

**INFLUENCIA DEL TIPO DE ALEACIÓN FE-C EN LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL DURANTE EL FRESADO CILÍNDRICO FRONTAL. IMPORTANCIA PARA LAS ESFERAS ACTUACIÓN (OBJETO Y MAQUINARIA) DE LOS DISEÑADORES INDUSTRIALES.**

**INFLUENCE OF THE FE-C ALLOY TYPE ON SURFACE ROUGHNESS DURING FACE CYLINDRICAL MILLING. IMPORTANCE FOR THE SPHERES OF ACTION (OBJECT AND MACHINERY) OF INDUSTRIAL DESIGNERS.**

Lic. Iván Cruz Delgado

icruz71@nauta.cu

ORCID: 0000-0002-3183-3764

Universidad de Ciencias Militares "General Antonio Maceo"  
Cuba

Autor para la correspondencia

Lic. Alejandro Suárez Pino

alejosuarezp@nauta.cu

ORCID: 0000-0002-6972-6016

Universidad de Ciencias Militares "General Antonio Maceo"  
Cuba

**RESUMEN**

Se realiza un análisis de la influencia del tipo de aleación Fe-C en la rugosidad superficial de piezas manufacturadas mediante fresado cilíndrico frontal en la etapa de acabado. Se obtienen perfilogramas en superficies de acero y fundición gris de piezas maquinadas con idénticos regímenes de corte, manifestándose una diferencia significativa en sus valores de rugosidad superficial. Se analizan las micrografías de las aleaciones de Fe-C y sus propiedades mecánicas, reflejándose la presencia de fracturas dúctiles en el acero y frágiles en la fundición gris, debido a la existencia de láminas de grafito que actúan como concentradores de tensiones en la fundición y provocan su ruptura instantánea al interactuar la pieza con la herramienta bajo la acción de las fuerzas de corte, originándose una rugosidad de menor calidad.

**ABSTRACT**

*An analysis of the influence of the type of C-Fe alloy in the surface roughness of pieces obtained by means of end milling in the finished stage is made. Surface profiles in steel surfaces and gray smelting of pieces machining with identical regimes of cut are obtained, pronouncing a significant difference in their values of surface roughness. The micrographs of C-Fe alloys and their mechanical properties are analyzed, being reflected the presence of ductile fractures in the steel and fragile in the gray smelting, due to the graphite lamina existence that act as concentrators of tensions in the smelting and cause their instantaneous rupture when interacting the piece with the tool under the action of the cut forces, originating a roughness of smaller quality.*

**Palabras claves:**

Aleaciones de Fe-C,  
Rugosidad superficial,  
Fresado frontal,  
Diseño industrial,  
Diseño de objetos,  
Diseño de maquinaria.

**Keywords:**

C-Fe alloys,  
Surface roughness,  
End milling,  
Design,  
Object design,  
Machinery design

Fecha Recibido:

04 / 11 / 2021

Fecha Aceptación:

01 / 01 / 2022

Fecha Publicación:

03 / 01 / 2022

**INTRODUCCIÓN**

La esfera de actuación (*maquinaria*) del diseñador industrial exige un dominio profundo de la Ciencia de materiales y de los Procesos de fabricación de piezas por arranque de virutas. La misma abarca el diseño de máquinas y equipo de alta complejidad técnica y tecnológica, de escala mayor o igual al hombre y que se distinguen por sus sistemas mecánicos, mecatrónicos e ingenieriles que comprometen los proyectos, se hace referencia a máquinas industriales, agrícolas, de la construcción, equipos y máquinas herramientas, medios de transporte entre otros [1]. Por ello la selección del material adecuado durante la concepción de un artículo, se convierte en un paso vital para garantizar su asignación de servicio a lo largo de toda su vida útil. [2], [3].

Una gran parte de los productos que se conciben están expuestos en menor o mayor medida a condiciones de fricción y desgaste. La interacción de los cuerpos sólidos durante la fricción externa depende de la calidad superficial de los mismos. Por calidad superficial se entiende las características geométricas, físicas, químicas y mecánicas de las capas superficiales [4]. Uno de los parámetros geométricos al que se le presta mayor atención desde la etapa de diseño y durante los procesos de manufactura de elementos de máquinas es la rugosidad superficial, entendiéndose como tal la desviación en la propia geometría de la superficie, causada por la herramienta de corte y el propio desgaste de la misma, las condiciones de maquinado, la microestructura de la pieza, las vibraciones del sistema, entre otras [5]. Ver figura 1.

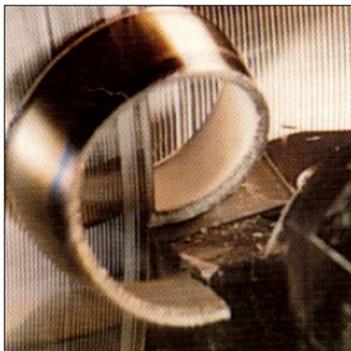


Figura 1. Rugosidad superficial en una pieza de acero obtenida mediante un cilindrado en torno.

Estas irregularidades cumplen con la condición de  $S/H < 50$ , donde:  $S$  es el paso entre dos irregularidades vecinas y  $H$  la altura de la irregularidad. Ver figura 2.

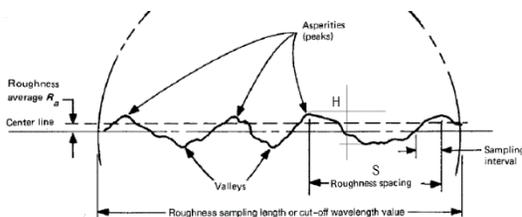


Figura 2. Rugosidad superficial, ANSI/ASME B46.1 [6].

El estudio de las propiedades metalúrgicas de los materiales ferrosos utilizados en la manufactura de piezas mediante

procesos de fresado de acabado, es un factor determinante en la calidad superficial del producto elaborado. De ahí que el objetivo de la presente investigación sea: *Demostrar la influencia del tipo de aleación Fe-C en la rugosidad superficial durante el fresado cilíndrico frontal de piezas de máquinas con iguales regímenes de corte.*

**MATERIALES Y MÉTODOS:**

Para evaluar la influencia de las aleaciones Fe-C en la rugosidad superficial durante el fresado cilíndrico frontal con iguales regímenes de corte se utilizaron probetas de acero al carbono y de hierro fundido gris, cuya composición química se determinó con el espectrómetro Multicanal Digital Modelo Belec VARIO LAB 2P N° 171007 y se estableció su marcación y propiedades mecánicas, según la norma UNS y sus equivalentes en otras normas.

Para complementar la espectrometría se realizó un análisis microestructural de las dos aleaciones Fe-C, mediante microscopía óptica con un microscopio metalográfico marca NOVEL modelo NJF-120A a un aumento de 100X, al cual se le acopló una cámara digital modelo MDCE-5A interconectada a una microcomputadora que posee un software especializado en el análisis de imágenes (Digimizer Versión 4.5).

El fresado se realizó en una fresadora horizontal modelo 6M82 con una fresa cilíndrica frontal de acero rápido (HSS) y dimensiones  $\varnothing 63 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$  de ancho y un número de dientes  $z = 14$ . Para el proceso de maquinado se aplicaron los regímenes de corte recomendados en [7], [8] y [9] para maquinado en la etapa de acabado. Los valores de regímenes de corte seleccionados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Regímenes de corte para el fresado cilíndrico frontal de las aleaciones Fe-C.

Parámetros del régimen de corte	
Profundidad de corte "t" (mm)	1
Frecuencia de rotación "n" (min <sup>-1</sup> )	100
Avance por minutos "s" (mm/min)	25

El parámetro de rugosidad que se evaluó fue la media aritmética del perfil ( $R_a$ ), mediante un rugosímetro portátil marca TIME modelo TR200 con una resolución de  $0,001 \mu\text{m}$ . Las mediciones fueron realizadas en dirección perpendicular a las huellas del fresado y se realizaron cuatro replicas en cada muestra. Para la obtención de los perfilogramas en las superficies de las probetas y los valores de sus parámetros estadísticos se empleó el software DataView TR200, mientras que su procesamiento estadístico se efectuó a través del software Statgraphics Centurion XV.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN:**

**COMPOSICIÓN QUÍMICA Y PROPIEDADES MECÁNICAS.**

En la tabla 2 se muestran los resultados de la composición química de las dos probetas de aleación Fe-C. La muestra M1 pertenece a un acero al carbono de marcación G10350 según la norma UNS (Unified Numbering System) o 1035 según la AISI (American Iron and Steel Institute). En el caso de la muestra M2

se clasifica como una fundición gris de marcación F10009 según norma UNS, teniendo como homóloga la clase 25 según la norma ASTM A48 (American Society for Testing and Materials) [10].

Tabla 2. Composición química de las aleaciones Fe-C empleadas en la fabricación de las probetas para el fresado cilíndrico frontal.

Nº	Contenido de los elementos de aleación en %					Material/ Norma
	C ±%6	Si ±%5	Mn ±%2	Cr ±%8	Ni ±%5	
M-1	0,36	0,27	0,77	0,03	0,02	G10350/UNS
M-2	4.61	1,18	0,57	0,05	0,58	F10009/UNS

Nº	Contenido de los elementos de aleación en %				Material/ Norma
	Mo ±%5	Cu ±%5	P ±%2	S ±%5	
M-1	0,01	0,11	0,001	0,004	G10350/UNS
M-2	0,01	0,10	0,010	0,026	F10009/UNS

En la tabla 3 se brindan las propiedades mecánicas de cada una de las muestras según lo previsto en [10]. En un análisis inicial las tensiones de compresión de ambos materiales no muestran mucha diferencia, considerando el G10350 como material dúctil (iguales tensiones de tracción y compresión). En el caso del F10009 cumple con las características de un material frágil. La dureza es otro elemento que no presenta diferencias muy marcada al comparar ambos materiales. Esta es la razón por la cual la literatura consultada recomienda los mismos valores de regímenes de corte para el fresado en la etapa de acabado para ambos materiales.

Tabla 3. Propiedades mecánicas de las aleaciones Fe-C.

Propiedades mecánicas	Nº de muestra /Material de la probeta	
	M-1/G10350	M-2/F10009
Resistencia a la tracción (MPa)	500-550	179
Resistencia a la compresión (MPa)	500-550	669
Resistencia a la torsión (MPa)	-	220
Módulo de elasticidad a tracción (GPa)	209	79-102
Módulo de elasticidad a torsión (GPa)	-	32-41
Elongación en 50mm (%)	18-12	-

Reducción en área (%)	40-35	-
Dureza Brinell (HB)	143-163	174

### ANÁLISIS METALGRÁFICO

Teniendo en cuenta el porcentaje de carbono y de los otros elementos químicos, se puede deducir que la muestra M1 es un acero al carbono de tipo hipoeutectoide compuesto de ferrita y perlita. En la figura 3 se observa la microestructura de la muestra M1(G10350), donde las zonas claras representan la ferrita y las zonas oscuras representan la perlita. Una particularidad de esta muestra es el hecho de que los granos de ferrita están deformados plásticamente producto de un laminado en frío [11].

La figura 4 pertenece a la microestructura de la muestra M2 (F10009) sin ataque químico para poder revelar la forma del grafito, siendo en este caso grafito laminar del tipo A [11] con un área porcentual de 22%. La figura 5 revela el tipo de matriz presente en este material la cual está formada de ferrita (zonas claras) y perlita (zonas oscuras) típico de este material [11].

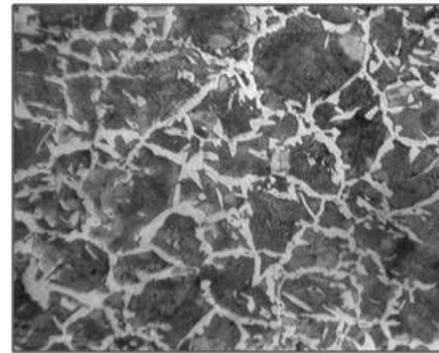


Figura 3. Micrografía del acero G10350 con ataque (100x).

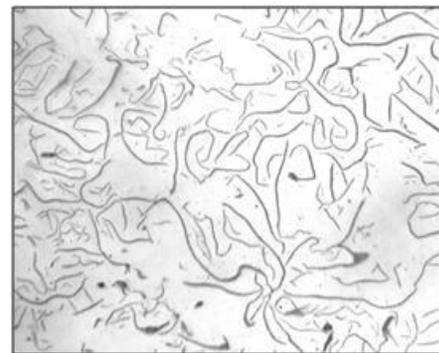


Figura 4. Micrografía de la fundición gris F10009 sin ataque (100x).



Figura 5. Micrografía de la fundición gris F10009 con ataque (100x).

### ANÁLISIS DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL.

En las figuras 6 y 7 se muestran las probetas maquinadas con el fresado frontal. Para evaluar la integridad superficial por medio del acabado superficial, se tomó como parámetro la media aritmética del perfil (Ra). Dentro de los resultados que brinda el rugosímetro están los perfilogramas, figuras 8 y 9. Se observa que las crestas de la muestra de acero G10350 son menores y más consistentes que las de la muestra de hierro fundido F10009; sin embargo, no se puede llegar a una conclusión definitiva a partir de estos resultados.



Figura 6. Muestra M-1. Probeta de acero G10350 con superficie fresada.



Figura 7. Muestra M-2. Probeta de fundición gris F10009 con superficie fresada.

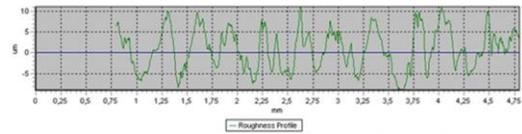


Figura 8. Perfilograma del acero G10350 (Ra = 4,098 μm).

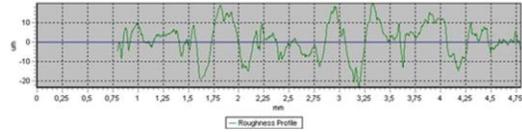


Figura 9. Perfilograma de la fundición gris F10009 (Ra = 6,695 μm).

En la tabla 4 están recogidos los resultados de cinco mediciones de rugosidad superficial realizadas a cada muestra, incluyéndose la media. Estos valores facilitaron realizar el siguiente análisis estadístico.

Tabla 4. Valores de Ra de las dos muestras de aleaciones de Fe-C.

No de muestra	M-1 (G10350)	M-2 (F10009)
Valores de Ra	Ra <sub>1</sub> = 4,349 μm	Ra <sub>1</sub> = 5,893 μm
	Ra <sub>2</sub> = 3,243 μm	Ra <sub>2</sub> = 6,695 μm
	Ra <sub>3</sub> = 3,318 μm	Ra <sub>3</sub> = 7,995 μm
	Ra <sub>4</sub> = 4,098 μm	Ra <sub>4</sub> = 6,668 μm
	Ra <sub>5</sub> = 4,481 μm	Ra <sub>5</sub> = 7,457 μm
<b>R̄a</b>	<b>R̄a = 3,898 μm</b>	<b>R̄a = 6,9416 μm</b>

Al evaluar la diferencia existente entre los valores de rugosidad promedio para las dos aleaciones de Fe-C, mediante la aplicación del software Statgraphics Centurion XV se comprobó que:

- La media aritmética del perfil (Ra) del acero G10350 es igual a 3,898 μm con una desviación típica de ±0,721 μm, y los valores de la medición se encuentran en el intervalo de [3,1768; 4,6188], para un nivel de confianza del 95%.
- La media aritmética del perfil (Ra) de la fundición gris F10009 es igual a 6,9416 μm con una desviación típica de ±1,00309 μm, y los valores de la medición están en el intervalo de [5,93851; 7,94469], para un nivel de confianza del 95%.

Al evaluar la diferencia entre medias para las dos aleaciones de Fe-C, esta se encuentra en el intervalo de [-4,06981, -2,01779]. Dado que el intervalo no contiene el valor 0,0, se puede establecer que existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras para un nivel de confianza del 95,0%. Por tanto, se tiene que en el fresado frontal de las muestras de aleaciones de Fe-C analizadas, con iguales regímenes de corte, su rugosidad superficial presenta valores con una diferencia estadísticamente significativa.

La literatura especializada le dedica especial atención a los fenómenos que ocurren durante el proceso de corte y de formación de la viruta, destacando la influencia del material del semiproducto en el acabado superficial por medio de un

fenómeno conocido como filo recrecido. Durante el maquinado de materiales dúctiles a velocidades de corte intermedias, se desprenden pequeñas partículas de metal que se adhieren y fusionan a la superficie de ataque adyacente al filo de corte de la herramienta, recubriendo parte de este y formando un filo artificial extremadamente duro debido a las grandes presiones y deformaciones. La variación de la geometría de la herramienta de corte con la formación del filo recrecido, unido al hecho de que al crecer este se cizalla y se deposita en la superficie elaborada del semiproducto; representan los dos factores fundamentales en el deterioro del acabado superficial [12].

Considerando solamente los conceptos anteriormente explicados se pudiese sugerir que el acabado superficial del acero C10350 debería ser mejor que el de la fundición gris F10009 dado que el primero se considera un material dúctil y el segundo un material frágil; sin embargo, los resultados experimentales demuestran lo contrario. Por tanto, recaen en el análisis la microestructura de ambos materiales la explicación de los resultados que arrojó la parte experimental.

La presencia del microconstituyente ferrita en el acero determinan en gran medida sus propiedades de ductilidad y maleabilidad, pero al estar la ferrita deformada plásticamente producto del conformado en frío, esta aumenta sus propiedades mecánicas propiciando la ocurrencia en menor medida del filo recrecido. En el caso de la fundición gris el factor desencadenante de la formación del filo recrecido es la presencia del microconstituyente grafito laminar en su estructura. El grafito dado a sus propiedades mecánicas muy baja hace que la fundición gris tenga baja resistencia y baja ductilidad y por tanto buena maquinabilidad, aunque este se deposita en capas delgadas y estables sobre el filo de la herramienta de corte, como se demuestra en la figura 10, lo cual afecta el acabado superficial de la pieza [13].

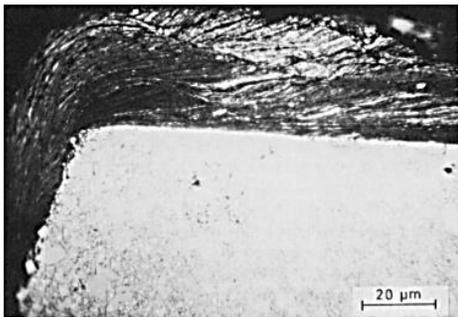


Figura 10. Filo recrecido de grafito (zona oscura) y perlita (franjas blancas y oscuras) durante el corte del hierro fundido [13].

Los resultados metalúrgicos y geométricos obtenidos del estudio realizado a las muestras de aleaciones Fe-C, son recomendables para el diseño de artículos industriales pertinentes a la esfera de actuación (maquinaria) del diseñador industrial, con el fin de garantizar su calidad durante su vida útil. En esta esfera se conciben disímiles artículos industriales de materiales ferrosos, que requieren buena rugosidad superficial. A continuación, se muestran algunos ejemplos en las figuras 11, 12, 13 y 14.

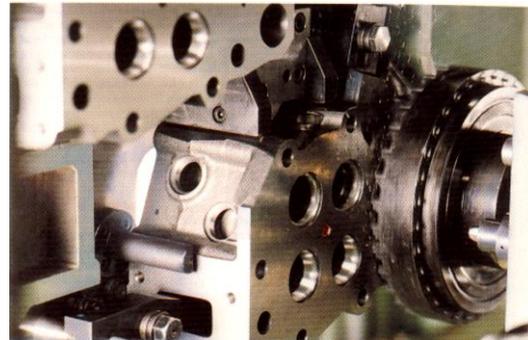


Figura 11. Planeado de una pieza de automoción de fundición.



Figura 12. Planeado de grandes placas de acero.

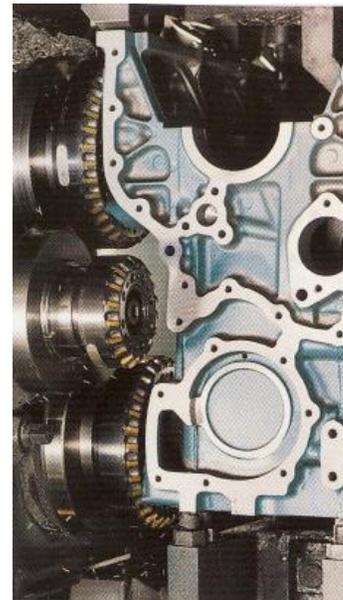


Figura 13. Planeado de una pieza de fundición con fresa de 45°.



Figura 14. Planeado de placas de acero con fresa de 90°.

### CONCLUSIONES:

- Se demostró estadísticamente que existe diferencia significativa entre las medias de Ra para las dos muestras evaluadas, con un nivel de confianza del 95,0%.
- La microestructura del acero G10350 mostró la existencia de deformación plástica en los granos de ferrita, que evita la formación del filo recocado y permite obtener un mejor acabado superficial.
- La morfología de la fundición gris F10009 de grafito laminar tipo A, origina durante el fresado de acabado peores valores de rugosidad superficial, producto a la formación de un filo recocado generado por la presencia de grafito.
- El estudio metalúrgico y geométrico de las aleaciones Fe-C analizadas, garantiza una selección adecuada del material idóneo para la manufactura de piezas desde la etapa de diseño de las maquinarias industriales.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1]. ISDi (2016) Plan de Estudios de la Carrera de Diseño Industrial.
- [2]. ISDi (2016) Programa de la asignatura Tecnología III. Carrera Diseño Industrial.
- [3]. ISDi (2016) Programa de la asignatura Diseño Industrial III. Carrera Diseño Industrial.
- [4]. Álvarez G.E. (2002) Tribología. Fricción, Desgaste y Lubricación. Universidad Central de las Villas (UCLV), monografía.
- [5]. Martínez P.F. (2011) Tribología Integral. México: Editorial Noriega.
- [6]. Bharat Bhushan (2001) Modern Tribology Handbook. Volume One. Principles of Tribology. CRC Press LLC.
- [7]. Barbashov F. (1981) Manual del fresador. Moscú: Editorial MIR.
- [8]. Casillas A.L. (1989) Máquina cálculos de taller. La Habana: Editorial Científico-Técnica.
- [9]. ASM Handbook (1989) Volume 16, Machining. Electronic file, USA,
- [10]. ASM Handbook (1993) Volume 1, Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys. Electronic files, USA.
- [11]. ASM Handbook (1998) Volume 9, Metallography and Microstructures. Electronic file, USA.
- [12]. Kalpakjian S., Schmid S. R. (2010) Manufactura, Ingeniería y Tecnología. Volumen III. La Habana: Editorial Félix Valera.
- [13]. M. Trent, E. y K. Wright, P. (2000) Metal cutting. USA: Butterworth-Heinemann.