



Viabilidad del uso del Autocril reforzado con polvo de grafito para la recuperación de guías de máquinas herramientas*

Rodolfo Céspedes Matos

Especialidad: Ingeniería mecánica

Instituto Superior Minero Metalúrgico (Cuba).

Resumen: Se realizó un estudio acerca del uso del Autocril reforzado con diferentes composiciones de grafito y de granulometría para la recuperación de los carros longitudinales de los tornos 16k20. Para ellos se realizó un diseño de experimentos, se determinó la temperatura de gelificación, se evaluó la fluidez y se realizaron experimentos de pérdida de peso. La muestra de 5 % de grafito, cuya mejor granulometría es de 0,2 mm, se utiliza para proponer una tecnología de recuperación de los carros longitudinales de los tornos 16k20.

Palabras clave: Autocril; polvo de grafito; recuperación de máquinas.

* Trabajo tutorado el Dr.C. Alberto Velázquez del Rosario y el M. Sc. Rafael A. Castillo Díaz.
Recibido: 22 noviembre 2014 / Aceptado: 15 febrero 2015.

Evaluation of using reinforced Autocril with graphite powder to recover machine tool guides

Abstract: An analysis to use reinforced autocril with different compositions and particle sizes of graphite was conducted to recover the longitudinal carriage of 16k20 lathes. A design was developed for the experiments where the temperature of jellification was determined and fluidity was evaluated. Experiments were conducted to determine the weight loss. The results indicated that the sample with 5% graphite and a particle size of 0,2 mm was the best, which is used to propose a recovery technology for the longitudinal carriage of 16k20 lathes.

Key words: Autocril; graphite powder; machine recovery.

Introducción

Las máquinas herramientas tienen gran importancia para la Unión Empresarial de Base (UEB) Fábricas de Piezas de Nicaro, perteneciente a la fábrica 26 de Julio de Holguín. Esta empresa tiene como objeto social la producción de bienes y servicios para diferentes sistemas empresariales del país. Más del 80 % de las piezas que se crean por fundición poseen un proceso de elaboración posterior para darle forma final, obteniéndose un producto acabado o pieza con valor agregado.

La recuperación de piezas de máquinas herramientas ha sido estudiada por diversos autores. Nikolev (1980) analizó las principales características de las máquinas herramientas convencionales más utilizadas en los talleres de mecánica, su clasificación, estructura, movimientos fundamentales, principio de funcionamiento, dispositivos y las ecuaciones para la determinación de los parámetros de los regímenes de cortes. Actualmente en la Fábrica de Piezas de Nicaro existen máquinas herramientas convencionales de este tipo y otras que poseen el mismo principio de trabajo pero no se encuentran sus principales parámetros.

Kalpakjian y Schmid (2010) examinaron los principios de selección de las líneas productivas así como los procesos de fundición, soldadura, maquinado de piezas, manufactura asistida por computadora, diseño de productos y selección de procesos. Guellberg y Pekelis (1968) abordaron los principales problemas de los diferentes elementos de las máquinas herramientas y cómo poder solucionarlo, estableciendo los ciclos de mantenimiento preventivo planificados.

Guilarte (2000) realizó un estudio para la obtención de plástico reforzado con fibra de vidrio, con la adición de piedra volcánica y caliza, con el objetivo de hacer más resistente y ligero el material. López *et al.* (2007) determinaron las principales propiedades mecánicas y microestructurales del polimetacrilato de metilo (PMMA) como fase sólida, con metacrilato de metilo fase líquida (iniciador de la polimerización) y como elemento reforzante para mejorar sus propiedades la hidroxapatita y el carbonato de calcio. En todas las formulaciones se toma una relación de sólido-líquido de 2,1:1 (g/ml) dejándolo fraguar a una temperatura de $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$.

Para recuperar las piezas desgastadas de las máquinas herramientas de Nicaro se han empleado tradicionalmente polímeros de importación. Recientemente surgió la

posibilidad de utilizar la mezcla de producción nacional de polimetacrilato de metilo (PMMA) + metacrilato de metilo (MMA), conocida comercialmente como Autocril; sin embargo, la insuficiente resistencia al desgaste del Autocril de producción nacional utilizado como relleno de guías del carro longitudinal en los tornos en ausencia de lubricante, que provocan vibraciones y pérdidas de precisión en el maquinado, origina excesivas intervenciones de mantenimiento, la salida de servicio de las máquinas y la disminución de la producción. Por ello el objetivo del trabajo es evaluar la viabilidad del uso del Autocril de producción nacional reforzado con polvo de grafito para la restauración de la capacidad tecnológica de máquinas herramientas.

Materiales y métodos

Se necesitan una serie de instrumentos y de equipos para las diferentes mediciones necesarias para la propuesta de modificación que se realice.

1. La cinta métrica
2. Calibrador palmer o pie de rey moderno con 0,05 mm de error
3. Balanza digital Santorius modelo Bp221S con desviación de 0,1 mg
4. Goniómetro
5. Termómetro
6. Cronómetro.

Selección del material a investigar

Para la realización de los experimentos se seleccionó la mezcla de polimetacrilato de metilo (PMMA) + metacrilato de metilo (MMA), de producción nacional. Se trata de un polímero autosolidificante que se prepara con una proporción PMMA en polvo y MMA líquido. Este polímero también se adhiere bien al metal y no se disuelve en el aceite, ácidos débiles, álcalis y otros disolventes, se mecaniza bien al corte y es muy resistente al desgaste.

Establecimiento del modelo para la experimentación

Las situaciones en las que se puede aplicar el diseño de experimentos son muy numerosas, en las cuales se observan una o más variables experimentales dependientes o respuestas (y), cuyo valor depende de los valores de una o más variables independientes (x) controlables llamadas factores.

Para determinar el número de experimentos se pueden utilizar varios métodos y uno de ellos son los modelos de diseño lineales. En este caso, el número de experimentos se determina con una función lineal a diferentes niveles, según lo expuesto por Hernández (2004). Esta función tiene la forma de la ecuación: $N = A \cdot B$ (1)

Donde:

N - número de experimentos;

A, B - niveles de los factores (variables de entrada) involucrados.

Se analiza la influencia de dos factores a diferentes niveles:

1. Porcentaje de grafito en tres dos niveles: 5 % y 10 %, por lo que $A = 2$.
2. Granulometría del grafito: 0,1 mm; 0,2 mm y 0,4 mm; por lo que $B = 3$.

Al sustituir los valores A y B en la ecuación, el número de experimento es: $N = 2 \cdot 3 =$ seis experimentos.

El cálculo arroja un mínimo de seis experimentos, más el ensayo con las muestras de PMMA sin refuerzo. Estas siete muestras se someterán a ensayos de desgaste y el tiempo y la temperatura de gelificación se medirán en el momento de obtención de las muestras. La Tabla 1 muestra la matriz de experimentación.

Tabla 1. Matriz de experimentos

Experimentos	Combinaciones (cantidades de grafito, % y granulometría del grafito, mm)	Cantidad de muestras	Réplicas	Total de muestras
Muestra	0 % grafito	1	2	3
1	5 % de grafito de 0,1 mm	1	2	3
2	10 % de grafito de 0,1 mm	1	2	3
3	5 % de grafito de 0,2 mm	1	2	3
4	10 % de grafito de 0,2 mm	1	2	3
5	5 % de grafito de 0,4 mm	1	2	3
6	10 % de grafito de 0,4 mm	1	2	3
Total				21

Ensayo de desgaste

El ensayo de desgaste se realizó por el método gravimétrico, midiendo la pérdida de peso de las muestras en el tiempo, utilizando la expresión: $PP = G_i - G_f$ (2)

Donde:

PP - pérdida de peso por desgaste, (g);

G_i - peso inicial de la pieza, (g);

G_f - peso final, (g).

Para minimizar los errores de observación que pudieran derivarse de la diferencia de peso entre cada una de las muestras la pérdida de material se evaluó en términos volumétricos referido a la unidad de volumen establecido por el ensayo Böhme (Norma EN 1338:2003), según la expresión:
$$\Delta V = \frac{G}{\Delta g} \times 100, \% \quad (3)$$

Donde:

ΔV – volumen específico perdido durante el desgaste, %;

G – peso inicial de la muestra sin ensayar referido a la unidad de volumen, (g);

Δg – pérdida de peso de la muestra durante el ensayo, (g).

La instalación utilizada para los ensayos de desgaste consiste en una pulidora Montasupal adaptada para ensayos de desgaste, disponible en el laboratorio de Tecnología de los Metales del departamento de Mecánica del Instituto Superior Minero Metalúrgico.

La adaptación consistió en el montaje de un pliegue de lija con granulometría de 320 μm a 340 rev/min. Las probetas se montan en un cabezal multimuestras. El ensayo de desgaste se realizó según la Norma ASTM G65, aplicando una carga de 500 g a cada muestra y con tiempos de prueba espaciados hasta 5 min.

Metodología utilizada para la realización de los experimentos

1. Garantizar que la instalación experimental esté organizada y limpia, así como que las condiciones de iluminación sean las indicadas para llevar a cabo los experimentos.
2. Comprobar la funcionalidad de la pulidora y los accesorios para la fijación de las probetas.
3. Determinar la composición inicial de la mezcla.
4. Determinar, con ayuda de una probeta y la balanza digital Santorius modelo Bp221S, las diferentes masas de las muestras de grafito, metacrilato de metilo (MMA) y polimetacrilato de metilo (PMMA) con los cuales se experimentará. La composición de la mezcla se determina por lo expuesto por López (2007) y Guellberg & Pekelis (1968).
5. Determinación de la temperatura de gelificación que consiste en medir con un termómetro la temperatura en el proceso de polimerización y comienza con la

preparación de las mezclas para el moldeo de las probetas, cogiendo 13 g de polimetacrilato de metilo y 7 g de metacrilato de metilo, luego de 3 a 4 min se pone un termómetro en la superficie solidificada de la probeta. Cuando se agrega grafito se reduce el contenido de polimetacrilato de metilo.

6. Determinación de la pérdida de peso a través del desgaste por abrasión. Las probetas se pesan antes del experimento, son expuestas a una velocidad con un papel abrasivo durante un tiempo determinado y luego se vuelven a pesar para ver las pérdidas de material.

7. Una vez concluido el experimento se procede a procesar la información obtenida en la computadora para su posterior análisis.

Metodología de cálculo para la recuperación del carro longitudinal

La metodología de cálculo para el proceso de maquinado con arranque de virutas es expuesta por Casillas (1989) e Ivatsevich *et al.* (1988).

Principales parámetros del régimen de corte que interviene en el proceso:

- Profundidad de corte (t): profundidad de la capa que se arranca de la superficie de la pieza en una pasada de la herramienta. Se expresa en (mm).
- Avance(S): movimiento de la herramienta respecto a la pieza o de esta última respecto a la herramienta en un período de tiempo determinado. Se expresa en (mm/rev).
- Velocidad de corte (V_c): distancia que recorre el filo de corte de la herramienta al pasar en dirección del movimiento principal (movimiento de corte) respecto a la superficie que se trabaja; el movimiento que se realiza puede ser rotativo o alternativo. Se expresa en (m/s).
- Potencia de corte (N): potencia necesaria que requiere o necesita la máquina para vencer las fuerzas que se oponen en las operaciones a realizar. Se expresa en (kW).
- Frecuencia de rotación (n): número de vueltas que realiza el husillo de la máquina para ejecutar el proceso del maquinado. Se expresa en (rev/min).

-Tiempo de maquinado (T): tiempo que emplea el operario en el cumplimiento de la operación. Se tiene en cuenta los tiempos auxiliares destinados a la misma. Se expresa en (min).

Elaboración mecánica por taladrado y roscado

El carro longitudinal del torno paralelo universal de tipo 16K20 se monta en una taladradora de tipo 2M55, fijándose con bridas en la mesa de la máquina y se realiza un grupo de operaciones como taladrado y roscado.

Las brocas a utilizar son de acero rápido (HSS), de diámetros 6,75 mm y 5 mm, además de utilizar juegos de machos de dos piezas M8y M6 de HSS para pasar a máquina.

Es necesario determinar los parámetros de corte de cada operación por lo que se exponen los pasos a seguir y las ecuaciones necesarias.

1- Selección del avance (S) de la herramienta en tablas en dependencia de la operación, del tipo de herramienta a utilizar y material a trabajar. Este avance luego se estandariza o corrige por el pasaporte de la máquina.

2- Selección de la velocidad de corte (Vc) a partir de tablas en dependencia del material a trabajar, tipo de herramienta a utilizar, profundidad de corte, avance y refrigerante, expuestas por los autores anteriores.

3- Cálculo del número de revoluciones (n)

$$n = \frac{1000 * v_c}{\pi * D_h} = rev/min \quad (4)$$

Donde:

V_c- velocidad de corte recomendada, (m/min);

D_h- diámetro de la broca o macho, (mm).

Nota: Después de calculado el número de revoluciones se estandariza según pasaporte o datos técnicos de la máquina herramienta.

4- Cálculo de la velocidad real (V_r) a la cual se mueve la máquina herramienta

$$V_r = \frac{\pi * D_h * n}{1000}; m/min \quad (5)$$

5- Cálculo de la potencia de corte para comprobar si se puede elaborar la pieza

$$N_{corte} \leq N_h \quad (6)$$

$$N_{corte} = N_{\text{tabla}} \frac{n}{1000} \cdot k_n, Kw \quad (7)$$

$$N_h = N_{\text{mot}} \cdot n, Kw \quad (8)$$

Donde:

N_{tabla} – potencia de la tabla, Kw;

K_n – coeficiente de corrección;

N_h – potencia que entrega la máquina en el huesillo Kw.

Nota: N_{tabla} en este caso toma valor de 0,28 kW, K_n de 1,1 y el rendimiento es de 0,9.

6- Cálculo del tiempo de maquinado

$$T_m = \left(L + l_1 + \frac{l_2}{n \cdot S} \right) \cdot i, \text{min} \quad (9)$$

Donde:

L- longitud a elaborar, (mm);

l_1 - longitud de colocación de la herramienta antes del proceso de corte, (mm);

l_2 - longitud de salida de la herramienta, (mm).

Para el taladrado y el roscado:

$l_1 = 0,3 \cdot D$ (para agujeros en aceros, hierro colado, bronce).

$l_2 = 0,5$ a 3 mm (magnitud de recorrido de la herramienta para aceros, hierro colado, bronce) para brocas de 2 mm a 60 mm.

La metodología para el roscado es la misma que para el taladrado ya que se realizará en la misma máquina (taladradora radial 2M55), lo que varían son parámetros del régimen de corte al variar la velocidad de corte recomendada.

Elaboración mecánica por fresado

Se utilizará una máquina herramienta fresadora de tipo 6P12 que se caracteriza por poseer el movimiento de avance en la mesa y el de rotación de la herramienta (fresa), realizando el trabajo por el método de concordancia. La herramienta a utilizar es una fresa cilíndrica frontal de diámetro 16 mm de 5 alabes de HSS.

Régimen de corte: al igual que en el taladrado se calculan los mismos parámetros y se siguen los mismos pasos, pero en este caso varían la forma de determinar algunos parámetros; a continuación los pasos:

1- Selección de la velocidad de corte (V_c) a partir de tablas, en dependencia del material a trabajar, tipo de herramienta a utilizar, profundidad de corte, avance y refrigerante, expuestas por los autores anteriores.

2- Cálculo de número de revoluciones (n)

$$n = \frac{1000 * v_c}{\pi * D_f}, \text{ rev/min} \quad (10)$$

Donde:

D_f - Diámetro de la fresa, (mm).

Nota: Después de calculado el número de revoluciones se estandariza según pasaporte o datos técnicos de la máquina herramienta.

3- Cálculo de la velocidad real (V_r) a la cual rota la fresa en la máquina herramienta

$$V_r = \frac{\pi * D_f * n}{1000}; \text{ m/min} \quad (11)$$

4- Selección del avance (S_z) de la fresa en tablas en dependencia de la operación, del tipo de herramienta a utilizar y material a trabajar. Este avance luego se estandariza o corrige por el pasaporte de la máquina. Calculándose los avances longitudinal o transversal de la mesa por minuto (S_m).

$$S_m = S_z * Z * n; \text{ (mm/min)} \quad (12)$$

Donde:

S_z - Avance del diente, (mm/diente). Tomando valor de $S_z = 0,04$;

Z - Número de dientes;

Nota: se corrige con el pasaporte de la máquina.

-Avance por vueltas de la fresa (S_v)

$$S_v = S_z * Z; \text{ mm/vueltas} \quad (13)$$

5- Potencia de corte (N_c)

$$Nc = E * \frac{V_c * b_{max} * Z_{fresa} * K_1 * K_2}{1000}, Kw \quad (14)$$

$$Ncorte \leq Nh, Kw \quad (15)$$

Donde:

E- Se determina por la Tabla F-5 hoja 1 del Manual del tecnólogo para corte de metales en frío y es igual a 0,25;

$b_{m\acute{a}x}$ -ancho máximo del fresado, (mm);

Z_{fresa} -número de dientes de la fresa;

K_1 y K_2 -coeficientes de corrección.

Nota: Los coeficientes K_1 y K_2 se determinan por la Tabla F-5 hoja 2 del Manual del tecnólogo para corte de metales en frío. Donde $K_1=1,2$ y $K_2=1$.

5- Tiempo de elaboración se determina según Ivansevich *et al.* (1988)

$$Tp = \frac{t+(0,5-1)}{S_{vertical}} + \frac{l-d}{S_{horizontal}} * i, min \quad (16)$$

Donde:

L- longitud de la ranura, (mm);

d- diámetro de la fresa, (mm);

$S_{vertical}$ - avance vertical de la herramienta, (mm/min);

$S_{horizontal}$ - avance longitudinal de la mesa con la pieza, (mm/min);

t- profundidad de corte, (mm);

i- número de pasadas.

Obtención de las muestras

En la Figura 1 se muestran imágenes representativas de las muestras obtenidas de PMMA sin refuerzo (a) y PMMA reforzado con polvo de grafito (b). Una vez transcurrida la polimerización, en todas las muestras sin refuerzo apareció una zona de rechupe en la superficie, como indica la flecha en la Figura 1a).



Figura 1. Imágenes representativas de las muestras. a) PMMA sin refuerzo después del desmoldeo; b) PMMA reforzado con polvo de grafito durante la gelificación.

En las muestras reforzadas con grafito también se observó la aparición de los rechupes, pero en magnitud menor que los de las muestras sin refuerzo y con disminución de tamaño a medida que se incrementa el contenido de grafito.

Esta regularidad se atribuye a que en el proceso de polimerización las cadenas de polímeros existen sin un patrón repetitivo de largo alcance (amorfos). Existen otros que sus moléculas se arreglan de modo ordenado entre ellas, es decir, regiones cristalinas. Se considera un polímero parcialmente cristalino cuando forma un material bifásico, con una fase cristalina y una amorfa. La diferencia radica en que los cristalinos, a la vuelta al estado sólido tras el aporte de calor, cuando se repliegan lo hacen intentando ocupar el mínimo espacio posible, no así en el caso de los amorfos que lo hacen de una forma mucho más anárquica.

En el caso de los amorfos la contracción es isotrópica (constante en las tres dimensiones del espacio), mientras que en el caso de los cristalinos la contracción es anisótropa (la contracción es mucho mayor en el sentido de flujo que en el transversal). No obstante, no existe ningún termoplástico que sea 100 % cristalino, ni a la inversa, 100 % amorfo. Siempre coexiste una parte cristalina y otra amorfa, aunque haya siempre una mayoritaria que define la clasificación del material.

Resultados de la polimerización

El primer experimento realizado fue el Acril sin reforzar para poder caracterizar el proceso de polimerización. Esto permite obtener una curva característica para luego comparar con los polímeros reforzados (Figura 2).

La curva posee dos partes, una ascendente en el tiempo, con un pico a un valor de temperatura determinado y otra descendente en el tiempo a partir de este pico. El carácter ascendente de la curva denota el desprendimiento de calor durante el proceso de polimerización, lo que también significa que se ha obtenido un incremento en la capacidad calorífica en el material.

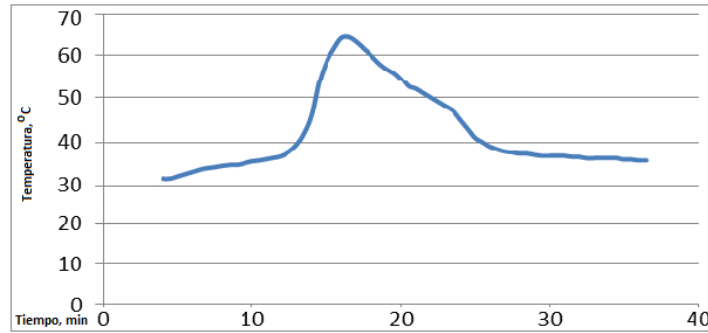


Figura 2. Curva de polimerización de la muestra patrón del PMMA de producción nacional.

Esto sucede porque en el intervalo de ascenso de la temperatura el polímero está sufriendo la transición vítrea, en el sentido de que los polímeros poseen una mayor capacidad calorífica por encima de la temperatura de transición vítrea que por debajo de la misma. Este experimento se realizó sin refuerzo, utilizando 13 g de polimetacrilato de metilo y 7 g de metacrilato de metilo.

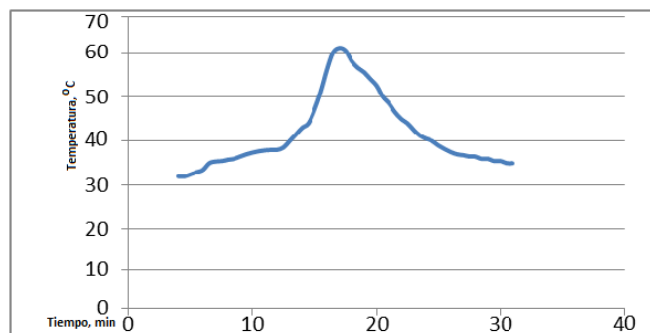


Figura 3. Curva de polimerización del PMMA reforzado con 5 % de grafito de 0,1 mm.

La forma de la curva de la Figura 3 es consistente con la curva de la Figura 2, lo que sugiere que la gelificación del Acril reforzado con 5 % de grafito de 0,1 μm , es congruente con la gelificación del Acril sin refuerzo.

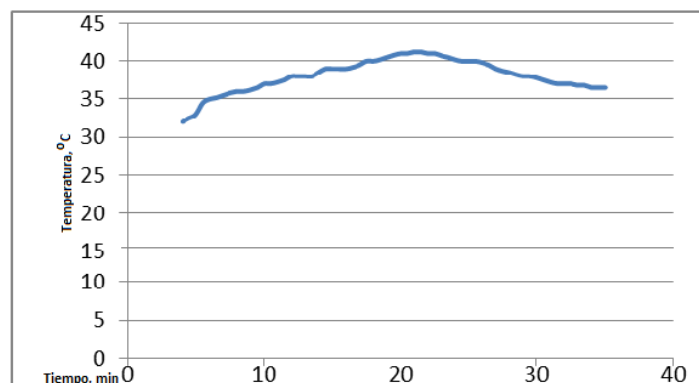


Figura 4. Curva de polimerización del PMMA reforzado con 10 % de grafito de 0,1 mm.

Sin embargo, la inconsistencia de la forma de la curva de la Figura 4 con la forma curva de la Figura 2 sugiere que la gelificación del Acril reforzado con 10 % de grafito de 0,1 μm no es congruente con la gelificación del Acril sin reforzar, disminuyendo considerablemente el desprendimiento de calor en la polimerización. En la muestra de 10 % de grafito de 0,1 mm fue necesario añadir más MMA para lograr una buena fluidez y que el material pudiera fluir en el molde, ya que con 7 g de MMA apenas puede polimerizar la mezcla anteriormente preparada.

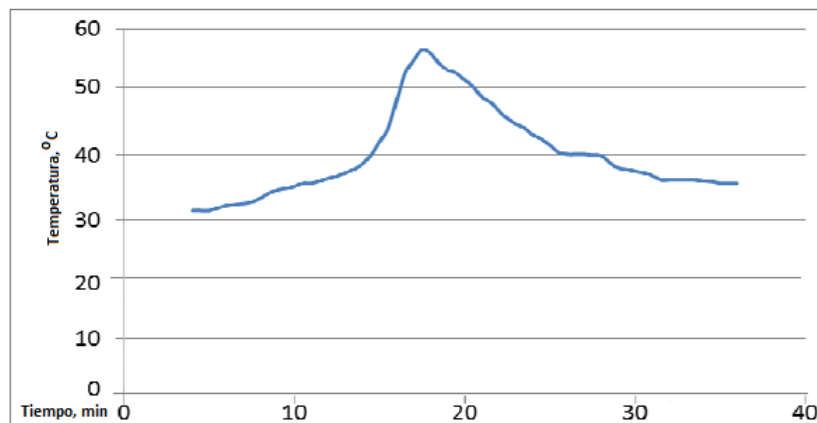


Figura 5. Curva de polimerización del PMMA reforzado con 5 % de grafito de 0,2 mm.

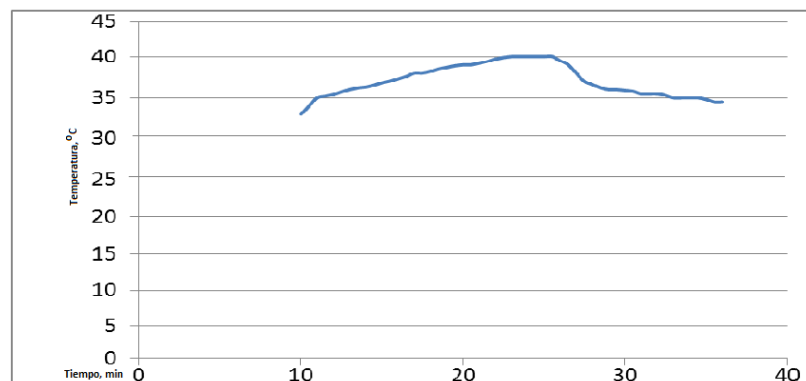


Figura 6. Curva de polimerización del PMMA reforzado con 10 % de grafito de 0,2 mm.

Como se observa, la forma de la curva de la Figura 5 también es congruente con las curvas de las Figuras 2 y 3, lo que sugiere comportamientos de los materiales similares durante la polimerización; sin embargo, a diferencia de las anteriores, la forma de la curva 6 sugiere que la polimerización del PMMA reforzado con 10 % de grafito de 0,2 mm, es inconsistente con la polimerización del PMMA patrón.

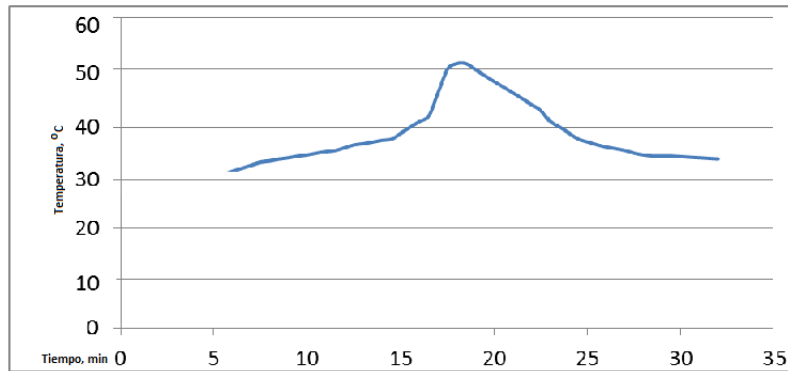


Figura 7. Curva de polimerización del PMMA reforzado con 5 % de grafito de 0,4 mm.

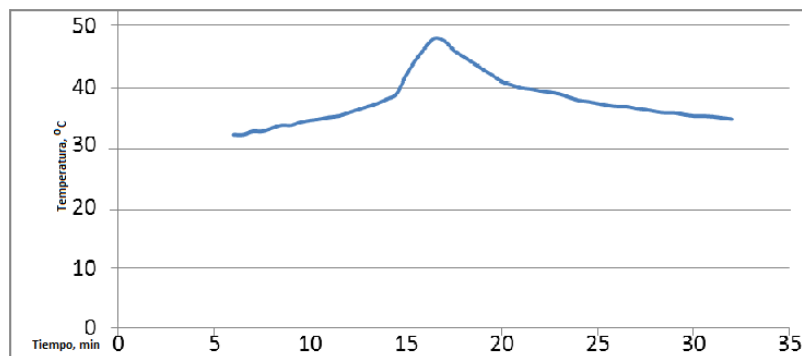


Figura 8. Curva de polimerización del PMMA reforzado con 10 % de grafito de 0,4 mm.

La forma de las curvas de las Figuras 7 y 8 también son consistentes con las curvas de las Figura 2, 3 y 4, lo que sugiere que la gelificación del Acril reforzado con 5 % y 10 % de grafito de 0,4 mm, es congruente con la gelificación del Acril sin refuerzo. Estas dos muestras mostraron buena fluidez para ser usado en el vertimiento de un molde.

Sin embargo, existe una regularidad en todas las curvas y es que en la medida que se incrementa el porcentaje de grafito se reduce la temperatura de gelificación. Como se puede apreciar, el cambio no ocurre repentinamente, sino que tiene lugar a través de un rango de temperaturas. Esto hace que la curva denote tres parámetros, lo que coincide con Melián (1985).

1. Temperatura de transición vítrea (T_g): Es la temperatura en la cual los polímeros sufren un cambio claro en su comportamiento mecánico o proceso de transición entre las bajas temperatura (duros, rígidos, frágiles) y las altas temperaturas (gomosos o correosos) ($^{\circ}\text{C}$).

2. Tiempo de gelificación (tg): Es el tiempo que media entre el inicio y el final de la transición vítrea (min).

3. Temperatura de gelificación (TG): Máxima temperatura que se alcanza durante la polimerización (°C).

Resulta un poco complicado escoger una Tg discreta, pero normalmente se toma como valor de Tg el punto medio de la región inclinada (Melián, 1985). Los valores de Tg, tg y TG correspondientes a las muestras analizadas se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Temperaturas de transición vítrea de las muestras

Muestras	Tg (°C)	tg (min)	TG (° C)
Patrón	50	36,5	63,8
5 % de grafito de 0,1 mm	46,5	30,5	61
10 % de grafito de 0,1 mm	36,5	35,5	41
5 % de grafito de 0,2 mm	43,5	37	55,5
10 % de grafito de 0,2 mm	36	33	40
5 % de grafito de 0,4 mm	41,5	32	51
10 % de grafito de 0,4 mm	48	32	48

Del análisis se desprende que con el aumento del grafito en las muestras se debe incrementar la cantidad de material polimerizante iniciador de la reacción (MMA). El mejor comportamiento durante la polimerización, con respecto a la muestra patrón, lo manifestó la muestra de 0,5 % de grafito con 0,2 mm.

Resultados de las mediciones de los ensayos de pérdida de peso

En la Figura 9 se representa la pérdida de volumen (peso) en todas las muestras. Como regularidad, en todos los casos se aprecia un descenso brusco del volumen (peso) en el primer minuto y, posteriormente, al tomar cierto valor, este se comporta con una tendencia asintótica durante el resto del tiempo que transcurrió el ensayo.

Este descenso brusco se atribuye a la presencia de defectos como poros y discontinuidades en las superficies ensayadas, lo que sugiere que durante el primer minuto de ensayo desaparecen las asperezas y los poros para posteriormente dar paso a la matriz de mayor homogeneidad.

El comportamiento asintótico sugiere la ocurrencia de un desgaste uniforme en el tiempo, resultado de importancia a considerar, pues insinúa que la pérdida de peso

(volumen) durante el desgaste es constante en el tiempo si las condiciones de fricción permanecen invariables.

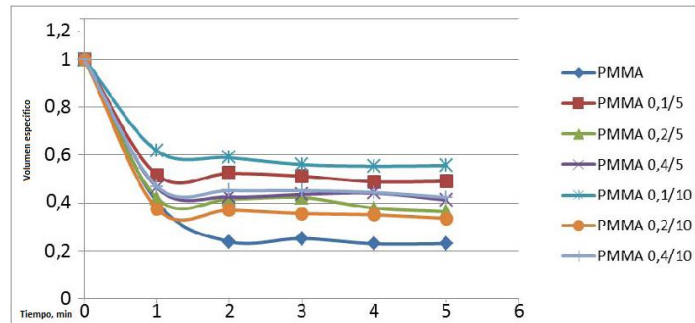


Figura 9. Pérdida de volumen específico de las muestras en el tiempo.

En la Tabla 3 se muestran los valores de pérdida de volumen específico en el tiempo para las diferentes muestras y los valores de los promedios asintóticos.

Tabla 3. Valores promedio de pérdida de volumen específico

Volúmenes específicos	Tiempo de ensayo (min)						Promedio de los tiempos asintóticos (2-5), min
	0	1	2	3	4	5	
VPat	1	0,4022	0,2380	0,2511	0,2286	0,2292	0,2367
V0,1/5	1	0,5163	0,5241	0,5121	0,4880	0,4903	0,5037
V0,1/10	1	0,6177	0,5898	0,5604	0,553	0,5562	0,5648
V0,2/5	1	0,4196	0,4159	0,4232	0,3784	0,3629	0,3951
V0,2/10	1	0,3746	0,3697	0,3553	0,3496	0,3344	0,3522
V0,4/5	1	0,4635	0,4259	0,4359	0,4418	0,4123	0,4289
V0,4/10	1	0,4688	0,4523	0,4525	0,4443	0,4236	0,4431

Del análisis de la Figura 9 y los datos de la Tabla 2 se desprende, además, que el polimetacrilato de metilo sin reforzar mostró la menor pérdida de volumen específico, con un promedio de 0,2367 y en segundo y tercer lugar, respectivamente, el PMMA reforzado con 10 % de partículas de grafito de 0,2 mm y el PMMA reforzado con 5 % de partículas de grafito de 0,2 mm.

La menor pérdida de volumen específico del PMMA sin reforzar se atribuye al mayor grado de homogeneidad de la matriz polimérica en ausencia de grafito, pues cuando el material es reforzado con grafito, las partículas se desprenden bajo los efectos del desgaste y en su lugar quedan microporos; por lo que la superficie polimérica se reduce, el área a desgastar es menor y por lo tanto para un mismo intervalo de tiempo el desgaste es mayor.

Como se planteó anteriormente, en el PMMA reforzado, la menor pérdida de volumen (peso) la presentó el PMMA + 10 % de grafito de 0,2 mm y posteriormente el PMMA + 5 % de grafito de 0,2 mm. En este caso, se evidenció una pérdida de volumen específico (peso) promedio de 0,3522 y 0,3951, respectivamente, que representan un 48,76 % y un 66,86 % de desgaste superior al PMMA sin reforzar.

La forma de la curva 4 (PMMA + 5 % de grafito de 0,2 mm) y los niveles de pérdida de volumen reportados sugieren la utilización del PMMA + 5 % de grafito de 0,2 mm como relleno en la recuperación de máquinas herramientas. A diferencia del PMMA + 5 % de grafito de 0,2 mm, la Figura 6, por presentar el pico muy bajo en comparación con la curva de la Figura 2 (PMMA sin reforzar), y a pesar de los bajos valores de pérdida de volumen reportados por el PMMA + 10 % de grafito de 0,2 mm sugiere que para las condiciones establecidas en los ensayos esta variante no es factible de utilizar, pues pudieran presentarse problemas tecnológicos prácticos a la hora del rellenado o depósito de las guías de las bancadas por obstrucciones debido a la ocurrencia de la rápida polimerización. Esta dificultad se puede superar añadiendo mayor cantidad del monómero metacrilato de metilo (MMA) a la mezcla, pero el análisis de factibilidad requiere profundizar los aspectos económicos.

A pesar de que las respectivas curvas de polimerización de las mezclas de PMMA + 5 % de grafito de 0,1 mm también sugieren la posibilidad de utilizarlas como material de relleno, a juzgar por los elevados valores de pérdida de volumen específico (peso), estas no se sugieren para la aplicación investigada, pues manifiestan, respectivamente, un 112 % y 138 % de pérdida de volumen por encima del de el PMMA sin reforzar, por lo que se rechazan estas variantes.

A pesar de que las formas de las curvas de las Figuras 7 (PMMA + 5 % de grafito de 0,4 mm) y 8 (PMMA + 10 % de grafito de 0,4 mm), más los valores de pérdida de volumen reportados en los ensayos sugieren la no utilización de estas variantes, al igual que en la mezcla de PMMA + 10 % de grafito de 0,2 mm se puede valorar su aplicación aumentando el contenido del monómero metacrilato de metilo (MMA) a la mezcla, lo que también estaría sujeto a un análisis de beneficio-costos.

El hecho de que las pérdidas de volumen del PMMA reforzado, según las variantes analizadas, sean mayores que las del PMMA sin reforzar, no debe verse como algo

negativo, pues hay que recordar que en un par friccionante con presencia de partículas de grafito estas funcionan como lubricante y disminuyen la fricción.

Teniendo en cuenta todos los elementos anteriormente expuestos a partir de los resultados de los ensayos se puede plantear la viabilidad tecnológica de utilizar PMMA reforzado con grafito en las siguientes variantes:

- 1- PMMA + 10 % grafito de 0,2 mm (sugiere añadirsele más cantidad de MMA)
- 2- PMMA + 5 % grafito de 0,2 mm
- 3- PMMA + 5 % grafito de 0,4 mm (sugiere añadirsele más cantidad de MMA)
- 4- PMMA + 10 % grafito de 0,4 mm (sugiere añadirsele más cantidad de MMA)

Resultados de los cálculos de las operaciones de taladrado y el roscado

Los trabajos de maquinado se comenzarán con el taladrado y roscado de los orificios de los tornillos M6 que estarán en el mismo centro de las guías en forma de V y rectangulares, a una distancia de 450 mm entre ellos, y los M8 en la misma dirección de los anteriores, a una distancia de 400 mm. Los resultados de los cálculos del orificio de 5 mm se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados del taladrado del orificio de 5 mm en el carro longitudinal

Parámetros	Valor	Valores estandarizados	U/M	Ecuación
Velocidad de corte recomendada	13		m/min	
Número de revolución de la fresa	828,02	800	rev/min	4
Velocidad de corte real	12,56		m/min	4
Avance recomendado	0,06		mm/diente	
Potencia de corte N_c	0,25		KW	7
Potencia de husillo N_h	3,2		KW	
Longitud a maquinar	30		mm	8
Tiempo de Maquinado T_m	0,539		min	9

La Tabla 4 muestra la potencia del husillo de la máquina, es de 3,2 kW, superior a la potencia que se puede efectuar el corte de 0,462 kW, es decir, $N_{corte} \leq N_h$. El tiempo para realizar un orificio carro longitudinal del torno 16K20 es de 0,539 min, para elaborar los cuatro orificios de diámetro 5 es necesario invertir 2,156 min.

En la Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos en el taladrado del orificio de 6,75 mm. La potencia del husillo de la máquina es de 3,2 kW, siendo superior a la potencia de corte con la que efectuará que es de 0,145 kW, es decir, $N_{corte} \leq N_h$. El tiempo

para realizar un orificio del carro longitudinal del torno 16K20 es de 0,548 min, para elaborar los cuatro orificios de diámetro 6,75 es necesario invertir 2,19 min.

Tabla 5. Resultados del taladrado del orificio de 6,75 mm en el carro longitudinal

Parámetros	Valor	Valores estandarizados	U/M	Ecuación
Velocidad de corte recomendada	14		m/min	
Número de revolución de la fresa	660,53	630	rev/min	4
Velocidad de corte real	13,99		m/min	5
Avance recomendado	0,1	0,112	mm/diente	
Potencia de corte N_c	0,145		KW	7
Potencia de husillo N_c	3,2		KW	
Longitud a maquinar	30		mm	8
Tiempo de maquinado T_m	0,548		min	9

En la Tabla 6 aparecen los resultados del proceso de maquinado, resultado de los principales parámetros del régimen de corte para la elaboración de las cuatro roscas de M6 cuyo objetivo es alojar los tornillos que permiten la nivelación del carro longitudinal para el proceso de rellenado de la superficie en contacto con Autocril.

Tabla 6. Resultados del roscado del orificio de M6 en el carro longitudinal

Parámetros	Valor	Valores estandarizados	U/M	Ecuación
Velocidad de corte recomendada	5		m/min	
Número de revolución de la fresa nf	265,39	250	rev/min	4
Velocidad de corte real	4,71		m/min	5
Avance recomendado	1	1	mm/rev	
Potencia de corte N_c	1,85		KW	7
Potencia de husillo N_c	3,2		KW	8
Longitud a maquinar	35		mm	
Tiempo de maquinado T_m	0,141		min	9

Como se muestra en la Tabla 6 la potencia del husillo de la máquina es de 3,2 kW, siendo superior a la potencia que se puede efectuar el corte de 1,85 kW, cumpliéndose que $N_{corte} \leq N_h$. Entonces el tiempo para roscar un orificio del carro longitudinal del torno 16K20 es de 0,141 min, para elaborar las cuatro roscas M6 es necesario invertir un tiempo de 0,564 min.

En la Tabla 7 aparecen los resultados de los principales parámetros del régimen de corte para la elaboración de las cuatro roscas de M8, cuyo objetivo es alojar los tornillos que permiten verter la mezcla de Autocril al carro longitudinal.

Tabla 7. Resultados del roscado del orificio de M8 en el carro longitudinal

Parámetros	Valor	Valores estandarizados	U/M	Ecuación
Velocidad de corte recomendada	3		m/min	
Número de revolución de la fresa	119,4	125	rev/min	4
Velocidad de corte real	3,14		m/min	5
Avance recomendado	1,25		mm/rev	
Potencia de corte N_c	1,725		KW	7
Potencia de husillo N_h	3,2		KW	8
Longitud a maquinar	30		mm	
Tiempo de maquinado T_m	0,224		min	9

La potencia del husillo en la máquina es de 3,2 kW, siendo superior a la potencia que se puede efectuar el corte de 1,725 kW, es decir, se cumple que $N_{corte} \leq N_h$ (Tabla 7). El tiempo para roscar un orificio del carro longitudinal del torno 16K20 es de 0,224 min, para elaborar las cuatro roscas de diámetro 8 es necesario invertir 0,896 min.

Resultado de los cálculos de la operación tecnológica de fresado. Se realizará un fresado a lo largo de las guías prismáticas y en forma de V de 590 mm y un ancho en la primatica de 20 mm, de forma de V se realizarán dos ranuras de 30 mm. Estos resultados se reflejan en la Tabla 8.

Tabla 8. Resultados del fresado de la guía rectangular del carro longitudinal

Parámetros	Valor	Valores estandarizados	U/M	Ecuación
Velocidad de corte recomendada	23,8		m/min	
Número de revolución de la fresa	473,4	500	rev/min	10
Velocidad de corte real	25,12		m/min	11
Avance por diente S_z	0,04		mm/diente	
Avance por minuto S_m	100	100	mm/min	12
Potencia de corte N_c	0,462	8	KW	14
Longitud a maquinar L_1	590		mm	
Tiempo de maquinado T_m	5,9		min	16

En la Tabla 8 se muestra que la potencia de la máquina es de 8 kW, siendo superior a la potencia de corte de 0,462 kW, es decir, $N_{corte} \leq N_h$. Como el diámetro de la fresa es de solo 16 mm y el ancho de la ranura es de 20 mm, la misma se realizará en dos pasadas para un tiempo de 11,8 min. Los parámetros normalizados son los que se buscan en el pasaporte de las máquinas.

Para el fresado de las dos ranuras en la guía en forma V se utilizará la misma máquina y la misma herramienta, solo varía el ancho de la ranura que será de 30 mm. Los resultados de los principales parámetros de la operación tecnológica no varían. Solo

varía el tiempo total para realizar las ranuras en el carro longitudinal del torno 16K20 y es de 24,5 min. La elaboración de las tres ranuras se realizará en 36,3 min.

Operación tecnológica de rasqueteado

El rasqueteado se utiliza para el acabado superficial necesario para el ajuste de las guías del carro longitudinal y el vertical de la parte superior, este debe ser de 0,001 mm o de forma visual 80 % a 85 % del jaspeado de la mancha sobre la bancada.

Realizándose en el siguiente orden.

1- Rasquetear las guías del carro transversal inferior, comprobando la planicidad sobre un mármol de verificación. Se debe verificar con el prisma y la guía de la bancada, garantizando la perpendicularidad de la guía del carro longitudinal con respecto a las guías de la bancada con una escuadra de precisión y un comparador de esfera.

2- Rasquetear la guía del carro longitudinal superior comprobando la rectitud de una regia mármol triangular y el ángulo que se forma con la guía con una galga o con un goniómetro. Al mismo tiempo es necesario verificar el paralelismo entre las guías con un micrómetro o un pie de rey y rodillos calibrados.

3- Rasquetear la superficie de los listones de ajuste del carro longitudinal a la bancada comprobando con las guías de la bancada, si la holgura entre las guías de la bancada y los listones es mayor que la permisible debe escaparse la superficie de los listones.

4- Rasquetear los listones de ajuste de los carros y comprobar con las guías los mismos al montar los listones.

5- Montar el carro longitudinal y el carro transversal con el preparado para la tuerca de los avances transversales y marcar el centro con un granete.

Resultado del total tiempos de las operaciones tecnológicas

El tiempo maquinado es solo el tiempo que se invierte en transformar la pieza para obtener un producto con valor agregado y que cumpla una función determinada. Pero este tiempo no es el único que interviene en la conformación del tiempo total de la recuperación del carro longitudinal. En la Tabla 9 se muestran los tiempos que conforman el tiempo total por operaciones.

Tabla 9. Resultados de los tiempos totales por operaciones

Operaciones tecnológicas	Tiempos operación (min)						
	Tm	Ta	Torg	Tdnp	To	Tpt	Tpv
Taladrado 5	2,156	0,539	0,043	0,539	2,695	0,172	6,145
Roscado M6	0,564	0,141	0,011	0,141	0,701	0,045	1,60
Taladrado	2,19	0,547	0,043	0,547	2,74	0,175	6,242
Roscado M8	0,896	0,224	0,018	0,224	1,1	0,072	2,554
Fresado	36,3	9,075	0,726	9,075	45,4	2,904	103,45
Rasqueteado	5 053	1263,25	101,06 1	263,25 6	316,25	404,24	14 401,1
T total(min)							14521,1

El tiempo total invertido en todas las operaciones de maquinado para la recuperación del carro longitudinal del torno 16K20 es de 14 521,103 min.

Conclusiones

La experimentación realizada permitió establecer la viabilidad del uso del Autocril de producción nacional reforzado con polvo de grafito y una tecnología para la restauración de la capacidad tecnológica de máquinas herramientas.

La adición de polvo de grafito con granulometría de 0,2 mm y proporción de 5 % y 10 % al Autocril de producción nacional garantiza una fluidez, tiempo de gelificación y pérdida de volumen (peso) viables para el rellenado de superficies desgastadas del carro longitudinal del portaherramientas del torno 16K20 con la tecnología propuesta.

La adición de polvo de grafito con granulometrías de 0,4 mm y proporción de 5 % y 10 % al Autocril de producción nacional pueden garantizar fluidez, tiempo de gelificación y pérdida de volumen (peso) viables para el rellenado de superficies desgastadas del carro longitudinal del portaherramientas del torno 16K20, pero si se añade más metacrilato de metilo a la mezcla.

Referencias bibliográficas

CASILLAS, A. 1989: *Cálculos de Taller*. Editorial Científico Técnica, La Habana.

GUELLBERG, B. & PEKELIS, G. 1968: *Reparación de Máquinas Herramientas*. Mir, Moscú.

GUILARTE, M. R. 2000: *Desarrollo de la tecnología para la obtención del plástico reforzado con fibra de vidrio con el uso de cargas minerales*. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa.

HERNÁNDEZ, S. 2004: *Metodología de la Investigación*. Pueblo y Educación, La Habana.

IVATSEVICH, Y.; DENISCHENCO, A.; QUESADA, A. & VÁZQUEZ, R. 1988: Métodos de cálculo de las normas de tiempo de los procesos tecnológicos. Guía Metodológica. Instituto Superior Técnico de Holguín.

KALPAKJIAN, S. & SCHMID, S. 2010: *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Félix Varela, La Habana.

LÓPEZ, M.; GONZÁLEZ, R.; FUENTES, G.; GONZÁLEZ, J.; TOLEDO, C. & TORRES, R. 2007: Propiedades mecánicas y microestructurales de materiales compuestos de hidroxapatita y carbonato de calcio. En: Séptimo Congreso de la Sociedad cubana de Bioingeniería, La Habana.

Manual de mantenimiento y reparación de equipos industriales: Edit. Pueblo y Trabajo de Diploma Rodolfo Céspedes Matos. Educación, Ciudad de la Habana, 1985.

MELIÁN, M. 1985: *Materiales no metálicos*. Pueblo y Educación, La Habana.

NIKOLEV, A. 1980: *Máquinas Herramientas*. Pueblo y Educación, La Habana, Cuba.

NORMA EN 1338: 2003, anexos G y H. Métodos de Ensayo. Determinación de la resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto. [en línea]. Consultado: 10 nov 2012. Disponible en: www.construsur.net/index.php/catalogo/norma/une/31017