

## MONOGRAFIA



### MAQUINADO DE CHUMACERAS DE MATERIAL BABBITT

(Este trabajo no trata los métodos de fabricación del material BABBITT)

Autores:

Ing. José Antonio García González <sup>II</sup>  
Dr. Mario Jacas Cabrera <sup>I</sup>,  
Ing. José Carlos Gálvez Gardentey <sup>I</sup>,  
Ing. Rene Pérez Rivero <sup>II</sup>.

I. Universidad Tecnológica de la Habana "José A. Echeverría". CUJAE. Ave 114 #11901 e/  
Rotonda y Ciclovía, Marianao, La Habana, Cuba CP 11500 Tel (537) 2663603, (537) 2663844.

II. Empresa de Mantenimiento de Centrales Eléctricas "Emilio Ayala Molina". EMCE. Calle San  
Francisco #557 e/ Jesús Peregrino y Salud. Centro Habana. La Habana.  
clao@mecanica.cujae.edu.cu

E-mail: [jacas@mecanica.cujae.edu.cu](mailto:jacas@mecanica.cujae.edu.cu); [jcgalvez@mecanica.cujae.edu.cu](mailto:jcgalvez@mecanica.cujae.edu.cu);  
[joseantoniogarcia9202@gmail.com](mailto:joseantoniogarcia9202@gmail.com)

ISBN 978-959-261-596-0

28 de Febrero 2019

## GENERALIDADES:

### Integridad superficial.

Las especificaciones del estado de las superficies requieren una interrelación entre la metalurgia, el maquinado y la experimentación mecánica. Para satisfacer este requerimiento, se introduce la disciplina Integridad Superficial.

La integridad superficial describe y controla las posibles alteraciones producidas en las capas superficiales durante su manufactura, incluyendo sus efectos en las propiedades del material y el desempeño de la superficie durante su trabajo.

La integridad superficial abarca el estudio de la rugosidad superficial o topografía, así como la metalurgia de la superficie. Estos factores influyen en la calidad de la superficie maquinada y se vuelven extremadamente significativos al confeccionar componentes estructurales que tienen que soportar altas tensiones estáticas o dinámicas.

La condición final de la superficie maquinada depende del proceso de corte. Este proceso envuelve deformaciones plásticas, ruptura, recuperación elástica, generación de calor, vibraciones, tensiones residuales y a veces reacciones químicas. Todos estos son factores que pueden tener efectos diferentes en la nueva superficie. Así, el término de integridad superficial se usa para describir la calidad de la superficie y por tanto, incluye un gran número de alteraciones sufridas por ésta. De esa manera, el concepto de integridad superficial no puede estar definido en una dimensión y no sólo incluye la textura de la superficie o su forma geométrica, también incluye otras características de la superficie y de la capa debajo de ésta.

Field e Kahles [1], definen la integridad de la superficie, como la relación entre las propiedades físicas y el comportamiento funcional de la superficie. La integridad de la superficie se determina por sus valores geométricos, tales como: la rugosidad de la superficie y las propiedades físicas modificadas por las tensiones residuales, dureza y estructura de las capas superficiales.

De manera general, la integridad superficial puede ser clasificada en alteraciones superficiales (en el acabado) y alteraciones en las capas interiores (alteraciones sub-superficiales) Tabla I.

Tabla I. Clasificación de la integridad superficial

	Acabado	Ondulaciones	
		Fallas	
		Rugosidades	
Integridad superficial	Alteraciones sub-superficiales	Factores mecánicos	Deformación plástica
			Rebabas
			Alteraciones de microdurezas
			Micro y macrogrietas
		Tensiones residuales	Factores metalúrgicos
		Recristalización	Transformaciones metalúrgicas

En la bibliografía revisada, se propone un grupo mínimo de datos para la evaluación de la integridad superficial que define las pruebas esenciales para obtener la información indispensable:

- **Textura superficial.**
- **Macroestructurales.**
  1. Macrogrietas.
  2. Macroataque.
- **Microestructurales.**
  1. Microgrietas.
  2. Deformaciones plásticas.
  3. Ataque intergranular.
  4. Aristas falsas de corte
  5. Ataque selectivo.
  6. Microdureza.

El grupo normal de datos para el estudio de la integridad de una superficie, pide ensayos adicionales de fatiga, corrosión, tensiones residuales y medida de distorsiones.

Finalmente el grupo de datos para el estudio de la integridad superficial todavía involucra incluso a los ensayos de fatiga y los ensayos mecánicos de tracción y fluencia.

Pueden usarse varias técnicas, con el objetivo de evaluar cualitativa y cuantitativamente la magnitud de la influencia en la operación del maquinado de los parámetros de corte sobre las propiedades.

Estas técnicas, normalmente se agrupan en destructivas y no destructivas. Algunas de ellas son de ejecución fácil y de bajo costo como:

- la inspección visual por microscopio óptico.
- medición de dureza.
- análisis metalográfico.
- uso de partículas magnéticas o líquidos penetrantes.

Estas aportan información valiosa acerca de las condiciones generales en la pieza.

Existen otros métodos que consumen un tiempo largo como:

- la difracción por los rayos X.
- ensayos de fatiga.

Estas son recomendadas en los estadios avanzados de investigación, cuando las técnicas más simples sean incapaces de proporcionar la información necesaria.

Virtualmente todos los métodos esenciales de remoción, producen alteraciones de las capas superficiales y sub- superficiales.

Las zonas mecánicamente y metalúrgicamente alteradas por la remoción del material, se pueden extender en la superficie a considerables profundidades, en dependencia de si lo procesos de elaboración son de desbaste o acabado.

Uno de los aspectos a controlar en el análisis de la integridad de la superficie es la rugosidad, la cual debe ser mantenida dentro de determinados límites en la elaboración de cualquier producto.

El acabado de la superficie se preocupa sólo de las irregularidades geométricas de las superficies de los materiales sólidos. La textura de la superficie está definida en términos de la aspereza, ondulación, configuración y los desperfectos.

- La rugosidad (**roughness**) consiste en irregularidades finas en la textura de las superficies inherentes al proceso de producción, como por ejemplo, las producidas durante el proceso de maquinado.
- La ondulación (**waviness**), es un componente de textura de la superficie más ampliamente espaciado y puede resultar de factores como la máquina o las deflexiones de trabajo y la vibración.
- La configuración (**lay**), es la dirección de los patrón predominante de la superficie
- Los desperfectos (**flaws**), son interrupciones inesperadas y no deseadas en la superficie, por ejemplo, las grietas, muescas y rayones, Figura 1.

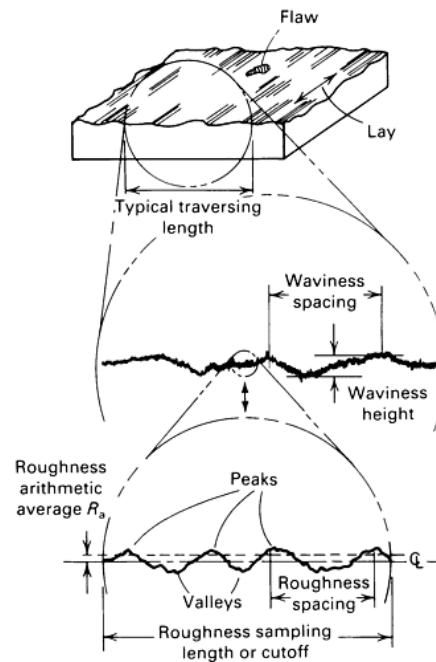


Fig. 1. Componentes de la textura de la superficie. [2]

### Chumaceras recubiertas de material Babbitt.

La producción de energía eléctrica por medio de termoeléctricas, es la principal fuente de suministro de electricidad al Sistema Nacional de Energía, en ellas se utilizan generadores conectados a diferentes rotores de turbinas, las que aprovechan la energía del vapor para imprimirle movimiento constante de rotación. Estos rotores de turbinas deslizan sobre cojinetes de apoyos o chumaceras.

Este tipo de cojinete está compuesto por un cuerpo o coraza metálica, a la que se le adiciona interiormente una capa de algún tipo de material antifricción, el cual unido al de los apoyos de los rotores, forman un nudo tribológico capaz de soportar los elevados volúmenes de trabajo al entrar en contacto las dos partes.

Las chumaceras o cojinetes recubiertas con material Babbitt, poseen un gran campo de aplicación, como apoyo de los ejes de turbinas en las centrales termo eléctricas. En este caso el material Babbitt está sometido a altas cargas y velocidades de rotación que provocan desgaste, limitando su vida útil y requiriendo la necesidad de su recuperación.

En estos procesos de recuperación se requiere alcanzar en el material que recubre las chumaceras, altos índices de precisión y entre ellos altos valores de calidad superficial.

Una vez depositado por diferentes métodos el material anti fricción Babbitt en las chumaceras, se requiere por el proceso tecnológico de maquinado, alcanzar rugosidades superficiales menores de Ra 0,8  $\mu\text{m}$ . lo que permitirá incrementar su durabilidad así como un buen funcionamiento.

El material Babbitt, fue descubierto por **Isaac Babbitt**, (1799-1862, Estados Unidos), no siendo hasta 1839 que se produjo su primera aplicación como metal antifricción. El Babbitt es uno de los metales denominados como antifricción, cuyos elementos principales para realizar la aleación son el estaño, plomo, antimonio y cobre. Figura 2. [3]

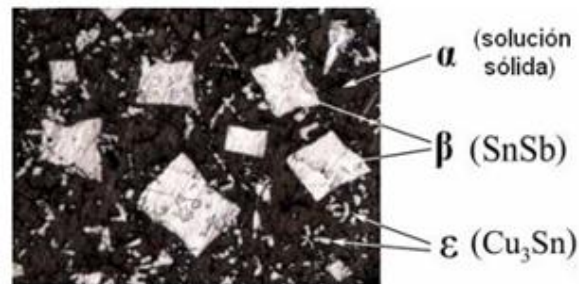


Fig. 2. Estructura del metal Babbitt B-83. GOST 1320-98. [3].

Existen dos tipos de este metal, el primero tiene base de estaño, con más de un 50% de este material, teniendo una buena adherencia sobre una base de hierro y presentando a su vez buena dureza a temperatura ambiente. El segundo tipo, tiene base plomo y también posee más del 50% de Pb, con poca adherencia sobre la base de hierro y menor dureza a temperatura ambiente, pero cuando se eleva su temperatura el descenso de sus propiedades físicas no es tan acentuado como en el que tiene base estaño.

Entre las propiedades generales de los Babbitts están: su baja dureza (13 – 32 HB), tienen temperatura de fusión no muy alta (240 – 320 °C), elevada capacidad de reblandecimiento (9 - 24 HB a 100 °C), se pueden procesar de forma excelente y constituyen un compensador muy particular de diferente género de imprecisiones del tratamiento de la capa antifricción y de montaje de los cojinetes.

El mejor conjunto de propiedades antifricción las poseen los Babbitts en base a estaño, usándose preferentemente para cojinetes de alta responsabilidad como turbinas de vapor, piezas, ejes de distribución de motores de baja potencia, compresores, etc., que trabajan a grandes velocidades y sometidos a altas cargas.

Una de las insuficiencias de los Babbitt en base a estaño es su heterogeneidad estructural que aparece especialmente durante la fundición por el **método centrífugo** y que está relacionada, en primer lugar, con la segregación por densidad de los componentes. Figura 3. [3]

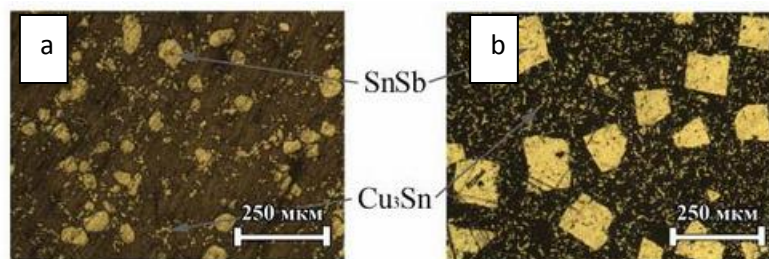


Fig. 3. Estructura del Babbitt B-83 centrifugado: a) zona interna. b) zona externa.

Como se refiere en el título de la monografía, el objetivo del trabajo es establecer las condiciones necesarias para garantizar los índices de precisión requeridos, durante el maquinado de acabado del recubrimiento de material Babbitt, por método de centrifugado en chumaceras de las turbinas de las centrales eléctricas así como en las de tiro forzado, garantizando la obtención de rugosidades superficiales con valores iguales o menores de Ra 0,8µm.

En el desarrollo del trabajo se realizaron una serie de experimentos con el fin de determinar las variables de corte, geometría y material de la herramienta, que garantizara la durabilidad necesaria en el maquinado de chumaceras de gran diámetro y longitud.

### **DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORTE Y VELOCIDAD DE AVANCE PARA EL MAQUINADO DE ACABADO DEL MATERIAL BABBITT**

Con respecto al material Babbitt se ha escrito mucho, no pudiendo decir lo mismo sobre su proceso de maquinado. En bibliografía referenciada [3-15], se tratan muchos aspectos sobre la influencia de las variables de corte y otros parámetros sobre el proceso de acabado de materiales ferrosos, que si bien no responden a las características y propiedades del material objeto de estudio, dan una idea del comportamiento de las variables de corte en la rugosidad superficial de las piezas. Todo lo anterior obliga a la realización de un trabajo fundamentalmente empírico,

Para la realización de los primeros experimentos se utilizó una chumacera de apoyo de los rotores de las turbinas, con una superficie de contacto de diámetro 300 mm y longitud de 210 mm, y un espesor de capa de material BABBITT de 25mm, el cual fue depositado por el método de centrifugado. Figura 4.



Fig. 4. Chumacera utilizada para la realización de los experimentos

El material a maquinar fue una aleación blanca (Babbitt), con el código **AVE- F1**, cuya composición química es semejante a la del B83 según norma GOST 1320. Tabla II.

Tabla II. Composición química del material AVE- F1 y el B83

Aleación y norma	Sn%	Sb%	Cu%
B83 (GOST)	81,5-84,5	10,0-12,0	5,5-6,5
AVE - F1	77,0-82,0	10,5-12,5	5,0-7,0

Para la realización de los experimentos, se utilizó máquina mandriladora horizontal de fabricación china, modelo: Hartand TX611C, con dimensiones generales 5016 x 3149 x 2788mm y potencia del motor de 8kW.

Como herramienta se usó una barra cilíndrica diámetro 20mm de acero de corte rápido (HSS) P6M5, según GOST 9373-60. La composición química se expresa en la tabla III. La herramienta fue afilada con la geometría mostrada en la tabla IV.

Tabla III. Composición química del acero de corte rápido P6M5. Según GOST 9373-60

Material	C [%]	Si [%]	Cr [%]	V [%]	W [%]	Mo [%]
P6M5	0,83	0,33	4,13	1,98	6,13	5

Tabla IV. Geometría de la herramienta

Ángulo de posición principal $\varphi$ [°]	Ángulo de posición secundario $\varphi^1$ [°]	Ángulo de incidencia principal $\alpha$ [°]	Ángulo de inclinación del filo $\lambda$ [°]	Ángulo de ataque $\gamma$ [°]	Radio de punta $r$ [mm]
75	45	8	0	0	1.6

La herramienta se instaló en un portaherramientas desplazable radialmente, que se instala en el husillo de la máquina. Figura 5. Esta instalación permitió establecer entre el husillo y la mesa de la máquina, los menores valores de avance necesarios en esta investigación.

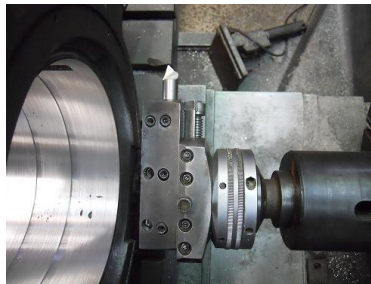


Fig. 5. Instalación de la herramienta en el porta herramienta

La rugosidad superficial se midió en unidades de  $R_a$  [ $\mu\text{m}$ ], para lo cual se utilizó un rugosímetro portátil marca Mitutoyo, modelo (SJ – 210), con longitud estándar de evaluación, (cutoff):  $\lambda_c = 0,08$  mm,  $\lambda_c = 0,25$  mm,  $\lambda_c = 0,8$  mm y  $\lambda_c = 2,5$  mm.

### Diseño Experimental.

Para la realización de los experimentos de medición de la rugosidad superficial, se concibió un diseño experimental de 12 experimentos, con cuatro niveles de velocidad de corte y tres niveles de velocidad de avance, como se muestra en la tabla V. El valor de la profundidad de corte se

asumió constante  $t = 0.2$  mm. Los experimentos se realizaron en seco. En la tabla VI se presenta la el orden y las variables de cada experimento.

Tabla V. Niveles de las variables independientes

No. Niveles	Vc [m/min]	S [mm/rev.]
1	47	0,025
2	75	0,035
3	94	0,05
4	150	

Dado el limitado número de chumaceras disponibles y realizar un mejor aprovechamiento de la superficie a maquinar, esta última fue dividida en tres zonas, cada una con una longitud aproximada de 70 mm. Así en cada zona se realizaron cuatro experimentos con sus correspondientes mediciones de la rugosidad. En cada experimento se realizaron cuatro mediciones en posiciones dispuestas a  $90^\circ$ , determinándose el promedio entre ellas. Figura 6.



Fig. 6. Zonas de medición de la rugosidad en la pieza

Tabla VI. Diseño experimental

No. Exp.	Vc [m/min]	S [mm/rev.]	t [mm]	n [min <sup>-1</sup> ]
1	47	0,025	0,2	50
2	47	0,035	0,2	50
3	47	0,05	0,2	50
4	75	0,025	0,2	80
5	75	0,035	0,2	80
6	75	0,05	0,2	80
7	94	0,025	0,2	100
8	94	0,035	0,2	100
9	94	0,05	0,2	100
10	150	0,025	0,2	160
11	150	0,035	0,2	160
12	150	0,05	0,2	160



## Resultados.

Realizados los experimentos, los valores medios obtenidos de rugosidad superficial, se presentan en la tabla VII. En la figura 7 y 8 se presentan los gráficos de los valores de rugosidad superficial vs avance, así como rugosidad superficial vs velocidad de corte con ayuda del software Excel.

Tabla VII. Resultados de la rugosidad superficial obtenidos en los experimento

No. Exp.	Vc [m/min]	S [mm/rev.]	t [mm]	n [min <sup>-1</sup> ]	Ra (promedio) [μm]
1	47	0,025	0,2	50	0,71
2	47	0,035	0,2	50	0,91
3	47	0,05	0,2	50	1,04
4	75	0,025	0,2	80	0,81
5	75	0,035	0,2	80	0,89
6	75	0,05	0,2	80	0,94
7	94	0,025	0,2	100	1,26
8	94	0,035	0,2	100	1,43
9	94	0,05	0,2	100	1,46
10	150	0,025	0,2	160	2,94
11	150	0,035	0,2	160	3,73
12	150	0,05	0,2	160	2,65

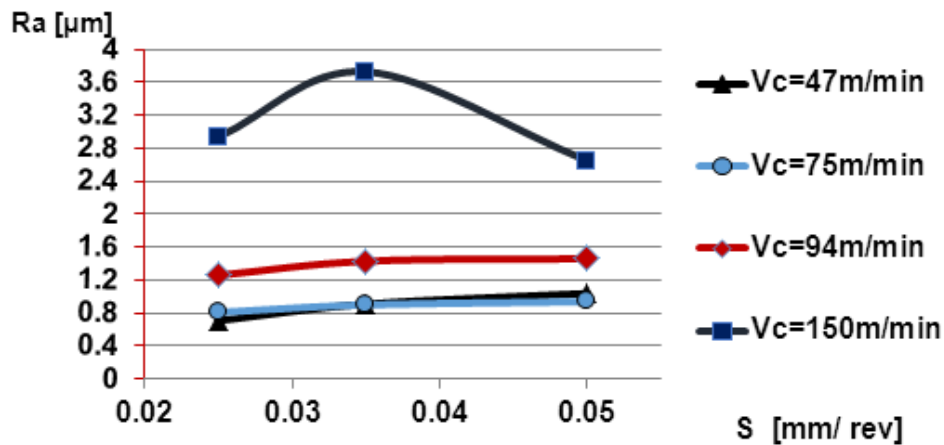


Fig. 7. Comportamiento de la rugosidad superficial vs la velocidad de avance para diferentes valores de velocidad de corte

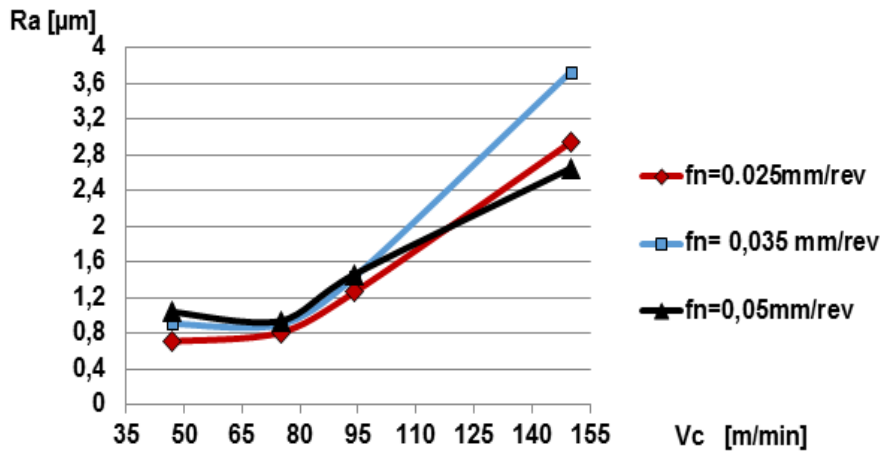


Fig. 8. Comportamiento de la rugosidad superficial vs la velocidad de corte para diferentes valores de velocidad de avance

### Discusión.

En la figura 7, se observa un comportamiento clásico de la influencia de la velocidad de avance en la magnitud de la rugosidad superficial y en total correspondencia con lo planteado en la bibliografía. Se observa, que en la medida que aumentan los valores de avance, empeora la calidad superficial. Se debe destacar que las curvas de rugosidad vs avance, presentan una pequeña pendiente de variación, en este caso, motivado por el rango pequeño de los valores límites. El mejor valor de rugosidad  $Ra=0,71\mu\text{m}$ , coincidió con el menor valor del avance y velocidad de corte experimentados (0,025 mm/rev; y 47 m/min).

En la figura 8, Se observa de manera evidente que para valores de velocidades de corte mayores de 75 m/min se presenta un deterioro de la rugosidad superficial para cualquiera de los valores de avance seleccionados. Esto se puede justificar por el calor generado al trabajar con valores de velocidad de corte relativamente altos, que reblandece el material elaborado, (el cual presenta un bajo punto de fusión de aproximadamente  $240^{\circ}\text{C}$ ), lo que trae como consecuencia un empeoramiento de la calidad superficial. Como se observa, los resultados tienen una coincidencia total con respecto a la bibliografía en lo correspondiente a la relación entre la velocidad de avance y la rugosidad superficial, y parcial en cuanto a la relación entre la velocidad de corte y la rugosidad.

## INCREMENTO DE LA CALIDAD SUPERFICIAL EN EL MAQUINADO DE ACABADO DEL MATERIAL BABBITT EN UN PROCESO DE TORNEADO

Durante el desarrollo experimental expuesto anteriormente y en particular en el establecimiento de los niveles de velocidad de corte: 47, 75, 94, y 150 m/min, se deseó realizar pruebas con valores de velocidad de corte menores de 47m/min, lo cual no pudo ser posible por el alto nivel de vibraciones que poseían las cadenas cinemáticas de bajas frecuencia de rotación en la máquina mandriladora modelo Hartand TX611C.

Por tal motivo, se plantea como objetivo de esta parte del trabajo, la determinación de la influencia de velocidades de corte menores de 47m/min, en la calidad superficial del material BABBIT. En

este caso, la parte experimental se realizó en un proceso de torneado, garantizándose que valores de frecuencia de rotación tuviesen niveles de vibraciones despreciables.

### Materiales y métodos

Para dar cumplimiento al objetivo planteado, se diseñó y fabricó una pieza bruta con dimensiones semejantes a una chumacera de los Ventiladores de Tiro Forzado, se construyeron nuevas herramientas, se utilizó una máquina herramienta tipo torno y se planteó un nuevo diseño experimental.

La pieza bruta utilizada, se construyó a partir de un tubo laminado de acero de 125 mm de longitud y diámetro exterior de 280 mm, con un espesor de pared de 20, el cual fue recubierto interiormente con una capa de material Babbitt de 50 mm de espesor por el método de fundición centrífuga, lográndose un diámetro interior después de las operaciones de desbaste de 150 mm y uno máximo de 237 mm de material anti fricción. El espesor de capa depositado excede el espesor de capa que se deposita normalmente con el fin de poder realizar todos los experimentos con una sola pieza bruta. Figura 9.



Fig. 9. Pieza utilizada para la realización de los experimentos

El material depositado fue la aleación blanca (Babbitt), con el código **AVE- F1**, semejante a la del B83 según norma GOST 1320 al igual que en los experimentos anteriores.

Como máquina herramienta se utilizó el torno italiano modelo: **ITAMA 500/30**, cuyas características técnicas se presentan en la tabla VIII.

Tabla VIII. Características técnicas del torno italiano modelo ITAMA 500/30

Parámetros.	Valores.
Diámetro máximo.	900 [mm]
Diámetro máximo medido sobre el carro transversal	500 [mm]
Longitud entre puntos	2500 [mm]
Rango de frecuencias de rotación	5.4 - 960 [min <sup>-1</sup> ]
Rango de frecuencias de valores de avance	0.06 - 0.83 [mm/rev.]
Potencia del motor	15 kW.

Como herramienta se usó una barra cuadrada 16 x 16 x 200 mm de acero de corte rápido (HSS) P6M5 según GOST 9373-60, de igual composición química que los experimentos anteriores. Tabla III. La herramienta fue afilada con la geometría mostrada en la tabla IX.

Tabla IX. Geometría de la herramienta

Ángulo de posición principal $\varphi$ [°]	Ángulo de posición secundario $\varphi^1$ [°]	Ángulo de incidencia principal $\alpha$ [°]	Ángulo de inclinación del filo $\lambda$ [°]	Ángulo de ataque $\gamma$ [°]	Radio de punta $r$ [mm]
75	45	8	0	0	2.1

El radio de punta de la herramienta se le dio un valor de  $r = 2.1$  mm, cumpliendo que la relación radio de punta vs avance ( $r/s$ ), sea igual o mayor que tres en las elaboraciones de acabado, SANDVIK [16]. La herramienta se fijó mecánicamente a un vástago cilíndrico con relación longitud diámetro menor de 4, fijándolo a la torre porta herramienta del torno. Figura 10.



Fig. 10. Instalación de la herramienta

La rugosidad superficial se midió en unidades de  $Ra$  [ $\mu\text{m}$ ], utilizando el mismo rugosímetro de los experimentos anteriores.

En el trabajo se concibió un diseño experimental de  $Z = 1 \times 2 = 2$ . Siendo la variable independiente la velocidad de corte, manteniéndose constante la velocidad de avance y la profundidad de corte.

En este caso se tomó el menor valor avance permitido por el torno,  $S = 0.06$  [mm/rev] y un valor de profundidad de corte de  $t = 0,2$  mm. En la tabla X, se establecen los niveles de las variables independientes y en la tabla XI, se presenta diseño experimental.

Tabla X. Niveles de las variables independientes

Niveles exp.	Variables de Corte.	
	Velocidad de avance [mm/ rev.]	Velocidad de corte [m/ min]
1	0,06	25
2	0,06	40

Tabla XI. Diseño experimental

No. Exp.	Vc [m/min]	S [mm/rev.]	t [mm]	n [min <sup>-1</sup> ]
1	25	0,06	0,2	42
2	40	0,06	0,2	60

Para el mejor aprovechamiento de la superficie de la pieza a maquinar, esta fue dividida en dos zonas, con longitud aproximada de 60mm. Cada experimento fue realizado en una zona, midiéndose la rugosidad 12 veces en cada experimento y obteniéndose un valor promedio de las mediciones, figura 11.



Fig. 11. Instalación para la realización del experimento

## Resultados

Durante la realización del primer experimento en la zona 1, se observó que en los primeros 20 mm de superficie maquinada, la viruta se caracterizaba por ser continua y en los restantes 40 mm se transformaba en una viruta corta, casi fracturada. Se observó también que en los primeros 20mm, la calidad de la superficie era mejor que en los restantes 40mm.

En la realización del segundo experimento en la zona 2, se observó que la viruta y el acabado superficial se mantenía semejante en toda su longitud al de los últimos 40 mm de la primera zona, figura 12.

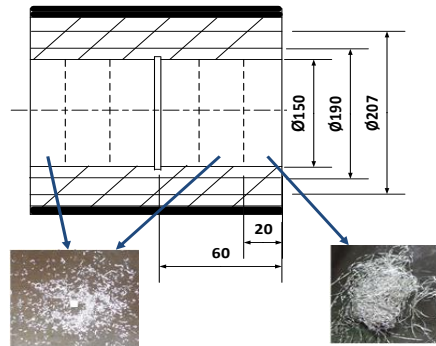


Fig.12. Diferencia en la viruta durante el maquinado

Este fenómeno podía ser provocado por la no uniformidad durante proceso de enfriamiento del material, ocasionando un cambio estructural y quedando afectada la homogeneidad del material.

Otra causa de este comportamiento es el espesor excesivo de capa de Babbitt depositado, (aproximadamente 50mm), lo que provoca, debido a las diferentes velocidades angulares que se generan durante el proceso de centrifugado, que los elementos químicos que conformaban la aleación, debido a su densidad, podían haberse depositado en las zonas más exteriores de la pieza. Esto es lo que en [3] se plantea como heterogeneidad estructural. Figura 3. Por tal motivo se determinó remover diferentes espesores de capas, realizando mediciones de rugosidad en cada una de ellas hasta alcanzar un espesor similar al de un cojinete de deslizamiento (aproximadamente 15 mm). En la figura 13, se aprecia el comportamiento o los resultados de rugosidad obtenidos en cada zona de trabajo a diferentes diámetros.

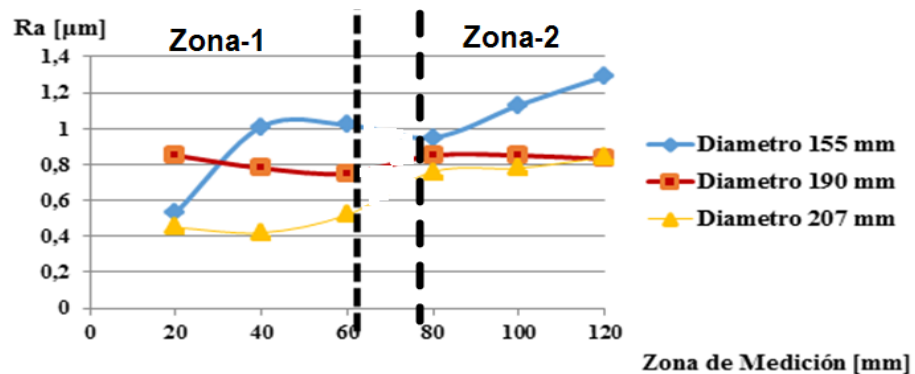


Fig.13. Comportamiento de la rugosidad superficial vs zonas de medición para los diferentes diámetros: Zona 1,  $V_c=25\text{m/min}$ ; Zona 2,  $V_c=40\text{m/min}$

En la figura 13, se observa que los mejores valores de rugosidad superficial se obtienen en la zona I, en la medida que va disminuyendo el espesor de la capa de metal depositado. En la tabla XII, se plantean los valores numéricos de rugosidad superficial en cada una de las zonas experimentadas de la pieza en función de la velocidad de corte, para el diámetro final de 207mm.

Tabla XII. Rugosidad Superficial en Chumacera de Ventilador de Tiro Forzado- (VTF). Diámetro 207mm

Diámetro interior. [mm]	Velocidad de corte. [m/min]	Frecuencia de rotación. [min <sup>-1</sup> ]	Velocidad de avance/profundidad de corte. [mm/rev] / [mm]	Valores de rugosidad. [μm]
<b>Zona 1 de la pieza.</b>				
207	25	42	0,06/0,2	0,46
<b>Zona 2 de la pieza.</b>				
207	40	60	0,06/0,2	0,79

### Discusión

Analizando los resultados obtenidos, se verifica la influencia de la velocidad de corte en la rugosidad superficial durante el maquinado del material anti fricción Babbitt. En este caso se observa que con velocidad de avance constante, una disminución de la velocidad de corte mejora el acabado superficial en el maquinado del Babbitt.

Un aspecto negativo en estos resultados es que al trabajar con bajas velocidades de corte y de avance, trae consigo que los tiempos principales de maquinado (**tp**), aumentan considerablemente, haciendo poco productivo el proceso.

### INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO

El incremento de la productividad del proceso, no se puede lograr en base al incremento de la velocidad de corte, ya que empeoraría la calidad superficial al incrementarse la temperatura de corte y provocar un reblandecimiento del material. Por otro lado, no lo podemos lograr mediante el aumento de la velocidad de avance, pues disminuiría la calidad superficial.

En [16], se establece en forma general para cualquier material, una relación entre radio de punta de la herramienta (r), la velocidad de avance (s) y la rugosidad superficial. Con esto se da a entender que bajo determinadas combinaciones de radio de punta y velocidad de avance se pueden obtener valores deseados de rugosidad superficial. Los resultados hasta ahora obtenidos se muestran en Tabla XIII.

Tabla XIII. Variables de corte en los diferentes procesos

Maquinas Herramientas	Vc [m/min]	S [mm/rev]	t [mm]	r [mm]	r/s	Ra [μm]
Mandriladora	47	0,025	0,2	1,6	64	0,71
Torno	25	0,06	0,2	2,1	35	0,46

El tiempo principal de maquinado **tp [min]** se determina por la expresión (1).

$$t_p = \frac{L}{n \cdot s} \cdot i \quad (1)$$

Donde:

L-recorrido longitudinal de la herramienta, [mm].  
 n- frecuencia de rotación, [min-1].  
 s – velocidad de avance, [mm/ rev].  
 i – cantidad de pasadas.

Calculando el tiempo principal de maquinado para 1 mm de longitud de la pieza en cada uno de los procesos experimentados:

- Mandrilado: 0,8 min.
- Torneado: 0,3 min.

Teniendo en cuenta la longitud media de una chumacera de aproximadamente 300 mm, le corresponderían tiempos principales solamente en el proceso de acabado de:

- Mandrilado:  $t_p = 240 \text{ min} = 4 \text{ horas}$
- Torneado:  $t_p = 90 \text{ min} = 1,5 \text{ horas}$

En base a lo anteriormente planteado y con el objetivo de incrementar la productividad del proceso, se decidió realizar un nuevo grupo de experimentos con valores constantes de velocidad y profundidad de corte, variando las relaciones de radio de punta y velocidad de avance de forma que garanticen una calidad superficial menor de Ra 0,8  $\mu\text{m}$  y un incremento de la productividad del proceso.

### Materiales y métodos

Para la realización de estos experimentos utilizó el mismo material de pieza pero con un espesor de capa de material Babbitt de 10 mm. Como máquina herramienta se utilizó el torno italiano modelo: **ITAMA 500/30**.

Se fabricaron nuevas herramientas de corte con las mismas características en cuanto a material y geometría que las utilizadas en el experimento anterior, con la diferencia de que los radios de punta fueron de 3, 4, 5 y 6 mm respectivamente. Tabla XIV.

En la figura 14, se presentan las herramientas con la geometría obtenida.

Tabla XIV. Geometría de la herramienta

Ángulo de posición principal $\phi$ [°]	Ángulo de posición secundario $\phi^1$ [°]	Ángulo de incidencia principal $\alpha$ [°]	Ángulo de inclinación del filo $\lambda$ [°]	Ángulo de ataque $\gamma$ [°]	Radio de punta r [mm]
75	45	8	0	0	3- 4- 5- 6





Fig. 14. Herramientas de corte afiladas con diferentes radios de punta

Para la realización de los experimentos se concibió un diseño experimental de  $Z= 6 \times 4 = 24$ . Manteniendo constante la velocidad de corte en 40 m/min, y la profundidad de corte de 0,2mm. Se establecieron los siguientes niveles de las variables, Tabla XV. En la tabla XVI. Se aprecian los valores del diseño experimental.

Tabla XV. Niveles de las variables independientes

No. Niveles.	Variables Independientes	
	S [mm/rev.]	Radio [mm]
1	0,06	3
2	0,08	4
3	0,10	5
4	0,12	6
5	0,15	
6	0,20	

Tabla XVI. Diseño experimental.

Exp.	S	r	Exp.	S	r
1	0,06	3	13	0,06	5
2	0,08	3	14	0,08	5
3	0,1	3	15	0,1	5
4	0,12	3	16	0,12	5
5	0,15	3	17	0,15	5
6	0,2	3	18	0,2	5
7	0,06	4	19	0,06	6
8	0,08	4	20	0,08	6
9	0,1	4	21	0,1	6
10	0,12	4	22	0,12	6
11	0,15	4	23	0,15	6
12	0,2	4	24	0,2	6

Para el mejor aprovechamiento de la superficie de la pieza a maquinar, esta fue dividida en tres zonas, con longitud aproximada de 40 mm. En cada zona se realizaron 8 experimentos. Figura 15.

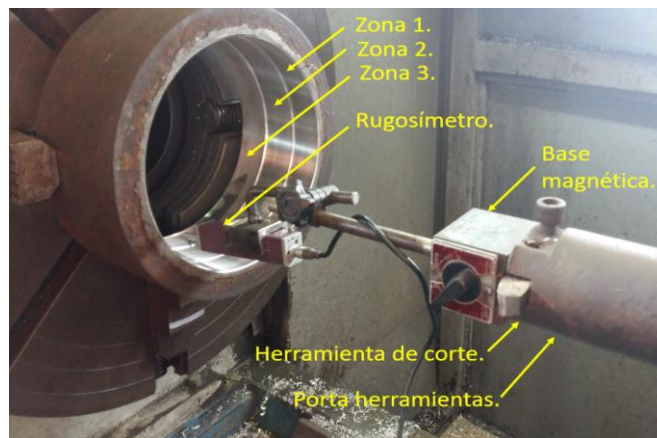


Fig. 15. Instalación para la realización del experimento.

Para controlar la calidad de la superficie se procedió a realizar varias mediciones en cuatro puntos diferentes de la pieza, obteniéndose un valor promedio. Como instrumento de medición se utilizó un rugosímetro Mitutoyo, modelo SJ – 210.

## Resultados.

En la tabla XVII, se presentan los resultados de rugosidad superficial obtenidos en cada experimento, y para su mejor comprensión se muestran en las figuras 16, 17 y 18.

Tabla XVII. Resultados de la rugosidad superficial obtenidos en los experimentos

EXP	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	S [mm/rev]	r [mm]	r/s	V [m/min]	tp x mm $\varnothing$ 300 [min]	rpm $\varnothing$ 215
1	0.48	0.06	3	50	40	0.39	60
2	0.62	0.08	3	37	40	0.29	60
3	0.72	0.1	3	30	40	0.24	60
4	0.59	0.12	3	25	40	0.20	60
5	0.78	0.15	3	20	40	0.16	60
6	1.06	0.2	3	15	40	0.12	60
7	0.36	0.06	4	66	40	0.39	60
8	0.48	0.08	4	50	40	0.29	60
9	0.49	0.1	4	40	40	0.24	60
10	0.37	0.12	4	33	40	0.20	60
11	0.46	0.15	4	26	40	0.16	60
12	0.49	0.2	4	20	40	0.12	60
13	0.72	0.06	5	83	40	0.39	60
14	0.62	0.08	5	62	40	0.29	60
15	0.79	0.1	5	50	40	0.24	60
16	0.74	0.12	5	41	40	0.20	60
17	0.63	0.15	5	33	40	0.16	60
18	0.72	0.2	5	25	40	0.12	60
19	0.40	0.06	6	100	40	0.39	60
20	0.50	0.08	6	75	40	0.29	60
21	0.74	0.1	6	60	40	0.24	60
22	0.68	0.12	6	50	40	0.20	60
23	0.53	0.15	6	40	40	0.16	60
24	0.62	0.2	6	30	40	0.12	60

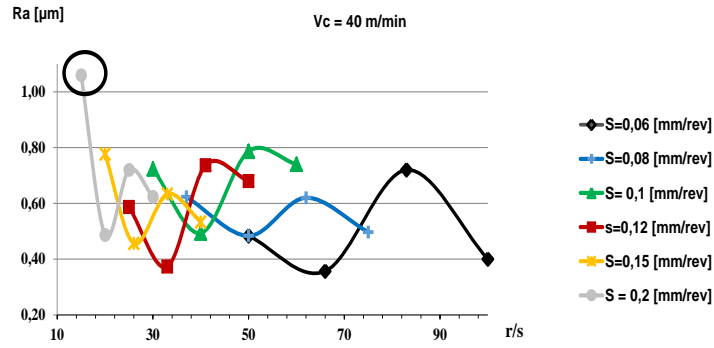


Fig. 16. Comportamiento de la rugosidad superficial para las diferentes relaciones de radio de punta vs avance de la herramienta.

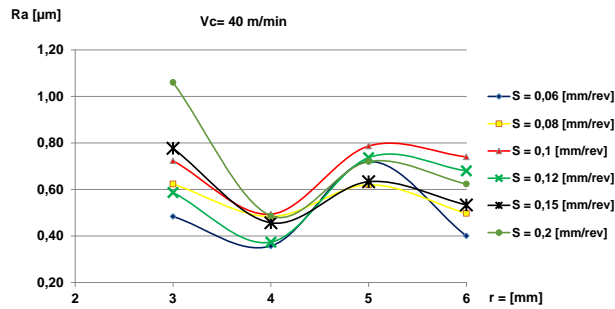


Fig. 17. Comportamiento de la rugosidad vs radio para diferentes valores de avance

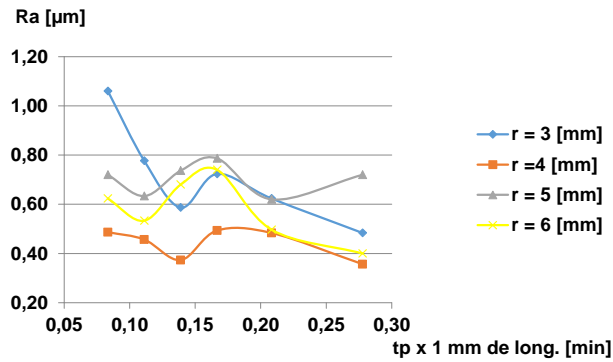


Fig. 18. Comportamiento de la rugosidad vs tiempo principal de maquinado para diferentes valores de radio de punta de la herramienta

## Discusión

En lo referente a las relaciones radio de punta vs velocidad de avance de la herramienta, se demostró que es posible encontrar relaciones  $r/s$  que garanticen acabados superficiales semejantes.

En la figura 16, se establece el comportamiento de la rugosidad superficial para las diferentes relaciones de radio de punta vs avance de la herramienta, observándose que si bien no se obtiene un comportamiento lineal de  $R_a$ , si se obtiene un rango estrecho de valores de rugosidad en un entorno de 0,4 a 0,8  $\mu\text{m}$ , para relaciones  $r/s$  de 20 a 100. Otro aspecto a señalar es que con excepción del punto circulado, todos los valores se encuentran en el rango de valores deseados.

En la figura 17, se establece la relación de rugosidad vs radio para diferentes valores de avance, se observa que los mejores valores de rugosidad superficial para cualquiera de los valores de avance estudiados se obtuvieron con la herramienta de radio 4 mm, encontrándose estos entre  $R_a$  0,36 y 0,49  $\mu\text{m}$  respectivamente.

En la figura 18, se establece el comportamiento de la rugosidad vs tiempo principal de maquinado para un 1mm de longitud de la pieza para diferentes valores de radio de punta de la herramienta, donde se determina, la posibilidad de obtener resultados que satisfagan el mejor valor de acabado superficial o el menor tiempo principal de maquinado para 1 mm de longitud. Según el caso:

1. El mejor acabado de 0,36  $\mu\text{m}$  se consigue con un avance de  $S= 0,06$  mm/rev y radio de punta  $r= 4$  mm para un tiempo principal de maquinado para 1 mm de longitud  $t_p= 0,39$  min. Considerando la longitud de una chumacera de 300 mm representaría un  $t_p = 117$  min, aproximadamente 2 horas.
2. El menor tiempo principal de maquinado para 1 mm de longitud  $t_p= 0,12$  min se obtiene con avance  $S= 0,20$  mm/rev, radio  $r= 4$  mm para un acabado superficial de 0,49  $\mu\text{m}$ . Para la longitud completa de la chumacera esto equivale a un  $t_p= 36$  min

## MEJORAMIENTO DE LA DURABILIDAD DE LA HERRAMIENTA

Una vez obtenidas las variables de corte y geometría de la herramienta óptimas para garantizar los valores de rugosidad superficial y una productividad adecuada del proceso de maquinado de acabado del material Babbitt, se procedió al maquinado de acabado de una de las chumaceras de aproximadamente 300mm de diámetro y unos 210mm de longitud de forma continua y con herramienta de acero rápido, a diferencia con las chumaceras maquinadas es los experimentos realizados, donde la superficie de trabajo era dividida en diferentes zonas. La longitud de la espiral de corte, **SCL, Spiral Cutting Length**, (2), en este caso resultaba mucho mayor, trayendo como consecuencia un incrementó del desgaste de la herramienta, que en los recorridos finales en la pieza, provocaba un empeoramiento de la calidad superficial de la superficie y errores de precisión de forma.

$$\text{SCL} = \frac{D \cdot \pi \cdot l}{1000 \cdot s} \quad [\text{m}] \quad (2)$$

Donde:

**D**- diámetro de la pieza o probeta. mm.

**l**- longitud de recorrido acumulado. mm.

**s**- avance de la herramienta mm/rev.

Para la solución del problema se sustituyó la herramienta de acero rápido por una placa recubierta circular de radio 4mm de la firma WALTER, (ISO) RDGT0803M0-G88 WXN15. Tabla XVIII, que fue fijada mecánicamente a un vástago construido a al efecto. Figura. 19

Tabla XVIII. Geometría de la placa de corte

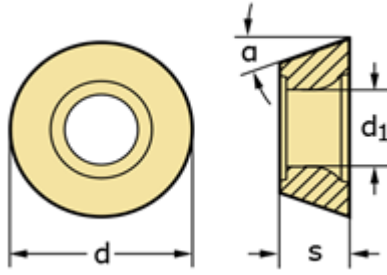
	Tolerance class insert		G
	Inscribed circle	d	8 mm
	Insert thickness	s	3,18 mm
	Clearance angle major	$\alpha$	15 °
	Hole diameter	d <sub>1</sub>	3,4 mm



Fig. 19. Vástago de fijación de la placa

Con esta modificación de la herramienta, durante el proceso de maquinado con variables de corte: velocidad de corte  $V=40\text{m/min}$ ; velocidad de avance  $S=0,21\text{mm/rev}$  y profundidad de corte  $t \leq 0,2\text{ mm}$ , se obtuvieron en toda la superficie de la pieza valores de calidad superficial de  $Ra.0,4\ \mu\text{m}$  y errores de cilindricidad menores de  $0,05\text{mm}$ .

El tiempo principal de maquinado para toda la pieza  $t_p$  fue de 25 min. En la figura 20 se observa el valor de calidad superficial obtenido.

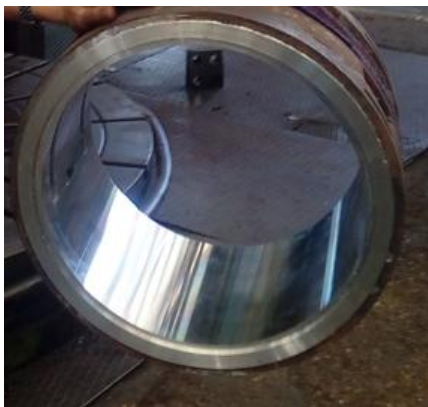


Fig. 20. Calidad superficial de la chumacera

## **BIBLIOGRAFIA:**

- 1- Field M., Kahles J. Review of surface integrity of machined components, Ann. CIRP 20 (2) (1971)153–163.
- 2- ASM Handbook Machining.1989. Volume 16 of the 9th Edition Metals Handbook
- 3 - Hernández Arcelio A., Propiedades especiales del BABBIT B-83, obtenido por el método de fundición turbulento. Ninth LACCEI Latin American and Caribbean Conference (LACCEI'2011), Engineering for a Smart Planet, Innovation, Information Technology and Computational Tools for Sustainable Development, August 3-5, 2011, Medellín, Colombia.
- 4- ASILTURK, I. "Determining the effect of cutting parameters on surface roughness in hard turning using the Taguchi method". Measurement. 2011, vol. 44, pp.1697–1704. ISSN: 0263-2241.
- 5 - BORDIN, A; BRUSCHI, S. "The effect of cutting speed and feed rate on the surface integrity in dry turning of CoCrMo alloy". 2nd CIRP Conference on Surface Integrity (CSI).2014, vol. 13, pp. 219-224. ISSN:0007-8506.
- 6 - AOUCI, H. "Analysis of surface roughness and cutting force components in hard turning with CBN tool: Prediction model and cutting conditions optimization". Measurement. 2012, vol. 45, pp.344– 353. ISSN: 0263-2241.
- 7 - ROUTARA, B C. "Responce surface methodology and genetic algorithm used to optimize the cutting condition for surface roughness parameters in CNC turning". Procedia Engineering 38 (2012), 1839-1904.
- 8 - RECH, J. "Surface integrity in finish hard turning of case-hardened steels", International Journal of Machine Tools & Manufacture. 2003, vol. 43, pp. 543–550. ISSN: 0890-6955.
- 9 - DEVILLEZ, A. "Dry machining of Inconel 718, workpiece surface integrity". Journal of Materials Processing Technology. 2011, vol. 211, pp. 1590– 1598. ISSN: 0924-0136.
- 10 - BARTARYA, Gaurav. "Effect of cutting parameters on cutting force and surface roughness during finish hard turning AISI52100 grade steel". Procedia CIRP 1 ( 2012 ) 651 – 656. ISSN:0007- 8506.
- 11 - RAMESH S. "Measurement and analysis of surface roughness in turning o aerospace titanium alloy (gr5)". Measurement 45 (2012) 1266–1276. ISSN: 0263-2241.
- 12 - KUMA SATHEESH, N. "Effect of spindle speed and feed rate on surface roughness of Carbon Steels in CNC turning". Procedia Engineering 38 ( 2012 ) 691 – 697.
- 13 - CAKIR CEMAL M. "Mathematical modeling of surface roughness for evaluating the effects of cutting parameters and coating material". Journal of materials processing technology 2 0 9 (2009) 102–109. ISSN: 0924-0136.
- 14- NESELI, Suleyman. "Optimization of tool geometry parameters for turning operations based on the response surface methodology", Measurement 44 (2011) 580–587. ISSN: 0263-2241.
- 15 - JACAS CABRERA, M. "The influence of cutting speed and feed rate in surface integrity of AISI 1045 steel". Ingeniería Mecánica. Vol. 18. No. 3, 2015, pp. 203-210. ISSN 1815 5944.
- 16 - SANDVIK, El Mecanizado Moderno.1994, ISBN 91-97 22 99-2-X

Producción científica sobre la temática.

- JACAS CABRERA. M. Influencia de los parámetros de corte en el espesor de la zona de deformación plástica secundaria. -Revista Ingeniería Mecánica. Ingeniería Mecánica. Vol. 13. No. 3, septiembre-diciembre, 2010, p. 56-63. ISSN 1815-5944.
- JACAS CABRERA. M. Caracterización de la integridad de la superficie del acero 4340 maquinada a elevadas velocidades de corte. Ingeniería Mecánica. Vol. 16. No. 2, 2013, p. XX-XX ISSN 1815 5944.

- JACAS CABRERA.M. The influence of cutting speed and feed rate in surface integrity of AISI 1045 steel. Ingeniería Mecánica. Vol. 18. No. 3, 2015, p. 203-210. ISSN 1815 5944.
- GRACIA GONZALES A, JACAS CABRERA. M. Determinación de la velocidad de corte y velocidad de avance para el maquinado de acabado del material Babbit. Ingeniería Mecánica. Vol. 21. No. 3, septiembre-diciembre, 2018, p. 161-166.ISSN 1815-5944

Eventos científicos sobre la temática.

- 15 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura 2010
- Ponencia: Influencia de los parámetros de corte en el espesor de la zona de deformación Plástica secundaria.
  - 16 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura. Habana, Cuba. Noviembre de 2012
- Ponencia: Caracterización de la integridad de la superficie de acero 4340 maquinada a elevadas velocidades de corte.
  - 19 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura. Habana, Cuba. Noviembre de 2018
- Ponencia: Determinación de las variables de corte para el maquinado de acabado del material BABBITT

Cursos de posgrados impartidos sobre la temática.

- Curso Teoría del corte de metales. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica de la Habana. CUJAE .2017.

Maestrías y Doctorados orientados sobre el tema

- Rugosidad superficial en el maquinado del metal anti fricción BABBITT. Autor: José Antonio García González. 2017. (EN CURSO)
- Integridad superficial en el proceso de rectificado. Autor: José C. Gálvez Cardentey. 2017. (EN CURSO)