediante el proceso (Mintrabajo, 1990). En nuestro caso particular el factor a medir es la relación entre los costos e insumos necesarios para la obtención de una pieza predeterminada, para tal caso se describen las siguientes variables:

Valor de la Producción [V_P]: Es la sumatoria de los costos asociados a la generación de un elemento terminado a través de un proceso productivo. [*Cuantificado en $\$$*].

Insumos [I_N]: En términos generales el insumo son todos los bienes consumibles utilizados en la producción de otro(s) bien(es), es decir; es la materia prima necesaria para generar un producto terminado. (Sueldos, salarios, materias primas, inversión bruta fija entre otros) [*Cuantificado en $\$$*].

Remuneración de sueldos y salarios [S_S]: Es la remuneración en dinero o en especie que recibe el trabajador por cuenta o bajo dependencia ajena por el trabajo que realiza (García, 2005). [*Cuantificado en $\$$*].

Por la combinación de las tres variables descritas podemos deducir indirectamente:

Intensidad del Trabajo [I_T]: Refleja el estado de la tecnología y se calcula a través de remunera-

ción de sueldos más salarios dividida entre la sumatoria de los insumos, así:

$$I_T = \frac{S_S}{I_N} \quad (10)$$

[I_T : Adimensional]

Productividad del trabajo [P_T]: Es la relación existente entre el costo o valor de la producción y el costo de la materia prima que se debe integrar al proceso productivo para obtener bienes terminados.

$$P_T = \frac{V_P}{S_S} \quad (11)$$

[P_T : Adimensional]

Nótese que las dos últimas relaciones presentan un comportamiento adimensional, capaz de describir el fenómeno de productividad, tal como se definió en líneas anteriores. La finalidad es entonces plantear un número adimensional que describa claramente una relación entre los costos invertidos en un proceso y los beneficios en los mismos rubros a terminar el mismo, se plantea entonces:

$$\pi_3 = I_T \times P_T = \frac{V_P}{I_N} \quad (12)$$

Por lo tanto se refleja una importante correlación entre el costo total de la producción [V_P] y el costo de materia prima introducida, este factor es capaz de medir y comparar un estado conjunto de las modificaciones en el proceso productivo, mejoramiento en las destrezas en el trabajo, la calidad del mismo y su desarrollo. Con π_3 no solo es posible determinar cuan lucrativo es el proceso sino también, si se realiza de manera óptima, cabe anotar que este número adimensional deberá ser mayor a uno lo mas lejanamente posible para relacionarlo con un proceso altamente productivo, de lo contrario me indicará un proceso costoso difícil de sostener financieramente.

6. ENSAYOS PRELIMINARES

Inicialmente el trabajo de toma de datos se desarrolló en un mediano taller de la ciudad de Bogotá, en el cual las condiciones de operación de máquina eran impuestas por los operarios, quienes tienen gran experiencia en este trabajo. Aun así se pudieron observar anomalías en los procesos productivos que se tradujeron en tomas erróneas de datos.

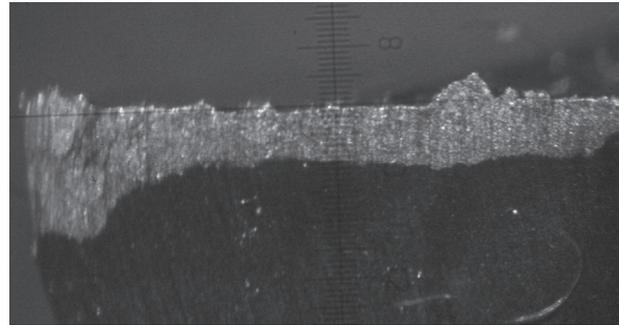


Imagen 1. Fotografía a 50x del desgaste de una Herramienta de Tungsteno luego de trabajar sobre una fundición de Acero

Con respecto a las herramientas de corte utilizadas, son afiladas artesanalmente en todos los casos y los criterios de falla usados son rotura y tiempo de mecanizado.

En ningún caso existe alguna prueba que permita caracterizar y comparar herramientas; algunos operarios solamente buscan las condiciones corte que le permitan un mejor mecanizado a través de la prueba y error más su experiencia previa.

El producto terminado siempre es llevado a un control de calidad basado en la integridad superficial y en el cumplimiento de las especificaciones requeridas. Los materiales principalmente mecanizados son aceros al carbono, aceros aleados, aceros inoxidable, aleaciones de aluminio, bronce, fundición gris, fundición de acero y algunos otros en menor cantidad.

Para la aplicación de la metodología propuesta se presentaron inconvenientes en la aplicación de los números adimensionales ya que se presentaron fenómenos que para condiciones

normales de trabajo no son comunes, un caso concreto es el que se esboza en la imagen 1 donde se observa claramente filo de aporte a la herramienta, indicativo claro que las condiciones de operación de la máquina están por fuera de las óptimas, esto es baja velocidad de corte que provoca elevación de la temperatura progresiva y fusión del material de trabajo sobre la herramienta de corte, en estos casos iniciales las pruebas y medidas fueron rechazadas por las razones mencionadas.

Con la experiencia recogida en el primer set de ensayos se planeó un ensayo controlado y por tanto como producto de esta experiencia se plantea a su vez una metodología alterna para poder extraer información relevante de los datos tomados en piso de fábrica y tener un control más estricto de las diferentes variables establecidas en líneas anteriores.

Por tal razón se llevaron a laboratorio las condiciones que se presentan normalmente en piso de fábrica y se combinaron con variables que pueden manipuladas para obtener un ensayo razonable, a la luz de los números adimensionales planteados en este escrito.

7. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

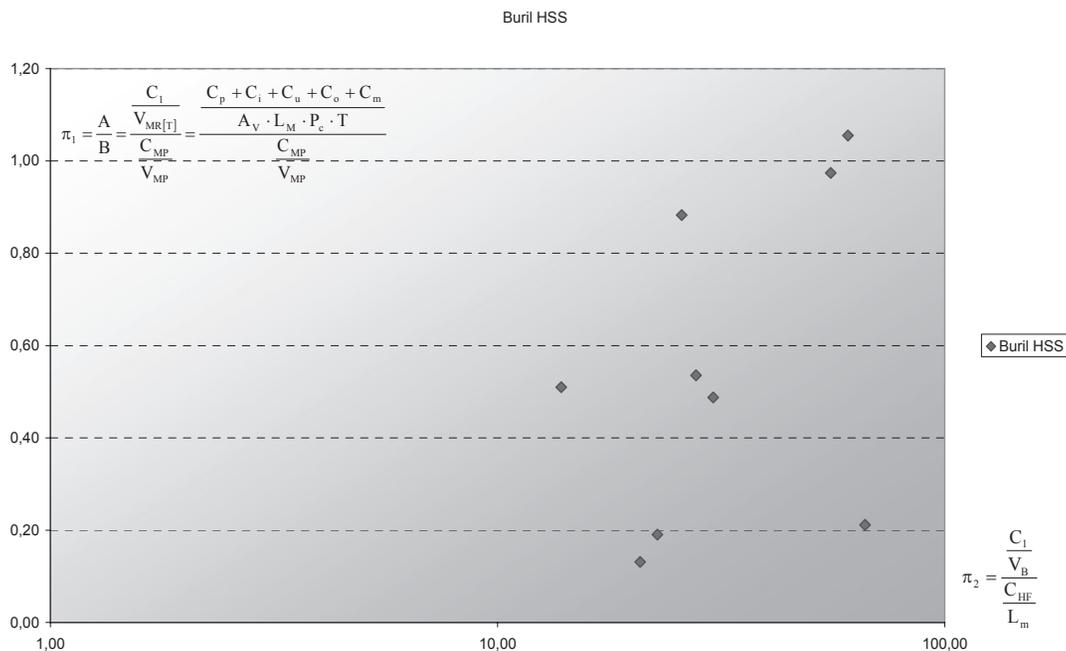
Luego de tomar fotografías a partir de una cámara digital y usar el aumento de un estereoscopio con iluminación apropiada, se registraron las medidas de los diferentes desgastes a diferentes velocidades de operación, tales condiciones se muestran en la tabla 1, donde se trabajo una herramienta de acero rápido contra un acero AISI 1040.

En una gráfica π_2 versus π_1 se esperan que los datos se encuentren lo más cercanamente posible al cero tanto en el eje de las ordenadas como en el de las abscisas dado que están directamente involucradas con costos de producción y se requieren que sean números lo más bajos posibles.

Tabla 1
Condiciones de Operación del Butil HSS.

Condiciones de operación de herramienta en HSS					
RPM	P _C [mm]	A _v [mm/rev]	L _m [cm]		
220	2	0.1	10	25	40
360	2	0.1	15	30	40
660	2	0.1	15	30	40

Con los números descritos anteriormente se graficaron a través de software y se obtuvo:



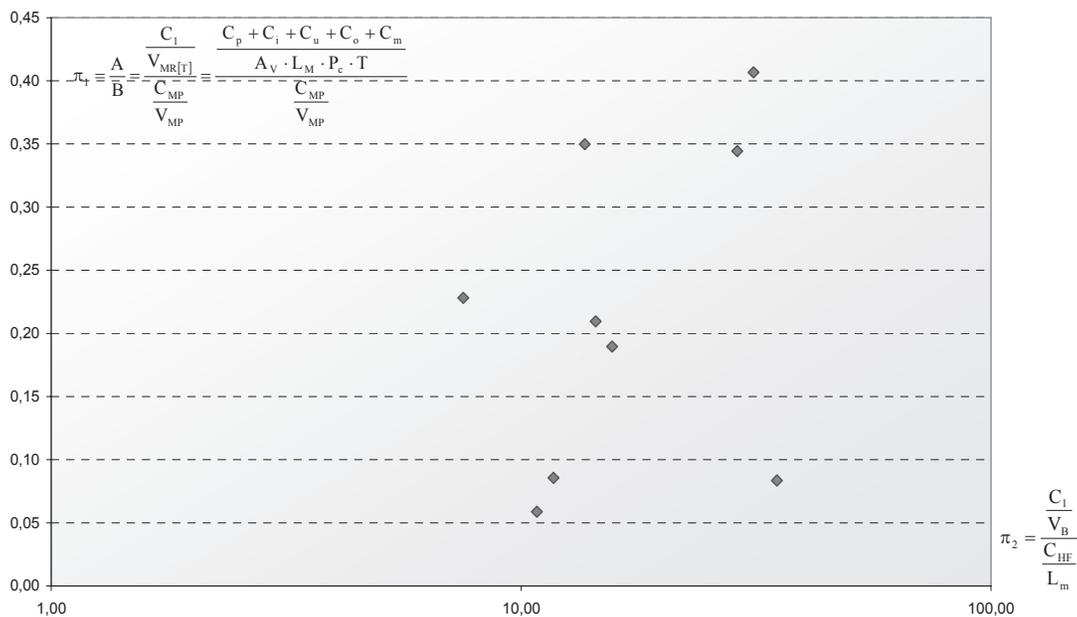
Grafica 1. π_2 versus π_1 , para condiciones descritas en la tabla 1

De la cual se puede deducir que el mejor punto de operación de las condiciones simuladas en el experimento es el punto (20.84, 0.13) que corresponde a una operación bajo condiciones: 360rpm $A_v=0.1\text{mm/rev}$ y $P_c=2\text{mm}$, en este punto se denota que el desgaste de la herramienta presenta un comportamiento de tipo constante que es consecuente con lo que se puede observar en los diagramas de ensayo tradicional de Taylor, así mismo los costos de dicha operación están en un valor intermedio, que en este caso partículas no es el más bajo, sin embargo se demuestra que existe una influencia más fuerte e influyente en el comportamiento de los números adimensionales de las condiciones de operación que el costo asociado al mismo.

De igual manera se realizaron pruebas para un tungsteno bajo las mismas condiciones como se muestra en la tabla 2 y trabajando sobre Acero AISI 1040.

Tabla 2
Condiciones de Operación de la pastilla de Tungsteno.

Condiciones de operación de Herramienta de tungsteno.					
RPM	P_c [mm]	A_v [mm/rev]	L_m [cm]		
220	2	0.1	10	25	40
360	2	0.1	15	30	40
660	2	0.1	15	30	40

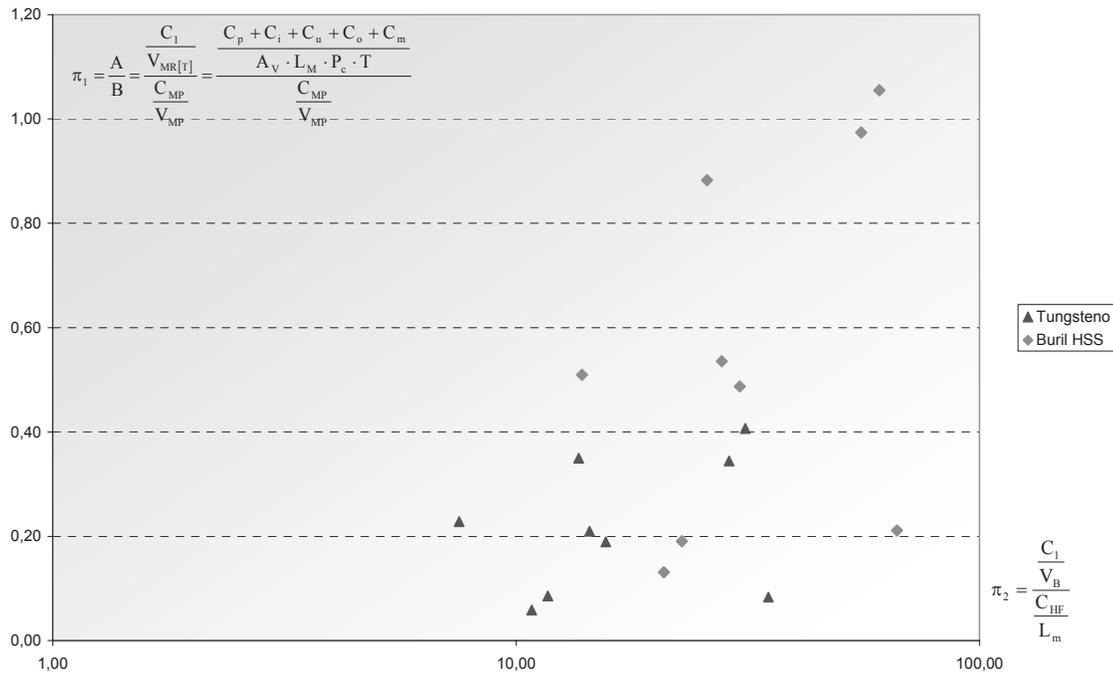


Gráfica 2. π_2 versus π_1 , para condiciones descritas en la tabla 2.

De igual manera de la gráfica 2 se puede observar que el numero apropiado se describe por (10.81,0.06) que tiene similitud con el comportamiento de la herramienta de HSS, esto por las condiciones de operación que para el caso particular coinciden, pero más llamativo aún es el hecho que al trabajar esta herramienta en condición de severidad del experimento las variables de costo asociadas a la herramienta Tungsteno sigue siendo más económica que el Butil de HSS, aun cuando el costo de la herra-

mienta es alto. Esto se puede observar en la gráfica 3. Donde se cruzan los datos de los ensayos y se hace evidente esta afirmación.

Para este caso el número π_3 a pesar de que se encuentra por encima del valor de la unidad, existen condiciones de operación con índices de productividad más altos, esto hace evidente que el costo asociado para realizar esta operación pierde relevancia ante unas buenas condiciones de operación.



Grafica 3. π_2 versus π_1 , cruce de datos de las dos herramientas.

CONCLUSIONES

A través de las gráficas π_2 versus π_1 se pueden estimar condiciones de operación de más bajo costo en el área productiva en un taller de mecanizado partiendo de una toma de datos basados en tiempos, movimientos y variables de la mecánica del corte.

Es posible combinar dos disciplinas de base metodológica como la mecánica del corte y la economía, todo esto por medio de la robustez matemática de la técnica de números adimensionales.

La simulación de los procesos de corte a través de la técnica utilizada provee una herramienta fuerte para el estudio, predicción y estimación de condiciones de operación *in situ*, que son aplicables a la industria Colombiana, dada la disponibilidad de las herramientas necesarias para poder llevarse a cabo.

Para casos cercanos a los óptimos las condiciones de operación de la máquina son más rele-

vantes que el costo asociado a la misma, por tal razón es evidente la necesidad latente de encontrar la mejor combinación de variables manipulables para logra tal fin

PERSPECTIVAS

La metodología propuesta a través de los números adimensionales ha demostrado la capacidad de atrapar la fenomenología física objeto de estudio, así mismo en el desarrollo de este trabajo es posible el desarrollo y análisis de un cuarto número que indique cual es la ganancia que puede obtener un empresario dado que a través de la metodología aplicada en esta investigación lo que permite conocer los puntos óptimos de operación y de la misma manera cuan rentable es trabajar bajo esos parámetros, proponiendo graficas de fácil aprendizaje y acceso donde sea posible extraer la mayor cantidad de información y se traduzca en mejores términos productivos y optimización del funcionamiento de la empresa bajo estudio.



REFERENCIAS

- Astakhov V. P. 1998. *Metal cutting mechanics*. Boca Ratón, Florida. CRC Press. 297 p.
- Boothroyd, G. Knight, W. A. 1989. *Fundamentals of machining and machine tools*. New York: Marcel Dekker, Inc., 542 p.
- Frits J. de Jong. 1967. *Dimensional Analysis for Economist*. Amsterdam. North-Holland Publishing Company, p. 21.
- García, R.C. 2005. *Estudio del Trabajo, Ingeniería de Métodos y Medición del Trabajo*. México D.F. McGraw-Hill, p. 427.
- Micheletti, G. F. 1980. *Il taglio dei metalli*. Turín. Editrice Torinese, p. 248.
- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, Dirección General de Empleo, 1990. Bogotá D.E. Imprenta Nacional de Colombia. 107 p.
- Pérez G., C. 2004. Implementación y estudio del desempeño de pastillas intercambiables de acero rápido sinterizado en la industria metalmecánica nacional. Trabajo de grado. Bogotá. Universidad de Los Andes, 53 p.
- Potter, M. C.; Wiggert, D. C. 1998. *Mecánica de Fluidos*. México. Prentice Hall Editores, pp. 225-257.
- Saavedra S., Juan G. 2004. Desarrollo de una metodología para realizar ensayos sistemáticos de mecanizado en Colombia. Trabajo de grado. Bogotá. Universidad de Los Andes. 104 p.
- Shaw, M. C. 2005. *Metal cutting principles*. New York. Oxford University Press, p. 2.
- Trent, E. M.; Wright, P.K. 2000. *Metal Cutting*. Boston. Butterworth-Heinemann, p. 9.