

Los tornos se pueden clasificar de diferentes maneras. Ver tabla # 9

CLASIFICACIÓN	NOMBRE	CARACTERÍSTICAS
Por su movimiento principal	Vertical	El eje Z del torno es vertical, por lo regular se utilizan para el trabajo en piezas de gran peso.
	Horizontal	Son los tronos más conocidos y utilizados, el eje Z del torno es horizontal y puede haber de varios tamaños.
Tornos de taller	Torno de banco	Tornos pequeños que se montan sobre un banco o una mesa de trabajo robusta, se usan para piezas ligeras y pequeñas.
	Torno rápido	Torno que se utiliza para operaciones de corte ligero y de acabado, se monta sobre una mesa y es fácil de operar y mover.
	Torno para cuatro herramientas o de taller mecánico	Está equipado con una serie de accesorios que permiten realizar una serie de operaciones de precisión. En su torre portaherramientas se pueden colocar cuatro herramientas.
	Torno de escote o bancada partida	Torno que tiene una sección en su bancada que se puede desmontar bajo el plato, con esto se pueden trabajar piezas de mayor diámetro.
Torno de semiproducción o copiadores	Tornos de semiproducción	Son tornos de taller con un aditamento copiador o un sistema de lectura digital que permite copiar piezas que serían muy difíciles de hacer sin un patrón (ejemplo los cerrajeros).
Tornos para producción en serie	Torno revólver o de torreta	Son tornos que se utilizan cuando se deben producir una gran cantidad de piezas iguales, tienen un solo husillo y varias herramientas, pueden tener hasta 20 diferentes herramientas las que pueden actuar una por una o varias al mismo tiempo.
	Torno automático de un solo husillo	Produce en serie y de manera automática, se utilizan para la producción en masa de piezas que requieren de refrentado, cilindrado y barrenado, pueden trabajar dos o más herramientas al mismo tiempo y se controlan por medio de sistemas de lectura digital.
	Tornos de control numérico	Equipos que se controlan por medio de cintas magnéticas o consolas de computadora. Pueden tornear ejes de casi cualquier tamaño y forma, hacen trabajos con varias herramientas al mismo tiempo, existen tornos CN que pueden tener una torre revólver con 60 herramientas.

Tabla # 9 Clasificación de los tornos

### 4.3 Maquinabilidad

Las propiedades del material de trabajo tienen una influencia significativa sobre el éxito de la operación de maquinado. Estas propiedades y otras características del trabajo se resumen frecuentemente en el término maquinabilidad, que denota la facilidad relativa con la cual se puede maquinar un material (por lo general metal) usando las herramientas y las condiciones de corte apropiadas.

Para evaluar la maquinabilidad se utilizan varios criterios y los más importantes son los siguientes:

- 1) Vida de la herramienta,
- 2) Fuerzas y potencia,
- 3) Acabado superficial
- 4) Facilidad de eliminación de la viruta.

Aunque la maquinabilidad se refiere generalmente al material de trabajo, debe reconocerse que el buen desempeño del maquinado no depende solamente del material. El tipo de operación de maquinado, la herramienta y las condiciones de corte son también factores importantes, así como las propiedades del material. Además, el criterio de maquinabilidad es también una fuente de variación. Un material puede prolongar la vida de la herramienta, mientras que otro suministra un mejor acabado superficial. Todos estos factores hacen difícil la evaluación de la maquinabilidad.

El ensayo de la maquinabilidad implica generalmente una comparación de materiales de trabajo. El desempeño del maquinado de un material de prueba se mide en relación con el material base (estándar). Las medidas posibles de desempeño en el ensayo de la maquinabilidad incluyen:

- 1) La vida de la herramienta,
- 2) El desgaste de la herramienta,
- 3) La fuerza de corte,
- 4) La potencia en la operación,
- 5) La temperatura de corte
- 6) La velocidad de remoción del material bajo las condiciones estándar de la prueba.

El desempeño relativo se expresa como un número índice llamado índice de maquinabilidad (IM). Al material base que se utiliza como estándar se le da un índice de maquinabilidad de 1.00. El acero B 1112 se usa frecuentemente como material base en las comparaciones de maquinabilidad. Los materiales más fáciles de maquinar que la base tienen índices mayores de 1.00. Los índices de maquinabilidad se expresan frecuentemente como porcentajes en lugar de números índices.<sup>18</sup>

Muchos materiales de trabajo y sus factores afectan el desempeño del maquinado. Las propiedades mecánicas de un material de trabajo que afectan la maquinabilidad incluyen la dureza y la resistencia. Al incrementarse la dureza, aumenta el desgaste abrasivo y la vida de la herramienta se reduce. La resistencia se indica por lo general como resistencia a la tensión, aun cuando el maquinado implica esfuerzos cortantes. Al aumentar la resistencia del material, se incrementan las fuerzas de corte, la energía específica y la temperatura de corte, haciendo que el material sea más difícil de maquinar. Por otro lado, una dureza muy baja puede ir en detrimento del desempeño del maquinado. Por ejemplo, el acero al bajo carbono, cuya dureza es relativamente baja, con frecuencia es demasiado dúctil para poder maquinarlo bien. La alta ductilidad causa desgarramientos del metal al formarse la viruta y produce un pobre acabado y problemas con la eliminación de la viruta. Frecuentemente se usa el estirado en frío de las barras de bajo carbono para incrementar su dureza superficial y propiciar el rompimiento de la viruta durante el corte.

La composición química de un metal tiene un efecto importante sobre las propiedades, y en algunos casos afecta los mecanismos de desgaste que actúan sobre el material de la herramienta. La composición química afecta la maquinabilidad a través de estas relaciones. El contenido de carbón tiene un efecto significativo sobre las propiedades del acero. Al incrementarse el carbón, aumentan la resistencia y la dureza del acero; esto reduce el desempeño del maquinado. Muchos elementos de aleación que se añaden al acero para mejorar sus propiedades van en detrimento de la maquinabilidad. El cromo, el molibdeno y el tungsteno forman carburos en el acero, lo cual incrementa el desgaste de la herramienta y reduce la maquinabilidad. Se pueden añadir ciertos elementos al acero para mejorar su desempeño en el maquinado, como son plomo, azufre y fósforo. Estos aditivos tienen el efecto de disminuir el coeficiente de fricción entre la herramienta y la viruta, por tanto reducen las fuerzas, la temperatura y la formación de acumulación en el borde. Estos efectos proporcionan una mejor vida de la herramienta y un mejor acabado superficial. Las aleaciones de acero formuladas para mejorar la maquinabilidad se conocen como *aceros de maquinado libre*.<sup>19</sup>

#### 4.4 Selección de las condiciones de corte

Un problema práctico en maquinado es seleccionar las condiciones de corte apropiadas para una operación dada. Ésta es una de las tareas de planeación de procesos para cada operación se deben tomar decisiones acerca de la máquina-herramienta, de la herramienta de corte y de las condiciones de corte, estas decisiones deben considerar la maquinabilidad de la parte de trabajo, la geometría de la parte, el acabado superficial y así sucesivamente.

#### 4.4.1 Selección del avance y de la profundidad de corte

Las condiciones de corte en una operación de maquinado consisten en la velocidad, el avance, la profundidad de corte y el fluido para corte (si se usa o no, y qué tipo de fluido. El factor dominante en la elección sobre los fluidos para corte son generalmente las consideraciones sobre las herramientas). La profundidad de corte se predetermina frecuentemente por la geometría de la pieza de trabajo y la secuencia de operación. Muchos trabajos requieren una serie de operaciones de desbaste seguidas de una operación final de acabado. En las operaciones de desbaste, la profundidad se hace tan grande como sea posible dentro de las limitaciones de la potencia disponible, la máquina-herramienta, la rigidez de la instalación, la resistencia de la herramienta de corte y otros factores. En el corte de acabado, se fija la profundidad para alcanzar las dimensiones finales de la parte.

El problema se reduce entonces a la selección del avance y de la velocidad. En general, los valores de estos parámetros deben decidirse en orden, *primero el avance y segundo la velocidad*. La determinación de la velocidad de avance apropiada para una operación de maquinado depende de los siguientes factores:

*Herramienta.* ¿Qué tipo de herramienta se usará? Los materiales más duros de herramienta (carburos cementados, cerámicos y similares) tienden a fracturarse más fácilmente que los aceros de alta velocidad. Estas herramientas se usan normalmente a velocidades de avance lentas. Los aceros de alta velocidad pueden tolerar velocidades de avance más altas debido a su mayor tenacidad.

*Desbaste o acabado.* Las operaciones de desbaste implican altas velocidades; las operaciones de acabado implican avances lentos

*Restricciones del avance en desbaste.* Si la operación es desbaste, ¿a qué altura se puede fijar la velocidad de avance?, para maximizar la velocidad de remoción de metal, el avance se debe fijar tan alto como sea posible. Los límites más altos en el avance son impuestos por las fuerzas de corte, la rigidez de la instalación y algunas veces la potencia.

*Requerimientos del acabado superficial.* Si la operación es el acabado ¿cuál es el acabado superficial que se desea?, el avance es un factor importante en el acabado superficial, se pueden usar cálculos para estimar el avance que producirá un acabado superficial deseado.

#### 4.4.2 Optimización de la velocidad de corte

La selección de la velocidad de corte se basa en aprovechar mejor la herramienta de corte particular, lo cual significa normalmente escoger una velocidad que rinda una alta velocidad de remoción de material y que sea conveniente para una vida larga de la herramienta.

Se han derivado fórmulas matemáticas para determinar la velocidad óptima de corte para una operación de maquinado, dado que se conocen los tiempos y los componentes de costo de la operación. Las fórmulas permiten calcular las velocidades óptimas de corte para alcanzar dos objetivos:

- 1) Máxima velocidad de producción,
- 2) Mínimo costo por unidad.

Ambos objetivos buscan lograr un balance entre la velocidad de remoción de material y la vida de la herramienta. En consecuencia, se ha establecido el avance, la profundidad de corte y el material de trabajo.

**Maximización de la velocidad de producción** Para maximizar la velocidad de producción, se determina la velocidad que minimiza el tiempo de maquinado por unidad de producción. Minimizar el tiempo de corte por unidad es equivalente a maximizar la velocidad de producción. Este objetivo es importante en casos donde las órdenes de producción se deben terminar tan rápido como sea posible.

En el torneado existen tres etapas que contribuyen a la duración del ciclo de producción de una parte:

1) *Tiempo de manejo de la parte  $T_h$* . Éste es el tiempo que toma el operador para cargar la parte en la máquina-herramienta al principio del ciclo de producción y descargar la parte después de completar el maquinado.

2) *Tiempo de maquinado  $T_m$* . Es el tiempo real en que la herramienta desempeña el maquinado durante el ciclo.

3) *Tiempo de cambio de la herramienta  $T_t$* . Al final de la vida de la herramienta, ésta debe cambiarse, lo cual toma tiempo. Este tiempo debe dividirse entre el número de partes que se produjeron durante la vida de la herramienta. Sea  $np$  = número de piezas cortadas durante la vida de la herramienta (número de piezas que se cortan con un borde de corte hasta que la herramienta se cambia). Entonces, el tiempo de cambio de la herramienta por parte =  $T_t/np$ . Con la suma de estos tres elementos de tiempo se obtiene el tiempo total por unidad de producto para el ciclo de operación:

$$T_c = T_h + T_m + T_t/np \quad (24)$$

donde  $T_c$  = tiempo del ciclo de producción por pieza, min.

El tiempo del ciclo  $T_c$  está en función de la velocidad de corte. Al incrementarse la velocidad de corte,  $T_m$  disminuye y  $T_t/np$  aumenta;  $T_h$  no es afectada por la velocidad. Ver figura 4.21

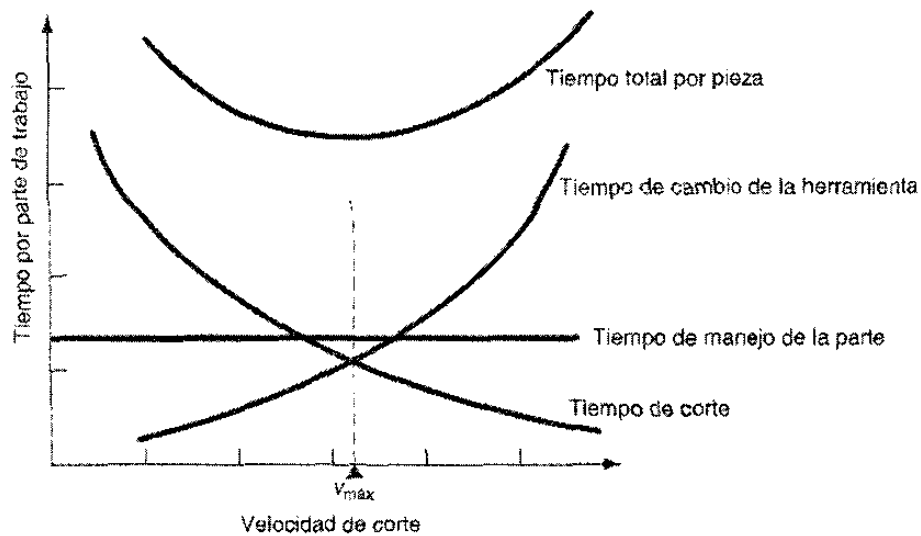


Figura 4.21 Tiempo de ciclo de la pieza en relación con la velocidad de corte

El tiempo total por cada parte se minimiza a un cierto valor de velocidad de corte. Esta velocidad óptima se puede identificar con un rearrreglo matemático de la ecuación como una función de la velocidad. Se puede demostrar que el tiempo de maquinado en la operación de torneado recto está determinada por:

$$T_m = (\pi DL / vf) \quad (25)$$

donde  $T_m$  = tiempo de maquinado, min;  
 $D$  = diámetro de la parte de trabajo, mm;  
 $L$  = longitud de la parte de trabajo, mm;  
 $f$  = avance, mm/rev; y  
 $v$  = velocidad de corte mm/min.

**Minimización del costo por unidad.** Para el mínimo costo por unidad se determina la velocidad que minimiza el costo de producción por unidad de producto. Cuando se derivan las ecuaciones para este caso, empezamos con los cuatro componentes de costo que determinan el costo total por unidad durante una operación de torneado:

1) *Costo del tiempo de manejo de la parte.* Es el costo del tiempo que ocupa el operador cargando y descargando la parte. Sea  $C_o$  = tasa de costo (por ejemplo \$/min) para el operador y la máquina. Entonces el costo de tiempo de manejo de la parte =  $C_o T_h$ .

2) *Costo del tiempo de maquinado.* Es el costo del tiempo que toma la herramienta para hacer el maquinado. Usando otra vez  $C_o$  para representar el costo por minuto del operador y de la máquina-herramienta, el costo de tiempo de corte =  $C_o T_m$

3) *Costo del tiempo de cambio de herramienta.* Es el costo del tiempo de cambio de herramienta =  $C_o T_t / np$

4) *Costo de la herramienta.* Además del tiempo de cambio de la herramienta, la herramienta en sí tiene un costo que debe añadirse al costo total de operación. Éste es el costo por borde de corte  $C_t$ , dividido por el número de piezas maquinadas con ese borde de corte  $np$ . Entonces el costo de la herramienta por unidad de producto está dado por  $C_t/np$

En la figura 4.22 los podemos observar

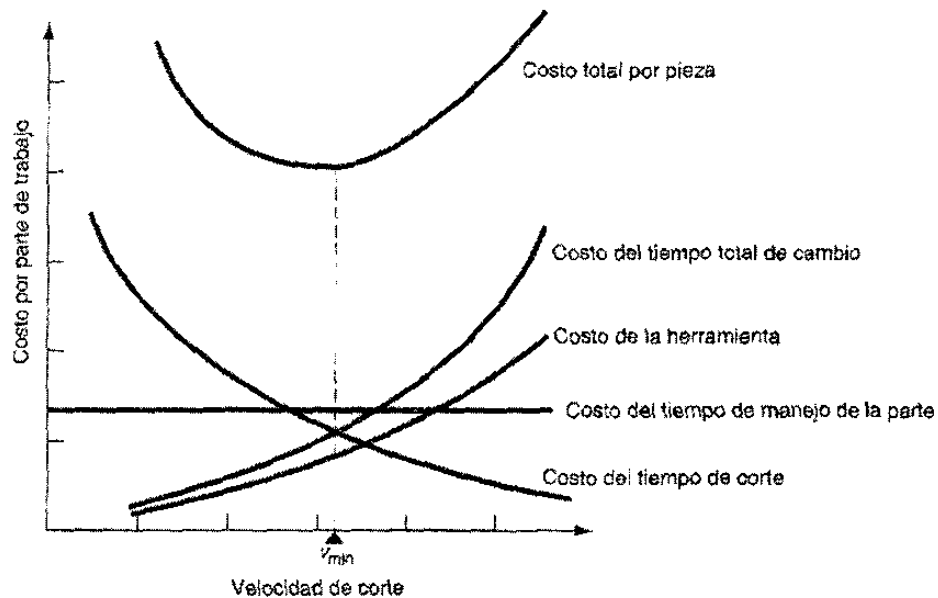


Figura 4.22 Costo de la pieza en relación con la velocidad de corte

# CAPÍTULO 5

## ACABADO SUPERFICIAL RUGOSIDAD

### 5.1 Introducción

Una superficie perfecta solo existe en la mente, ya que cualquier superficie real, por perfecta que parezca, presentará irregularidades que se originan durante el proceso de fabricación.

Las irregularidades mayores (macrogeométricas) son errores de forma asociados con la variación en tamaño de una pieza, paralelismo entre superficies y planitud de una superficie o conicidad, redondez y cilindricidad y que pueden medirse con instrumentos convencionales.

Las irregularidades menores (microgeométricas) son la ondulación y la rugosidad. La primera pueden ocasionarla la flexión de la pieza durante el maquinado, falta de homogeneidad del material, liberación de esfuerzos residuales, deformaciones por tratamiento térmico, vibraciones, etc. La segunda la provoca el elemento utilizado para realizar el maquinado, por ejemplo, la herramienta de corte o la piedra de rectificado.

La figura 5.1 tomada de la norma ANSI/ASME 46.1-1995<sup>20</sup> que muestra los rangos típicos de valores de rugosidad superficial que pueden obtenerse mediante métodos comunes de producción.



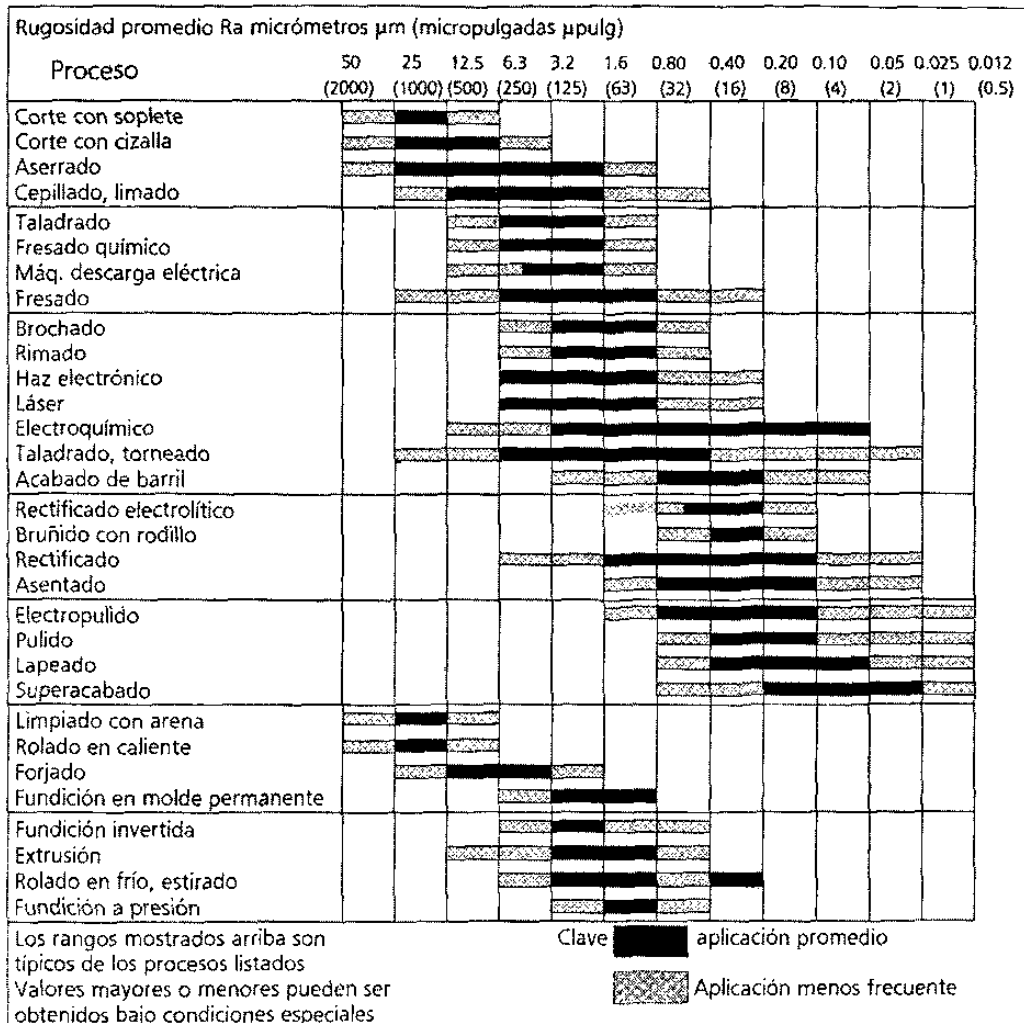


Figura 5.1 Rangos de rugosidad superficial que pueden obtenerse mediante métodos comunes de producción

En el pasado, el mejor método práctico para decidir si un acabado superficial cumplía con los requerimientos era compararlo visualmente y mediante el tacto contra muestras con diferentes acabados superficiales (figura 5.2). Este método no debe confundirse con los patrones de rugosidad que actualmente se usan en la calibración de rugosímetros.

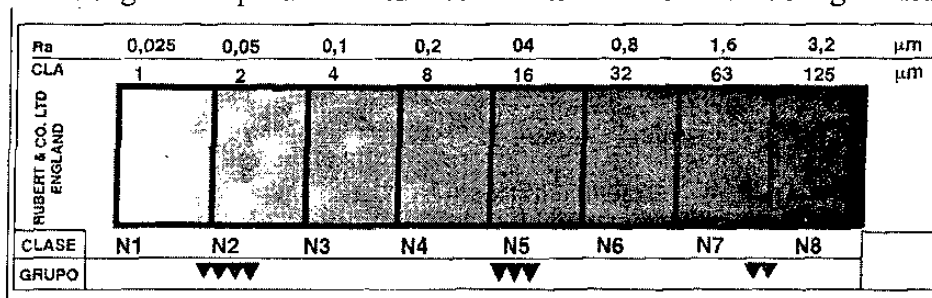


Figura 5.2 Lámina con diferentes acabados superficiales

La desventaja de la comparación visual táctica es que la decisión es subjetiva y difícilmente dos personas estarán de acuerdo en que superficies son aceptables y cuales no, sobre todo si uno es comprador y otro proveedor.

Afortunadamente, el avance de la industria electrónica durante el último cuarto de siglo ha hecho posible contar con los rugosímetros. Estos instrumentos son fáciles de operar, portátiles, económicos, inmunes a las condiciones ambientales adversas del taller y proporcionan con rapidez los datos, incluso de registro e impresión de estos.

El método de medición de la rugosidad más popular en la actualidad es el que se basa en el palpador de diamante con un radio en la punta de  $2.5$  o  $10\mu\text{m}$  que recorre una pequeña longitud, denominada longitud de muestreo ( $le$ ), sobre la superficie localizada. Los valores normalizados para esta longitud de muestreo son,  $0.08$ ,  $0.25$ ,  $2.5$ ,  $8$  y  $25\text{mm}$ .

En la práctica se utiliza la longitud de evaluación, la cual puede ser una, tres o cinco veces la longitud de muestreo; este último valor es el más común. La longitud de recorrido será un poco mayor que la de evaluación, ya que si el palpador está en reposo se requiere recorrer una pequeña longitud antes de alcanzar la velocidad normal de recorrido y después realizar un recorrido adicional para que el palpador alcance nuevamente el reposo. (Figura 5.3). Una vez realizada la evaluación, el palpador regresa con una velocidad mayor al punto de origen, preparándose así para una nueva medición.

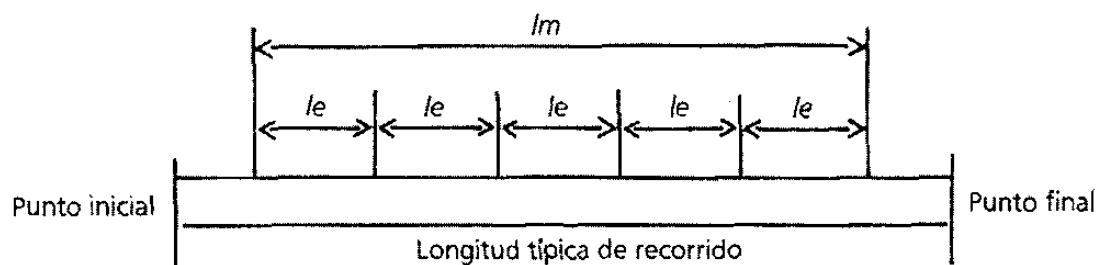


Figura 5.3 Longitud que recorre el palpador durante la medición

La figura 5.4 tomada de la norma ANSI/ASME B46.1 - 1985<sup>21</sup> ilustra la superficie de una pieza en la que se observan marcas unidireccionales originadas por el proceso de maquinado utilizado y cierta ondulación de la superficie, al amplificar esta superficie se observara con mayor claridad la ondulación, pero se verán otras irregularidades más pequeñas superimpuestas. Con otra amplificación se obtiene la rugosidad; a las partes altas se les denomina picos y a las bajas valles. Esta forma de examinar el acabado superficial se denomina método de perfil.

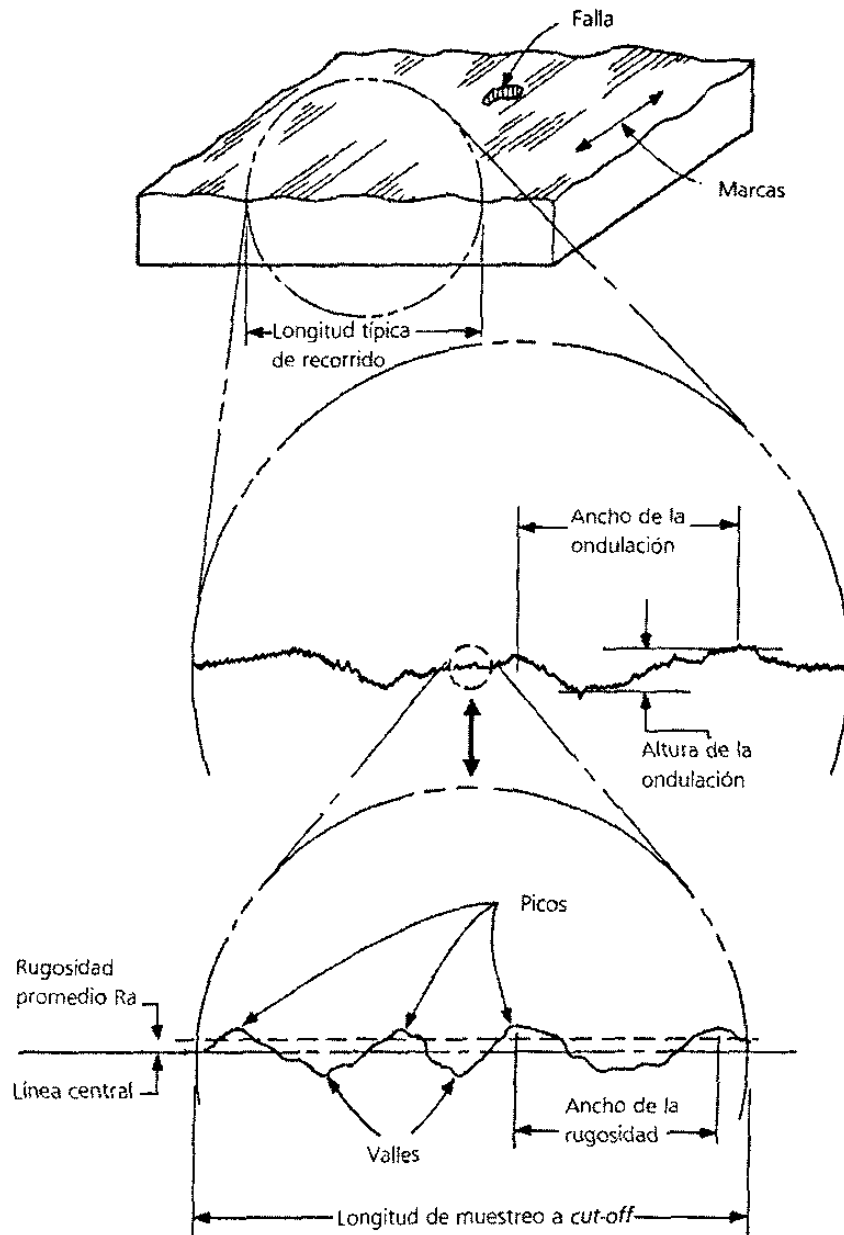


Figura 5.4 Ilustra la superficie de una pieza en la que se observan marcas originadas por el maquinado, también se muestra la ampliación de la superficie donde se observan las irregularidades más claramente.

## 5.2 Las curvas P Y R

Existen dos tipos de curvas importantes cuando se evalúa la rugosidad por el método de perfil: la **P** y la **R**. La curva **P** (perfil sin filtrar) es un perfil resultante de la intersección de una superficie con un plano perpendicular. A menos que se especifique otra circunstancia, la intersección debe de ser en la dirección en la cual el perfil representa el máximo valor de la rugosidad de la superficie; por lo general es en la dirección perpendicular a las marcas del maquinado sobre la superficie (figura 5.5)

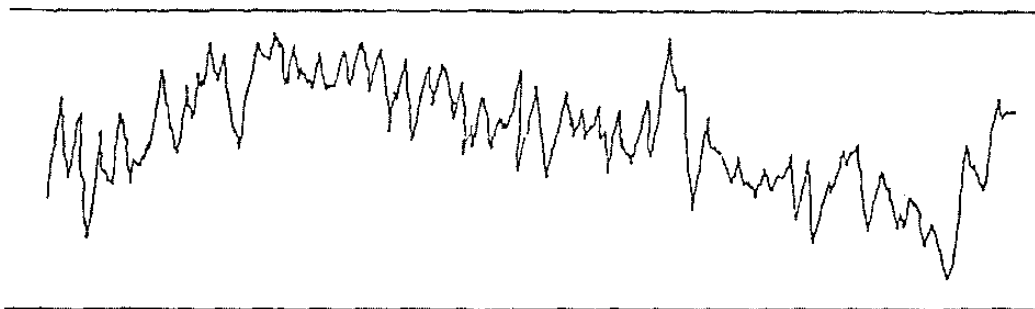


Figura 5.5 Curva P (perfil de rugosidad sin filtrar)

La curva **R** (perfil de rugosidad) es un perfil que se obtiene de la curva **P** removiendo los componentes de ondulación de baja frecuencia, cuyas longitudes de onda son mayores que un límite especificado de la longitud de onda llamado valor **cut-off** ( $\lambda_C$ ) (figura 5.6)

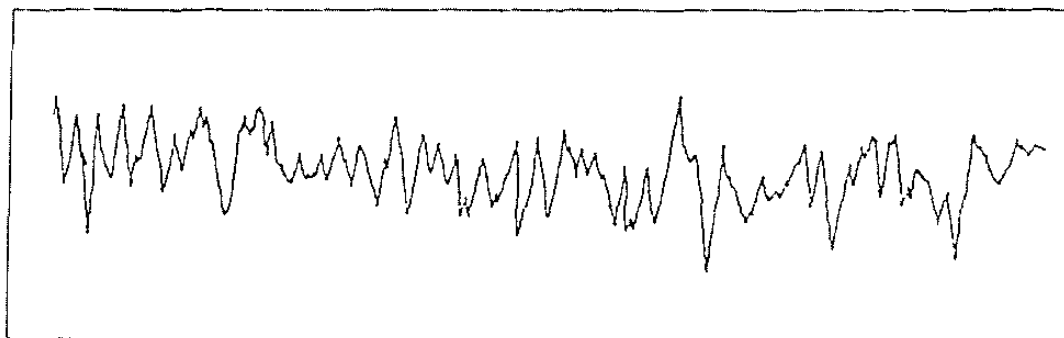


Figura 5.6 Curva R (perfil de rugosidad)

En los rugosímetros la longitud de muestreo se varía por medio de filtros que modifican la frecuencia de respuesta del amplificador y, por lo tanto, la forma de onda del perfil para dar lo que se denomina valor de **cut-off**.

El *cut-off* es el medio a través del cual el perfil resultante de la forma de onda simula la restricción de la evaluación de la longitud de muestreo. Por conveniencia el *cut-off* es citado como la longitud de muestreo equivalente.

Una línea de referencia con la forma del perfil geométrico y que divide al perfil de modo que, dentro de la longitud de muestreo, la suma de los cuadrados de los alejamientos del perfil desde esta línea es un mínimo, se denomina línea media.

Las medidas de la rugosidad por el método de perfil están basadas en una línea central que es paralela a la línea medida del perfil a través de la longitud de evaluación, de modo que dentro de esta longitud la suma de las áreas limitadas por la línea central y el perfil es igual en ambos lados (figura 5.7).

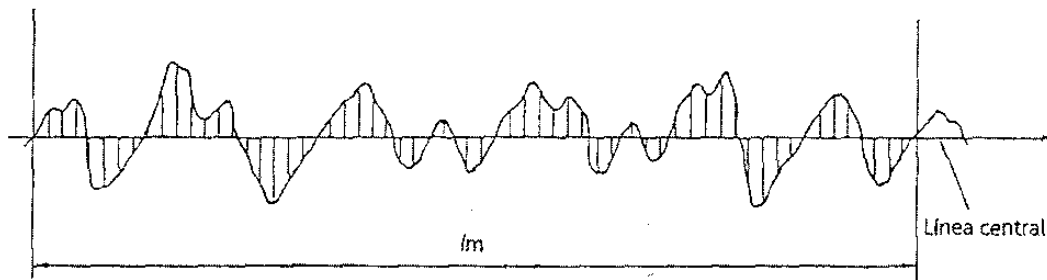


Figura 5.7 Muestra la línea media

### 5.2.1 Definición de $R_a$

La definición de  $R_a$  equivalente, en términos prácticos, a la altura de un rectángulo de longitud  $l_m$  cuya área es igual, dentro de la longitud de evaluación, a la suma de las áreas delimitadas por el perfil de rugosidad y la línea central. Esto se representa mediante el procedimiento mostrado en la figura 5.8; así  $R_a$  es la rugosidad promedio (también denominada CLA por promedio de línea central en sus siglas en inglés, aunque en el pasado también se utilizó el término AA por promedio aritmético.)



### 5.2.2 Definición de Rz

El promedio de las alturas de pico a valle se denomina Rz, y las normas JIS e ISO<sup>22</sup> lo definen como la diferencia entre el promedio de las alturas de los cinco picos más altos y la altura promedio de los cinco valles más profundos. Los picos y valles se miden en la dirección de la amplificación vertical, dentro de la longitud de evaluación ( $l_m$ ), desde una línea paralela a la línea media y que no intercepta al perfil, como se muestra en la figura 5.9, y queda expresada con la siguiente fórmula

$$Rz \text{ (JIS-ISO)} = \frac{(P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5) - (V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5)}{5} \quad (26)$$

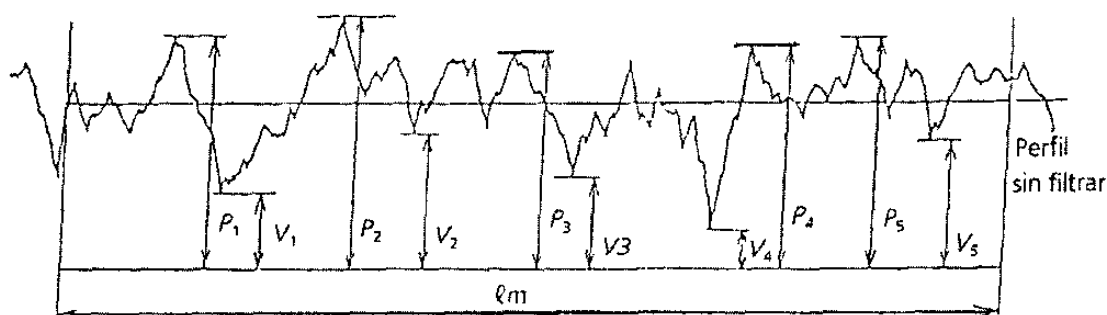


Figura 5.9 Picos y valles medidos de acuerdo a las normas JIS e ISO

El promedio de alturas de pico a valle, denominado Rz, la norma DIN<sup>23</sup> lo define como el valor promedio de la diferencia ( $Z_i$ ) entre el pico más alto y el valle más bajo de cinco sucesivas longitudes de muestreo ( $l_e$ ) dentro de la longitud de evaluación ( $l_m$ ), medida en la dirección de la línea media, mostrado en la figura 5.10 y queda expresada con la siguiente fórmula

$$Rz \text{ (DIN)} = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5}{5} \quad (27)$$

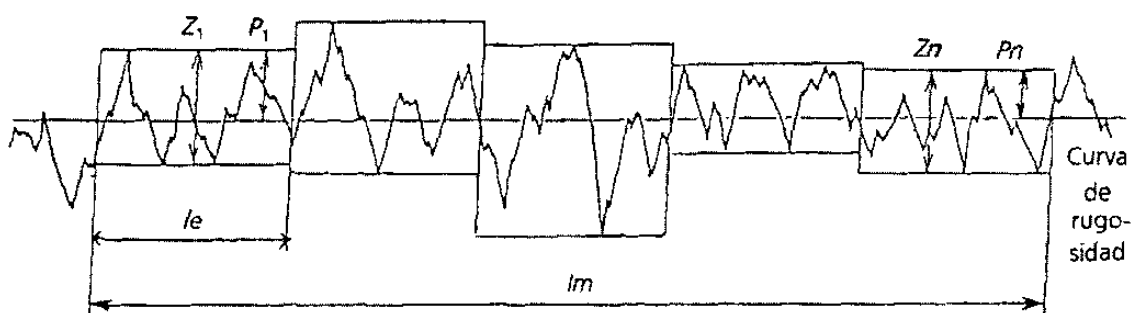


Figura 5.10 muestra la manera de calcular Rz de acuerdo con la norma DIN

### 5.2.3 Definición de $R_y$

La máxima altura del perfil, denominado  $R_y$ , las normas JIS/ISO la definen como la máxima distancia entre las líneas de perfil de picos y valles. La máxima altura del perfil, medida en la dirección de la amplificación vertical dentro de la longitud de evaluación ( $l_m$ ) figura 5.11, la norma DIN la define como el máximo valor de  $Z_i$ , determinado para  $R_z$  según la norma DIN. En otros países  $R_y$  se denomina  $R_{max}$ ; este método de evaluación ocupa el segundo lugar en cuanto su adopción por diferentes países industriales, mientras que el tercer lugar lo ocupa  $R_z$ .

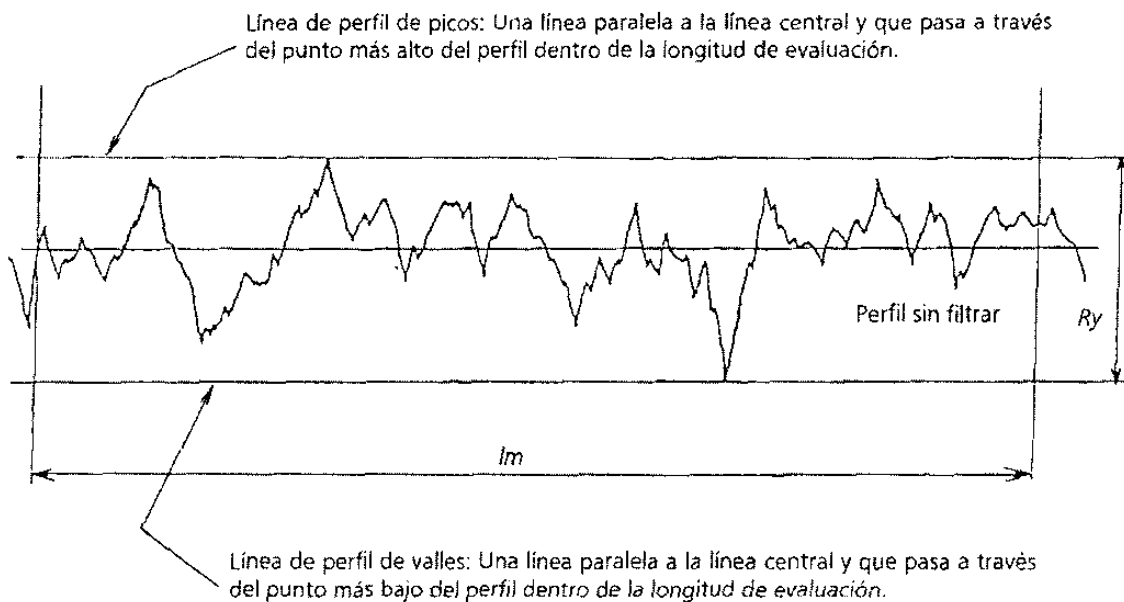


Figura 5.11 Muestra la manera de calcular  $R_y$

### 5.2.4 Símbolos para la dirección de marcado

La tabla # 11 muestra los símbolos de la norma ISO que se utilizan para indicar en los dibujos las direcciones de las marcas producidas por el proceso de maquinado.



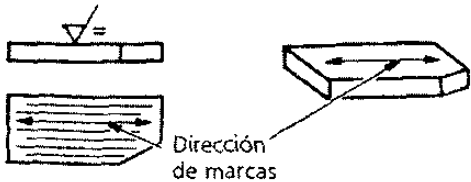

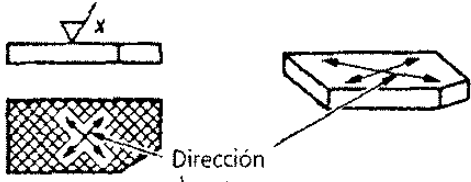
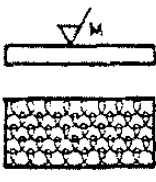

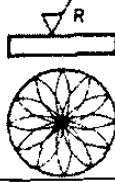
Símbolo	Interpretación
=	Paralelo al plano de proyección de la vista en la cual se usa el símbolo. 
⊥	Perpendicular al plano de proyección de la vista en la cual se usa el símbolo. 
X	Cruzado en dos direcciones inclinadas con relación al plano de proyección de la vista en la cual se usa el símbolo. 
M	Multidireccional 
C	Aproximadamente circular en relación con el centro de la superficie en la cual se aplica el símbolo. 
R	Aproximadamente radial en relación con el centro de la superficie en la cual se aplica el símbolo. 

Tabla # 11 Muestra las direcciones de marca producidas por el proceso de maquinado

Las tablas #12, #13 y #14 muestran, sinópticamente, el método de indicar el acabado superficial con dibujos tomados de la misma norma.

Símbolo	Significado
	Símbolo básico. Puede usarse sólo cuando su significado se aplica en una nota.
	Una superficie maquinada sin indicación de cualquier otro detalle.
	Una superficie en la cual está prohibida la eliminación de material. Este símbolo también puede utilizarse en un dibujo relacionado con un proceso de producción para indicar que una superficie quedará tal como quedó después de un proceso de manufactura precedente, sin importar si tal estado se logró eliminando material o de otra forma.

Tabla # 12 Símbolos de rugosidad sin indicación adicional

Símbolo			Significado
La eliminación de material por maquinado es			
Opcional	Obligatoria	Prohibida	
			Una superficie con valor máximo de rugosidad superficial $R_a$ de $3.2 \mu\text{m}$
			Una superficie con valor máximo de rugosidad superficial $R_a$ de $6.3 \mu\text{m}$ y un mínimo de $1.6 \mu\text{m}$ .

Tabla # 13 Símbolos de rugosidad con indicación del principal criterio de rugosidad  $R_a$

Símbolo	Significado
	Método de producción: fresado
	Longitud de muestreo: 2.5 mm
	Dirección de marcado: perpendicular al plano de proyección de la vista.
	Tolerancia de maquinado: 2 mm
	Indicación (en paréntesis) de un criterio de rugosidad diferente de $R_a$ ; por ejemplo, $R_t = 0.4 \mu\text{m}$

Tabla # 14 Símbolos de rugosidad con indicación adicional

### 5.3 Recomendaciones prácticas para medir la rugosidad de una superficie

De acuerdo con la norma ISO, las especificaciones del acabado superficial deberán colocarse en relación con el símbolo básico como se muestra a continuación en la figura 5.12

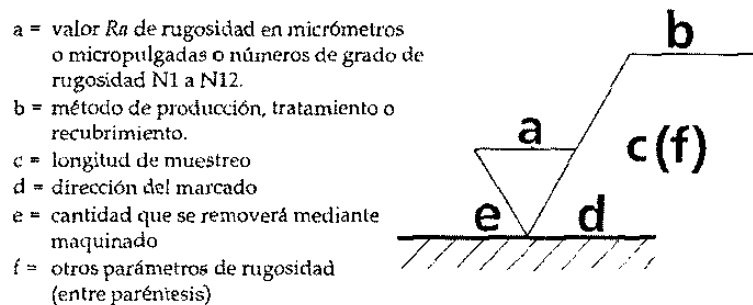


Figura 5.12 Muestra el símbolo básico de rugosidad con las definiciones de cada parámetro

Sin embargo, es muy común encontrar solo una indicación como la siguiente mostrada en la figura 5.13

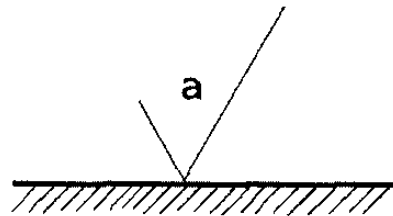


Figura 5.13 Símbolo de rugosidad más comúnmente utilizado

Por lo que a continuación se dan algunas recomendaciones prácticas como proceder en estos casos.

1. Si no se menciona ningún parámetro en especial se entenderá que la medición será con el parámetro  $R_a$ .
2. El valor numérico mostrado indicará el valor máximo admisible y cualquier valor menor será aceptable.
3. La longitud de muestreo (o valor de cut-off) que deberá utilizarse, si no se especifica ninguna, será 0.8mm
4. La longitud de evaluación deberá fijarse igual a 5 veces la longitud de muestreo.

5. La medición se hará perpendicular a las marcas del maquinado o, si no hay una dirección preferencial, será necesario realizar tres mediciones en posiciones angulares diferentes y reportar el mayor valor.
6. Los parámetros más utilizados son Ra, Rz y Ry, por lo que pueden encontrarse en cualquier rugosímetro; sin embargo, los dos últimos están definidos de forma diferente en las normas DIN y en las normas JIS e ISO, por tanto, habrá de seleccionarse de acuerdo con los valores que se requieran.
7. Cuando este indicado un parámetro de rugosidad diferente a los anteriores, debe contarse con un rugosímetro capaz de medirlo. No existen factores para realizar conversiones de un parámetro a otro.

El principal criterio de rugosidad (Ra), puede indicarse con el correspondiente número de grado de rugosidad (ver la tabla # 15), para evitar la mala interpretación de valor numéricos, los cuales pueden denotarse con diferentes unidades ( micrómetros o micropulgadas).

Valores de rugosidad <i>Ra</i>		Números de grados de rugosidad
$\mu\text{m}$	$\mu\text{pulg}$	
50	2000	N 12
25	1000	N 11
12.5	500	N 10
6.3	250	N 9
3.2	125	N 8
1.6	63	N 7
0.8	32	N 6
0.4	16	N 5
0.2	8	N 4
0.1	4	N 3
0.05	2	N 2
0.025	1	N 1

Tabla # 15 Grado de rugosidad contra valor numérico

# CAPÍTULO 6

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 6.1 Introducción

En este capítulo se especifica el equipo utilizado durante la experimentación. Así como la metodología seguida previa al experimento y la preparación de los aditamentos para la colocación del pirómetro, la programación de la máquina y el maquinado de las piezas, así como la medición de la temperatura de la herramienta durante el maquinado, la medición de la rugosidad en las piezas ya maquinadas

### 6.2 Equipo utilizado

Para llevar a cabo las mediciones se utilizó un termómetro infrarrojo RAYMX4PE mostrado en la figura 6.1 y un rugosímetro Mitutoyo SJ-301, ver figura 6.2. Las características técnicas detalladas de estos equipos se pueden consultar en el Anexo I.

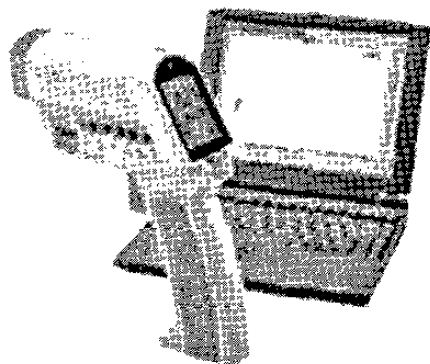


Figura 6.1 Termómetro infrarrojo RAYMX4PE.

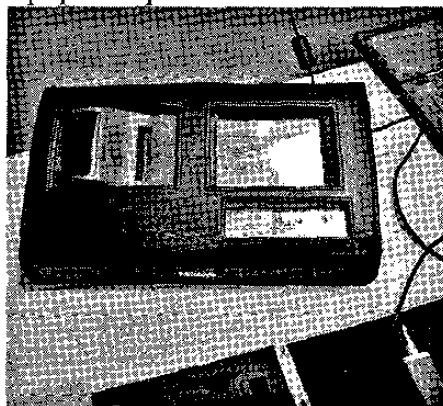


Figura 6.2.- Rugosímetro Mitutoyo SJ-301.

El maquinado de las piezas se realizó en un torno modelo Okuma LB15, ver figura 6.3, utilizando las herramientas recomendadas por el fabricante. Para los aceros recomendó la tipo DNMG 432 PG grado RC8025, ver figura 6.4 y para el aluminio DNMG 432 GP grado CQ23 mostradas en la figura 6.5

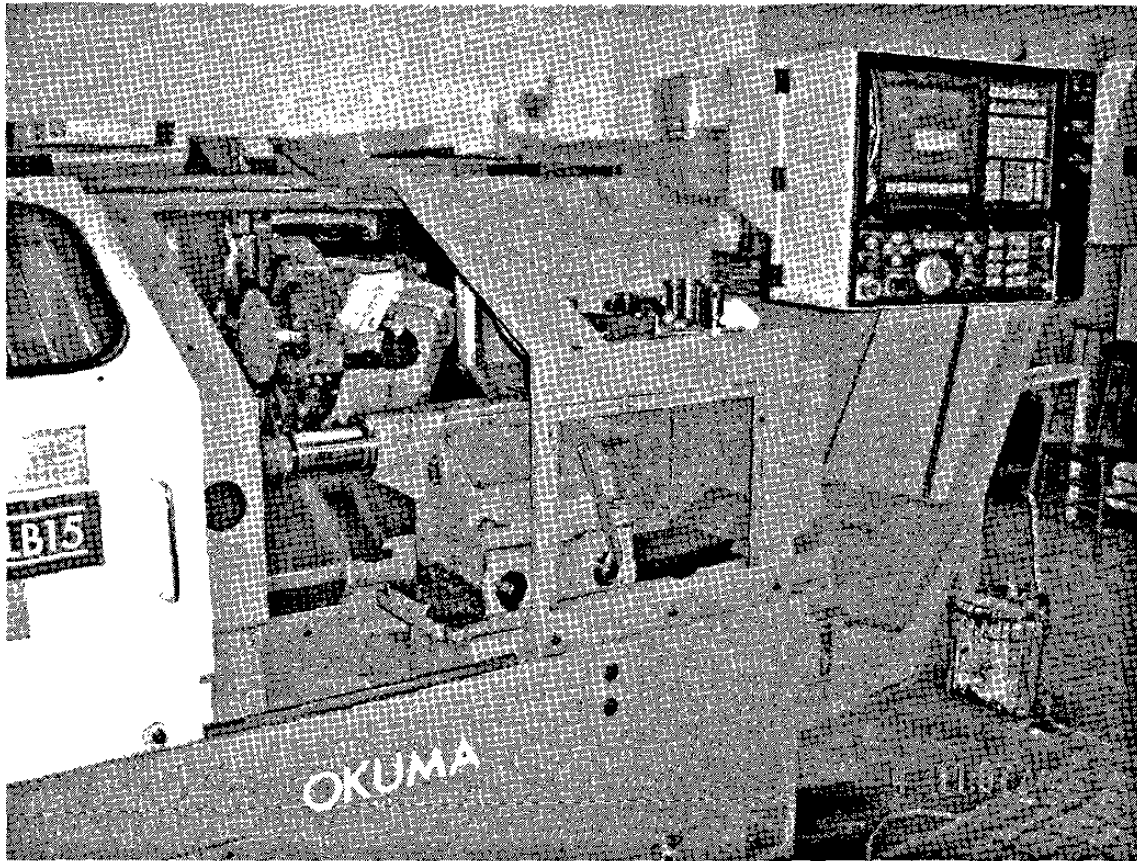


Figura 6.3 Okuma LB15 torno de dos-ejes de CNC



Figura 6.4 DNMG-432PG grado RC8025



Figura 6.5 DNMG-432GP grado CQ23



### 6.3 Material maquinado

Las piezas utilizadas para el proceso de maquinado fueron Aluminio 6061 T6, Acero 1018 y Acero 4140 Recocido y Estirado en Frío, en forma de barra cilíndrica como se muestra en la figura 6.6, 6.7 y 6.8



Figura 6.6 Aluminio 6061 T6

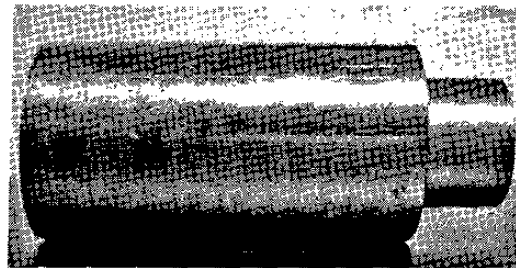


Figura 6.7 Acero 1018

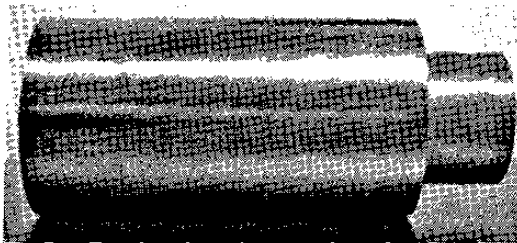


Figura 6.8 Acero 4140

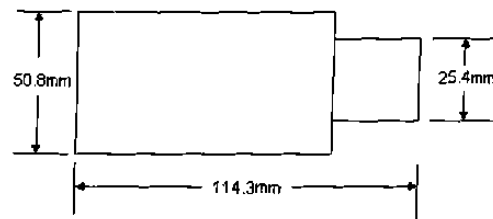


Figura 6.9 Dimensiones de la pieza

### 6.4 Procedimiento de medición.

Para la medición de la temperatura se montó un termómetro infrarrojo en la máquina apuntando sobre la herramienta por medio de un aditamento sujetado en la torreta del torno para que pueda seguir el desplazamiento de la herramienta y poder tener más puntos de medición, como se muestra en la figura 6.10

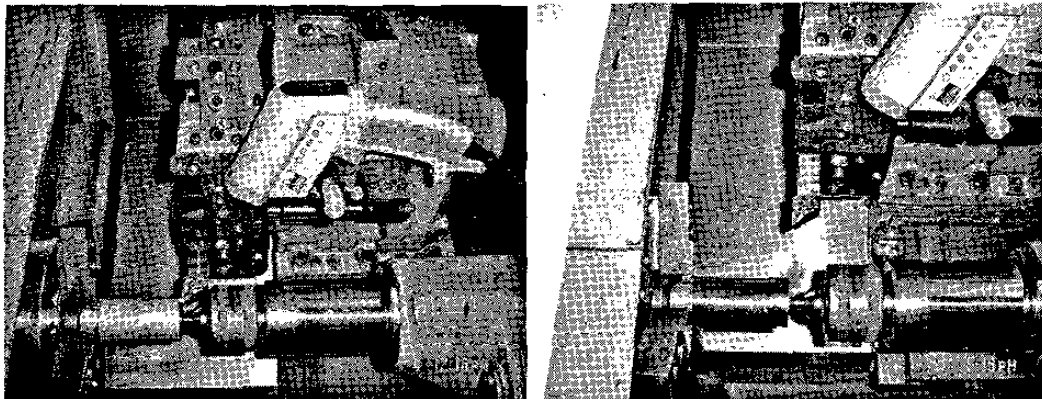


Figura 6.10 Termómetro infrarrojo montado en el torno apuntando sobre la herramienta

Después de haber montado el termómetro infrarrojo se procedió a colocar la pieza en un mandril de 3 mordazas, de ahí se colocó la herramienta en la torreta en la posición # 1 posteriormente se ajustó el cero de pieza (trasladar el centro del sistema de coordenadas a un punto conocido sobre la pieza para que facilite la programación) y el cero de herramienta (trasladar el origen de la herramienta a la punta de ella), de ahí se realizó el programa de maquinado para las pruebas. El cual se reproduce a continuación:

```

N1 G00 X220.0 Z96.0
N2 G50 S3500
NAT04
N100 G97 S1500 M42 M04
N101 G00 X53.34 Z65.5 T040404
N103 G96 S240
N106 G00 X48.8
N107 G01 Z95.5 F0.45
N108 Z10.0
N109 G40 K-0.01
N110 G80
N111 G00 X53.34
N112 G97 S1911 M05
N113 X220.0 Z96.0 T0400
N114 M01
N115 M02

```

El maquinado de los 3 tipos de materiales consistió en retirar 2 milímetros de diámetro de material en un recorrido de la herramienta por pieza y en cada pieza se varían las condiciones de corte, dependiendo el material es el rango de avance y velocidad de corte, para el aluminio las condiciones de corte recomendadas por el fabricante<sup>24</sup>, considerando que el maquinado que hicimos es un maquinado general, comenzando con un avance de 0.15 mm/rev y teniendo incrementos de 0.05 mm/rev hasta llegar a 0.45 mm/rev, esto para 2 velocidades de corte diferentes que son 1900 y 2500 RPM., para el acero 1018 el avance es de 0.15 a 0.45 mm/rev con incrementos de 0.05 y las velocidades de corte utilizadas son 1400 y 1600 RPM, y para el acero 4140 se utiliza el mismo avance de los anteriores y las velocidades de corte utilizadas serán 720 y 1000 RPM, todo esto está representado en la figura 6.11. La medición de la temperatura la realiza el pirómetro sacando un promedio de las tomas detectadas por un rayo láser con un diámetro de 2.5mm e emitido por él, la medición inició desde que la herramienta tocó el material haciendo tomas cada 250 milisegundos hasta llegar al final del recorrido, las cuales son almacenadas en una computadora por medio del programa que incluye el pirómetro.



PIEZA Aluminio 6061	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7
F (mm/rev)	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
S (RPM)	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
PIEZA Aluminio 6061	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 10	Prueba 11	Prueba 12	Prueba 13	Prueba 14
F (mm/rev)	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
S (RPM)	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
PIEZA Acero 1018	Prueba 15	Prueba 16	Prueba 17	Prueba 18	Prueba 19	Prueba 20	Prueba 21
F (mm/rev)	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
S (RPM)	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400
PIEZA Acero 1018	Prueba 22	Prueba 23	Prueba 24	Prueba 25	Prueba 26	Prueba 27	Prueba 28
F (mm/rev)	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
S (RPM)	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
PIEZA Acero 4140	Prueba 29	Prueba 30	Prueba 31	Prueba 32	Prueba 33	Prueba 34	Prueba 35
F (mm/rev)	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
S (RPM)	720	720	720	720	720	720	720
PIEZA Acero 4140	Prueba 36	Prueba 37	Prueba 38	Prueba 39	Prueba 40	Prueba 41	Prueba 42
F (mm/rev)	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
S (RPM)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Figura 6.11 Avance y velocidad de corte utilizados para cada material en la prueba de maquinado

Una vez terminadas de maquinar las piezas se identificaron con la velocidad y el avance con los que se trabajaron y se recolectó la viruta generada por el proceso para analizarla, posteriormente se midió la rugosidad de las piezas. Estas mediciones se realizaron colocando sobre una mesa de granito el palpador del rugosímetro en cada pieza maquinada, nivelando la unidad conductora con ayuda de bloques patrón y un nivel de burbuja como lo muestra la figura 6.12. Las mediciones fueron tomadas en micrones para los parámetros Ra (el cual fue descrito en el capítulo 5), y se eligió este parámetro ya que es el más utilizado y se calcula de la misma manera en todo el mundo.

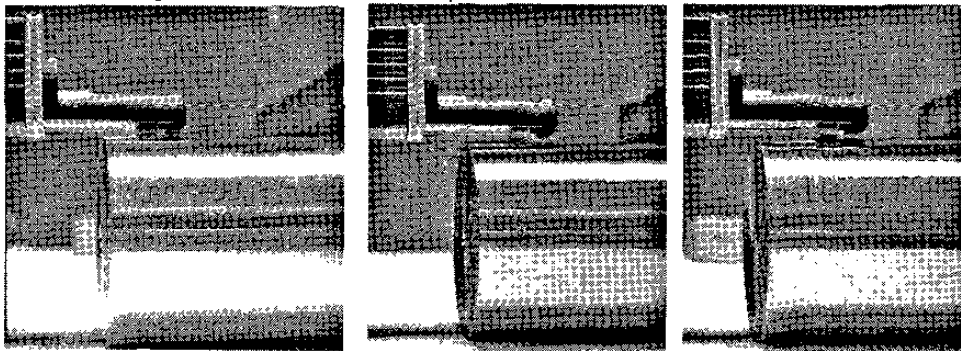


Figura 6.12 Palpador del rugosímetro sobre cada pieza maquinada

# CAPITULO 7

## RESULTADOS

### 7.1 Resultados de la medición de temperatura

Para cada tipo de material en cada combinación de velocidad y avance de la herramienta de trabajo se midió el promedio de la temperatura durante el recorrido de la herramienta, como se muestra en la figura 7.1 (Obtención de las temperaturas)

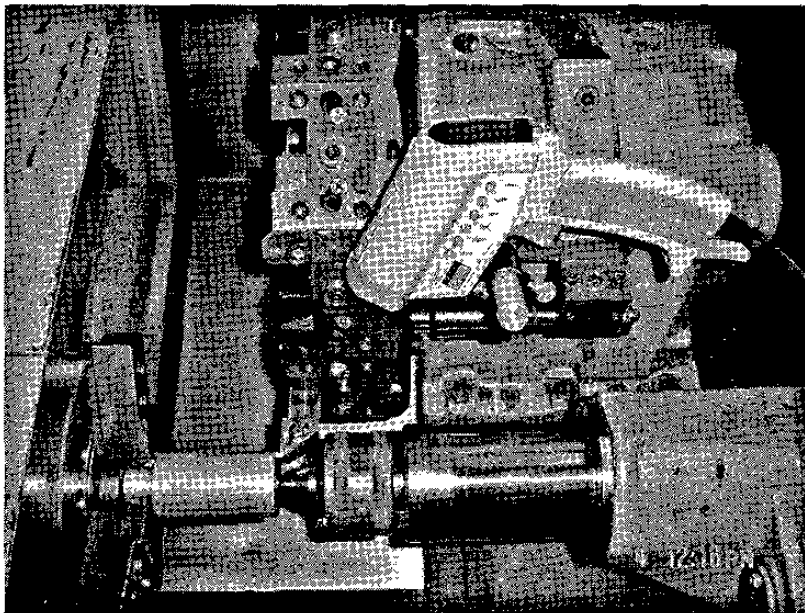


Figura 7.1 Obtención de temperatura con la pistola montada en el torno apuntando a la punta de la herramienta

A continuación se muestran los resultados obtenidos durante la medición.

### 7.1.1 Resultado de temperatura en Aluminio 6061 T6 con una velocidad de giro del husillo de 1900 RPM

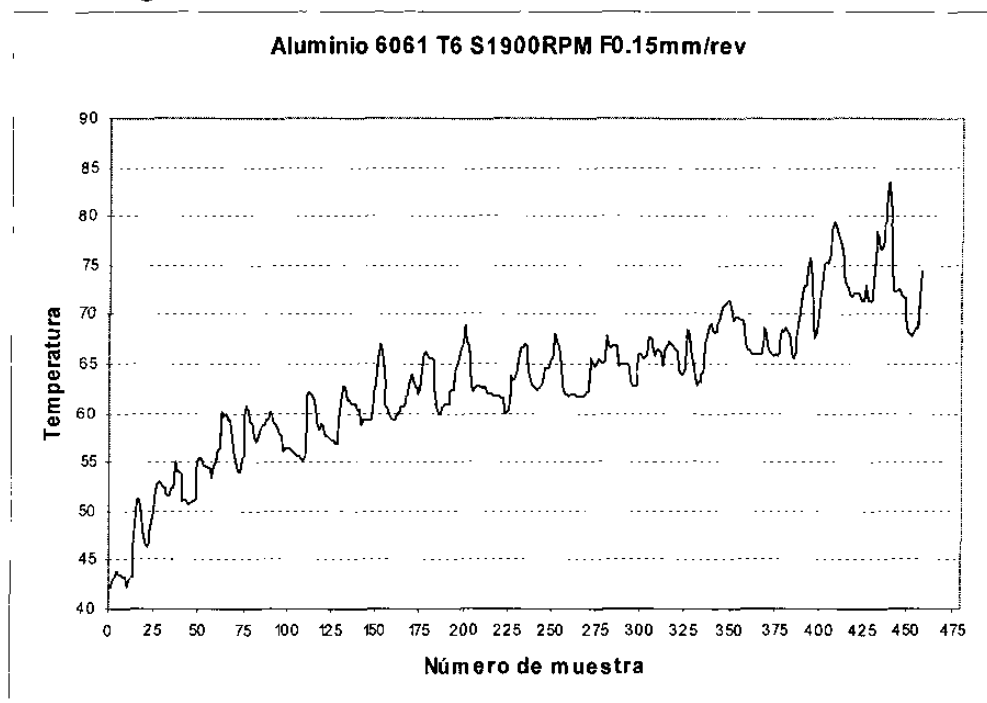


Figura 7.2 Resultados de temperatura para un avance de 0.15mm/rev.

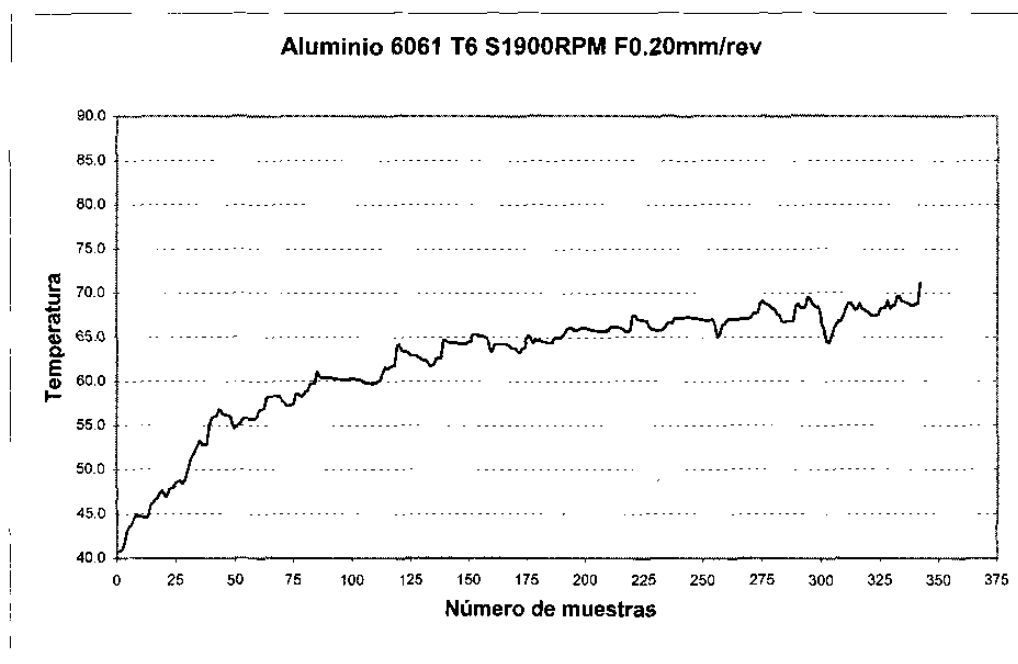


Figura 7.3 Resultados de temperatura para un avance de 0.20 mm/rev.

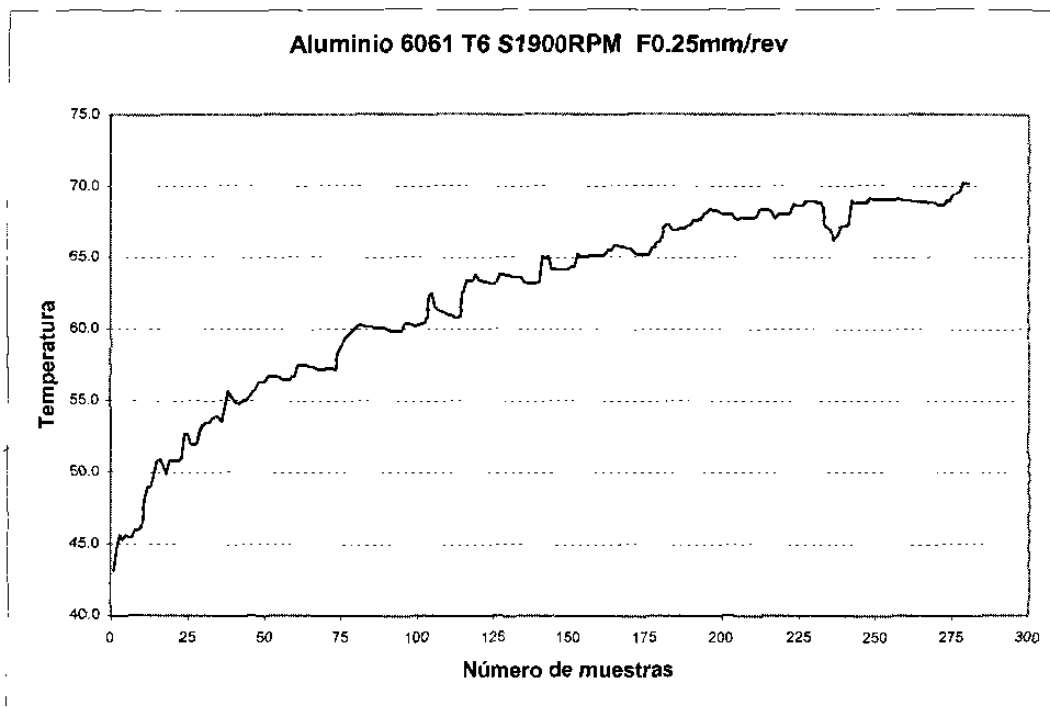


Figura 7.4 Resultados de temperatura para un avance de 0.25 mm/rev.

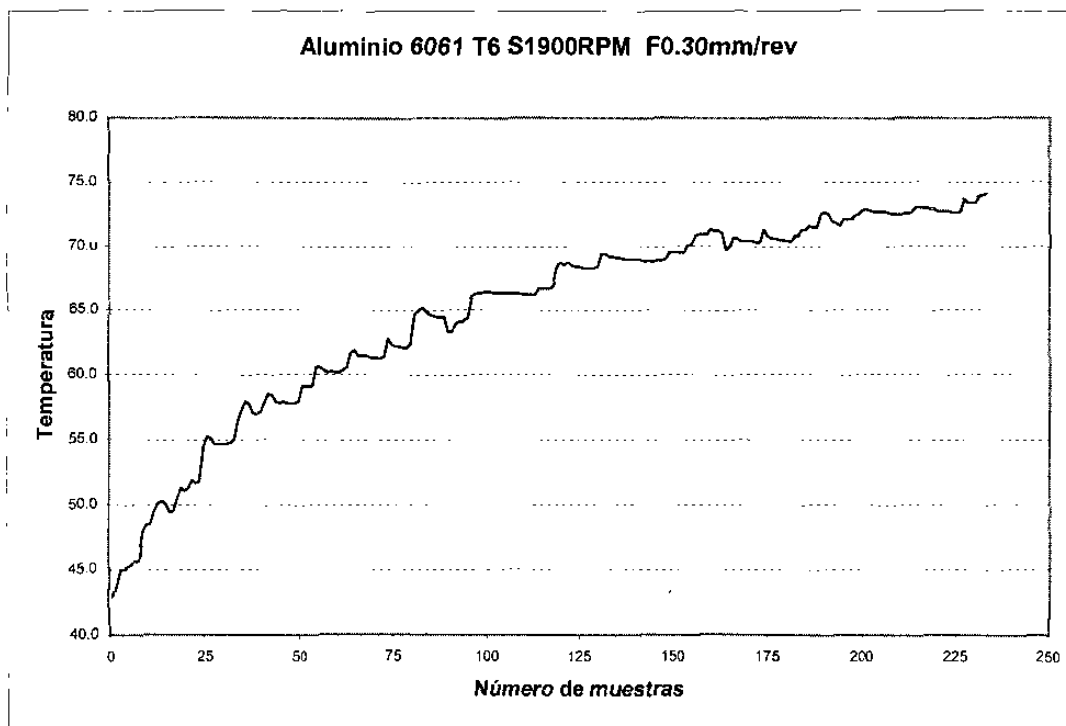


Figura 7.5 Resultados de temperatura para un avance de 0.30 mm/rev.

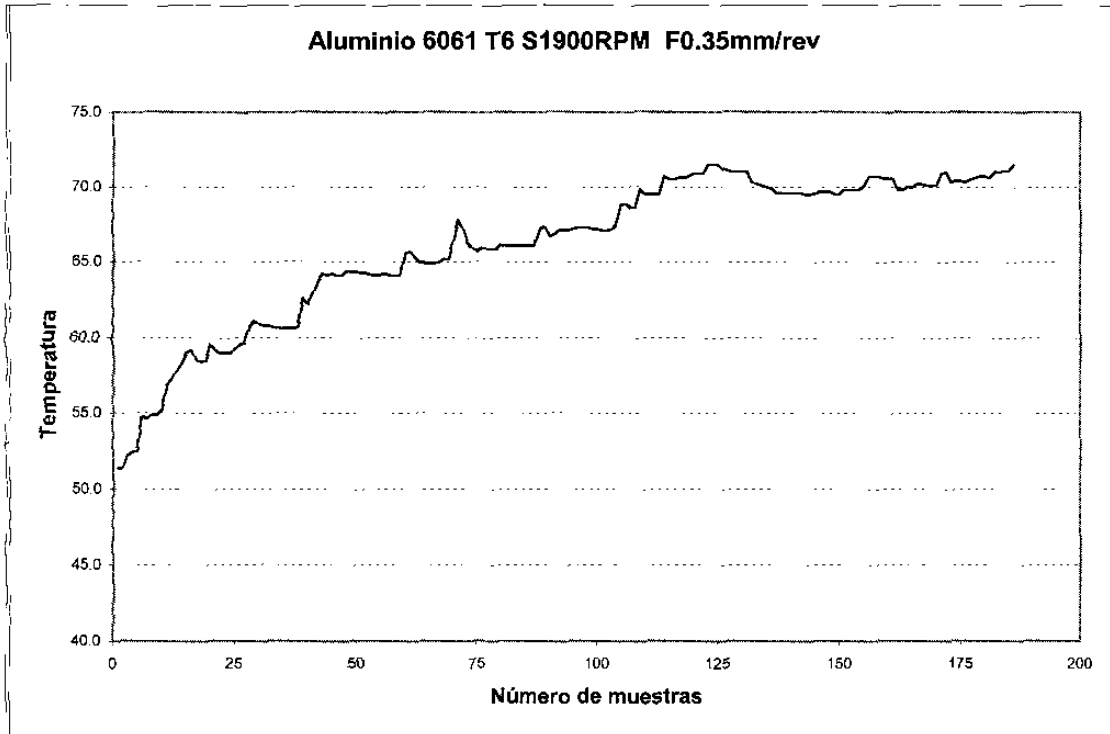


Figura 7.6 Resultados de temperatura para un avance de 0.35 mm/rev.

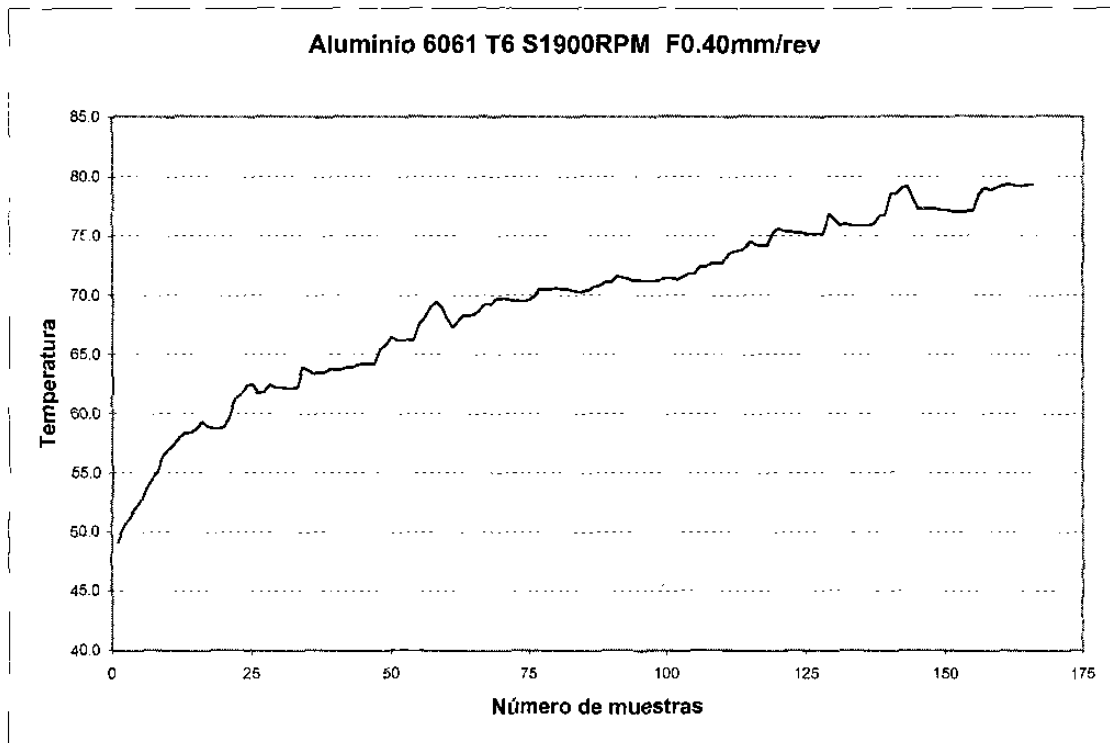


Figura 7.7 Resultados de temperatura para un avance de 0.40 mm/rev.

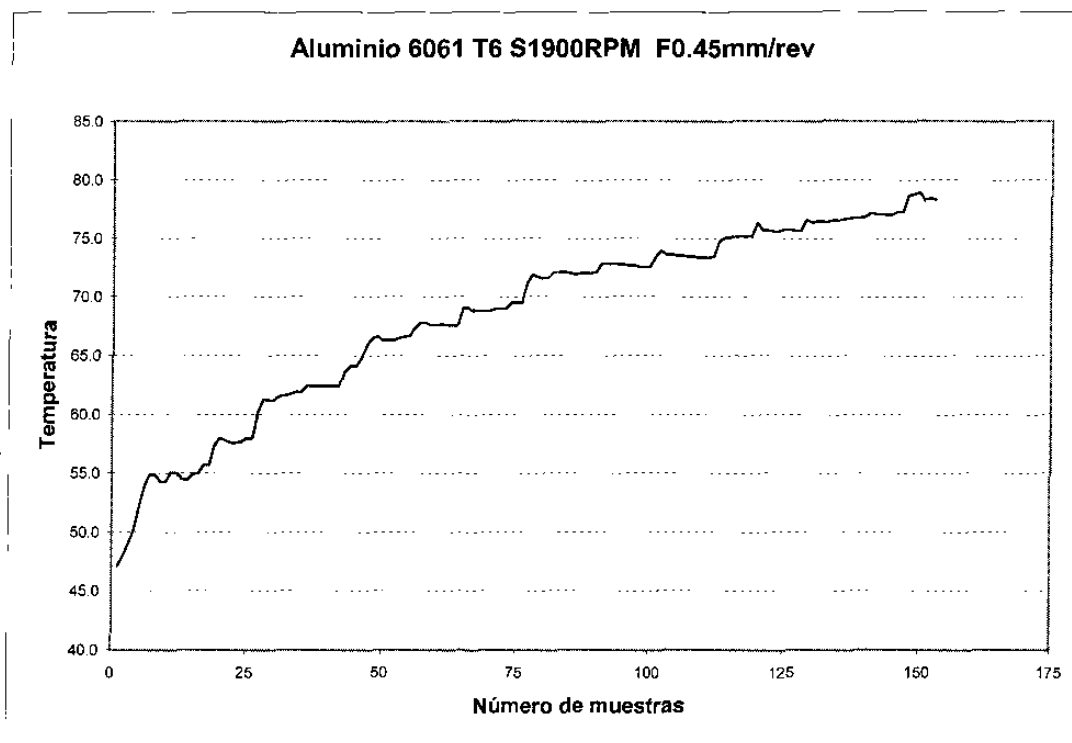


Figura 7.8 Resultados de temperatura para un avance de 0.45 mm/rev.

7.1.2 Resultado de temperatura en Aluminio 6061 T6 con una velocidad de giro del husillo de 2500 RPM

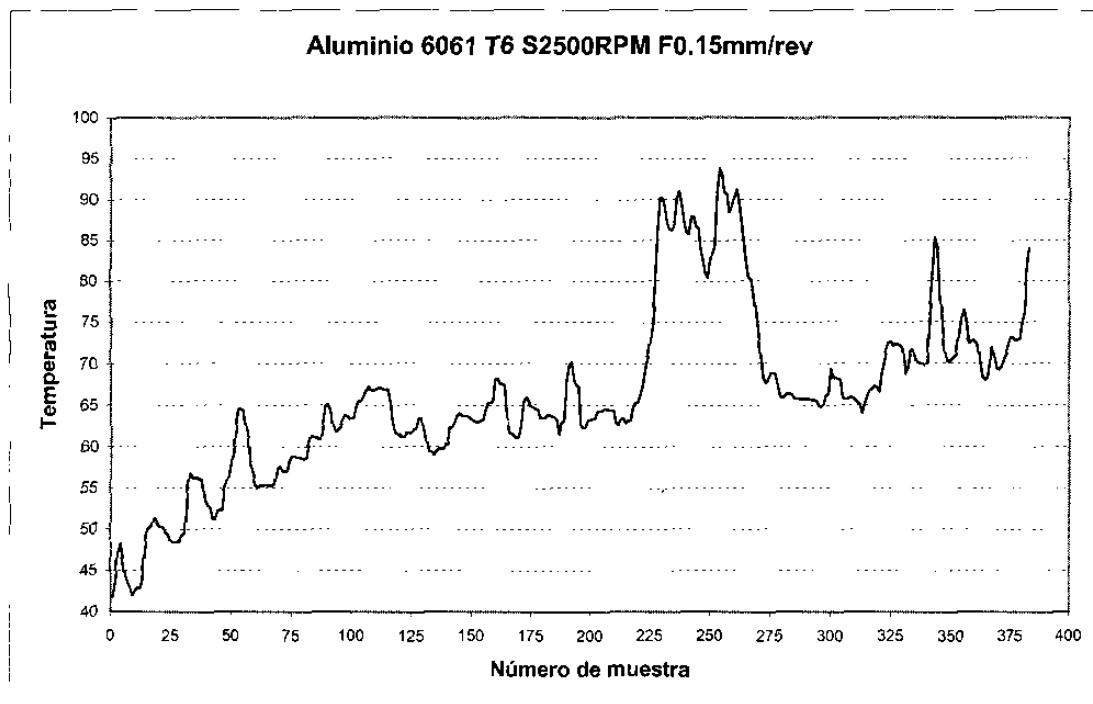


Figura 7.9 Resultados de temperatura para un avance de 0.15mm/rev

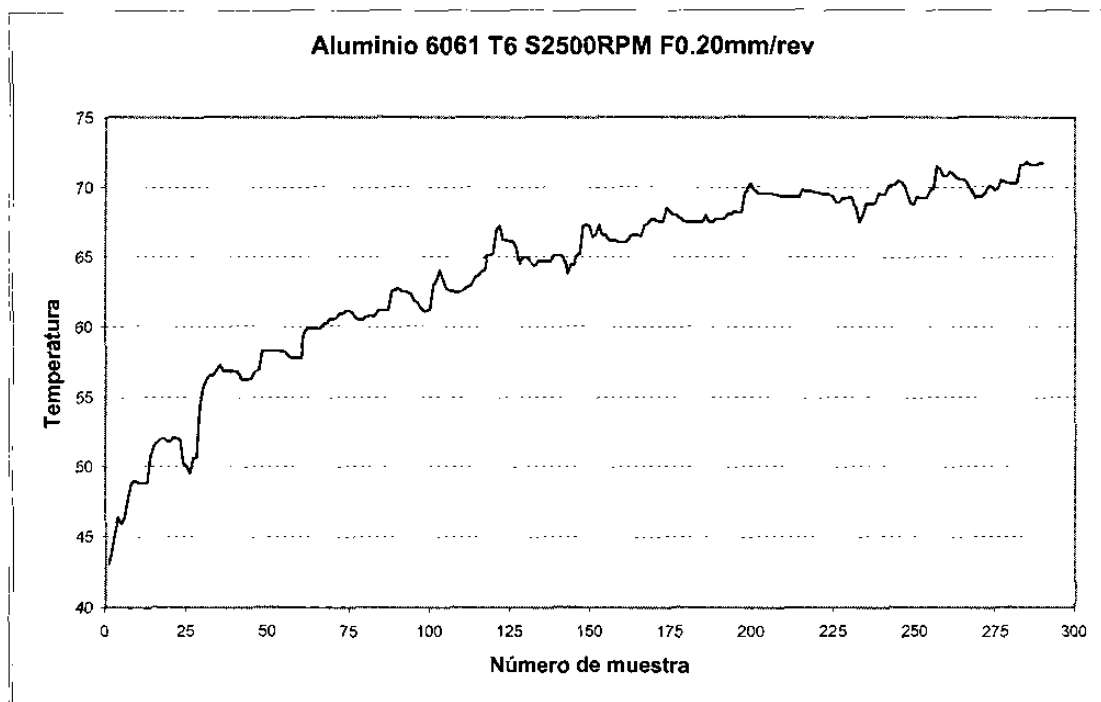


Figura 7.10 Resultados de temperatura para un avance de 0.20 mm/rev

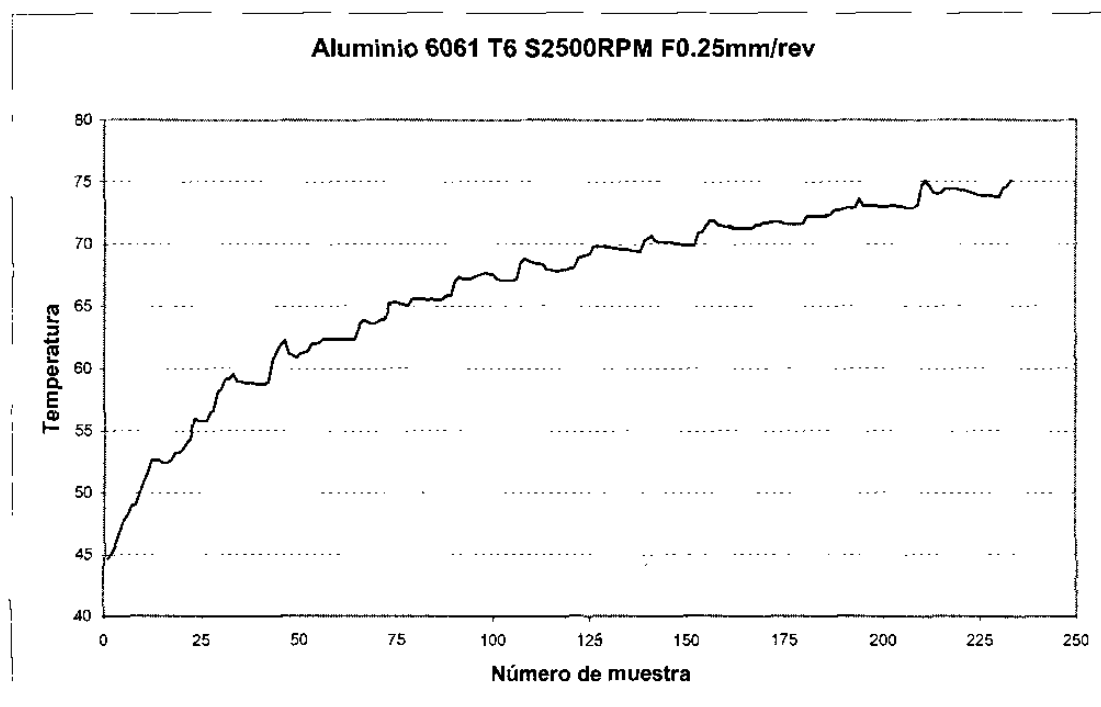


Figura 7.11 Resultados de temperatura para un avance de 0.25 mm/rev.

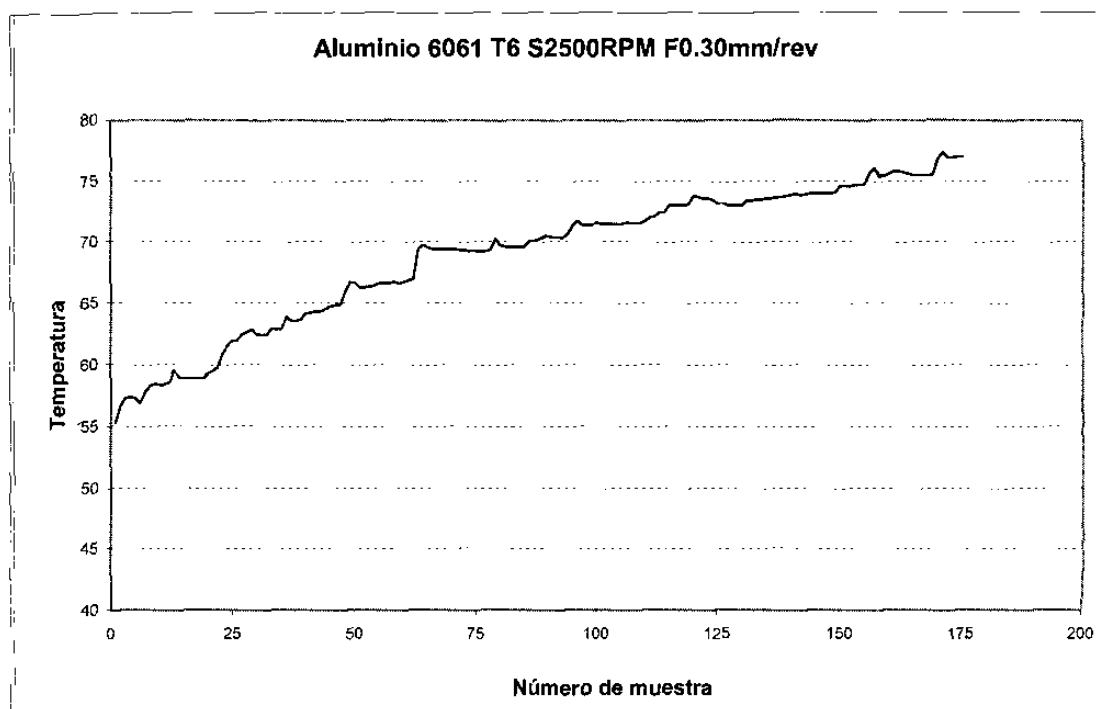


Figura 7.12 Resultados de temperatura para un avance de 0.30 mm/rev.

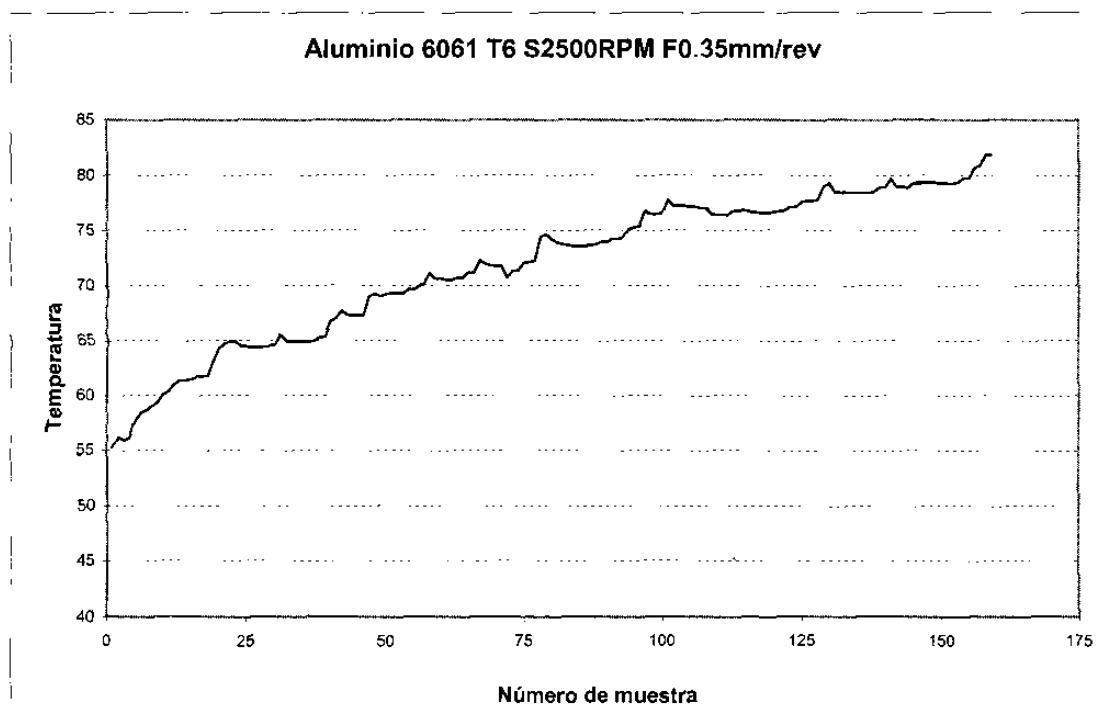


Figura 7.13 Resultados de temperatura para un avance de 0.35 mm/rev.



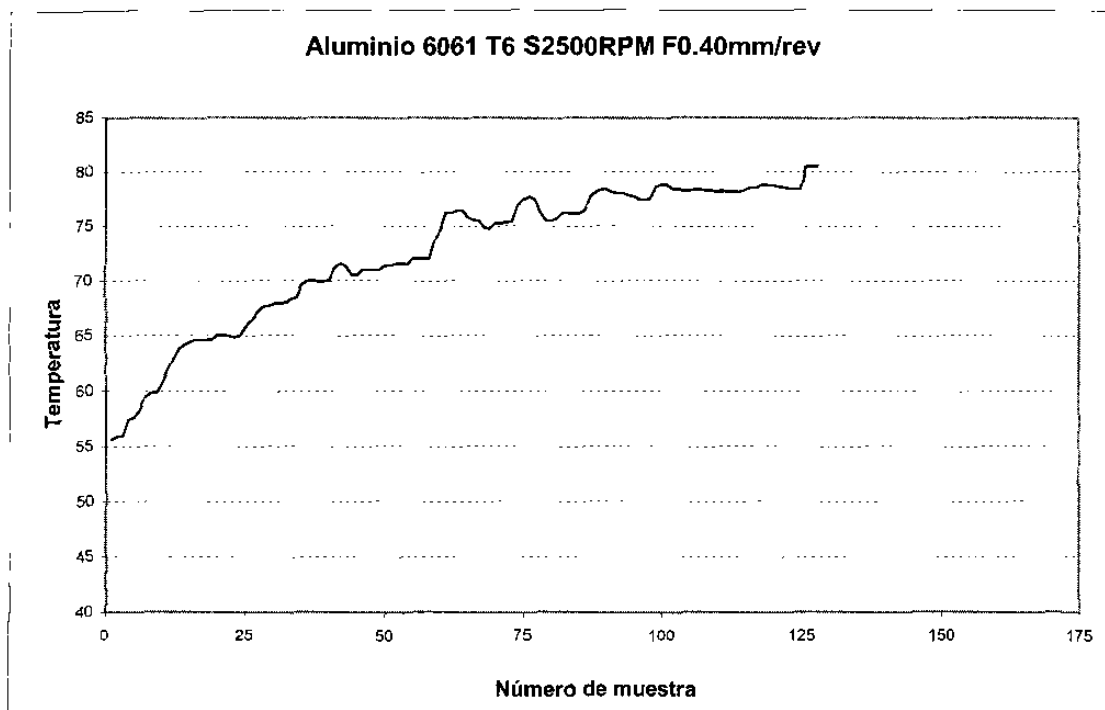


Figura 7.14 Resultados de temperatura para un avance de 0.40 mm/rev.

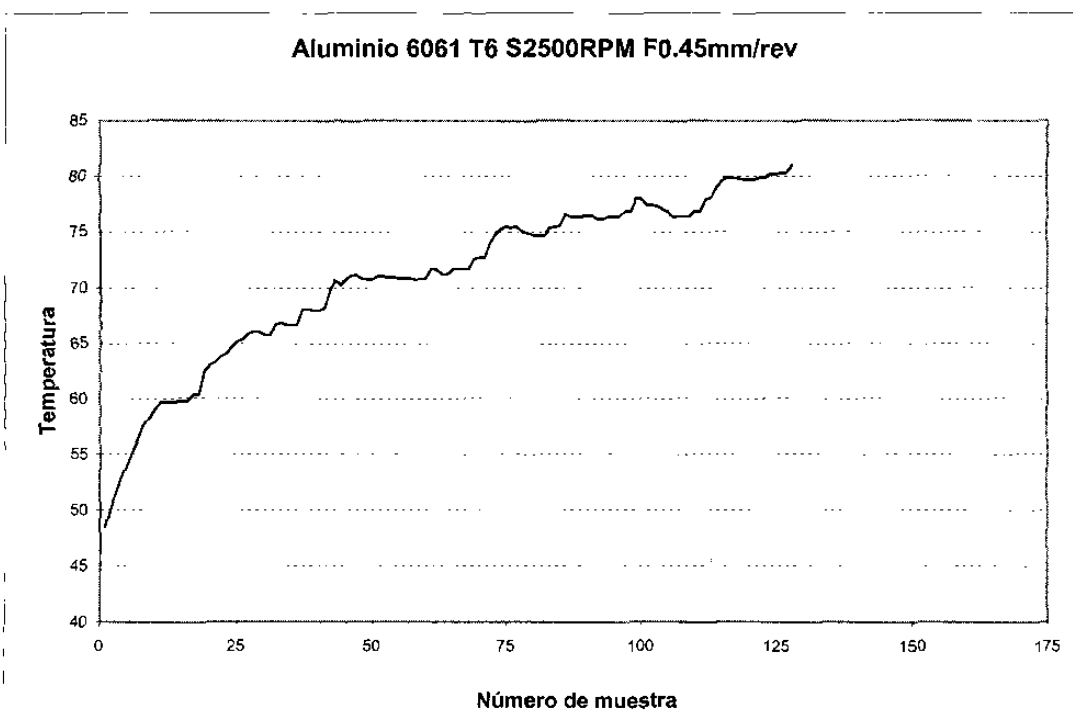


Figura 7.15 Resultados de temperatura para un avance de 0.45 mm/rev.

### 7.1.3 Resultado de temperatura en Acero 1018 con una velocidad de giro del husillo de 1400 RPM

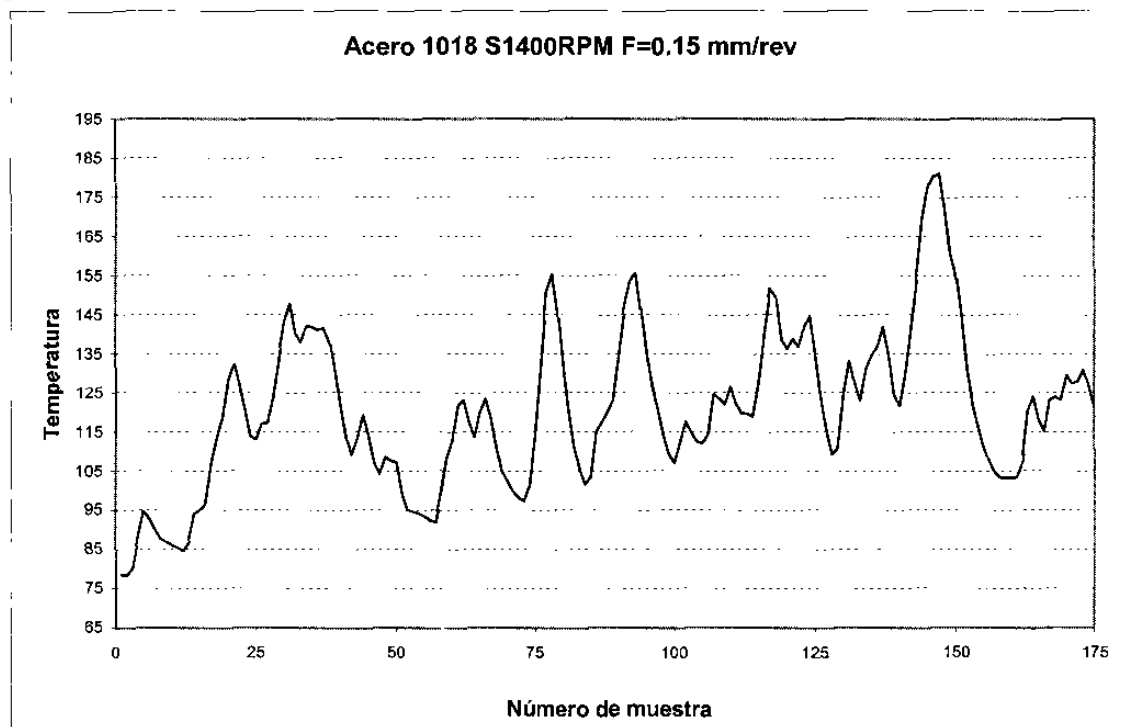


Figura 7.16 Resultados de temperatura para un avance de 0.15mm/rev

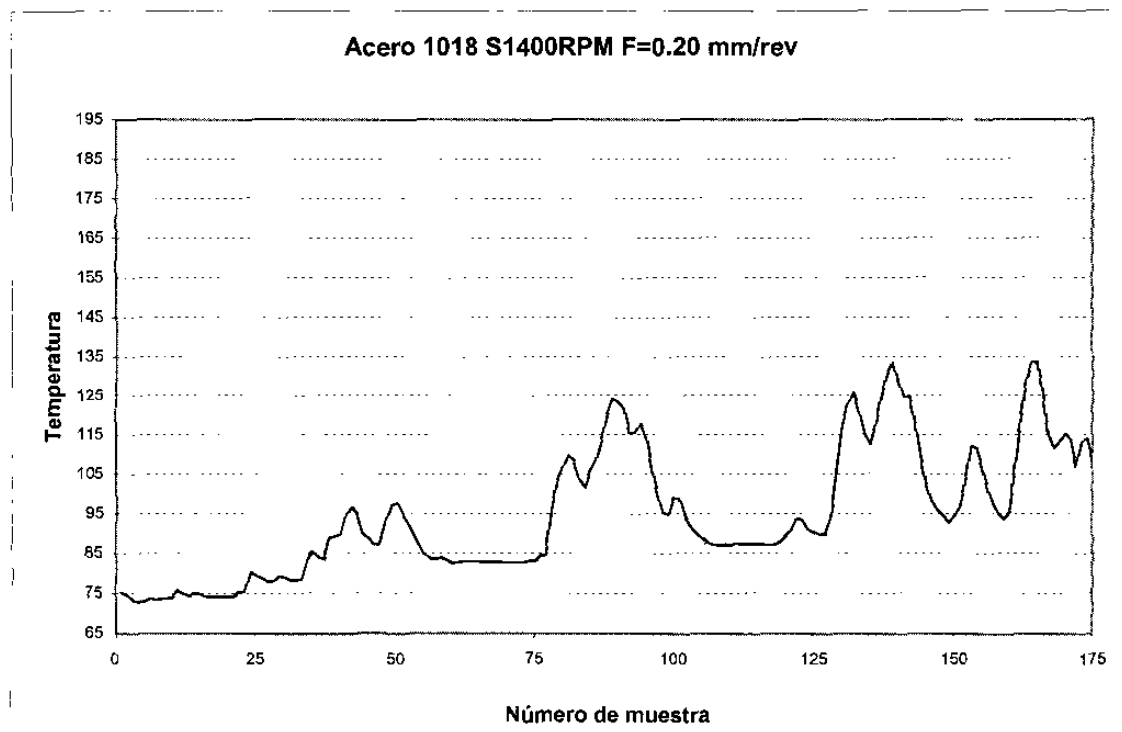


Figura 7.17 Resultados de temperatura para un avance de 0.20 mm/rev

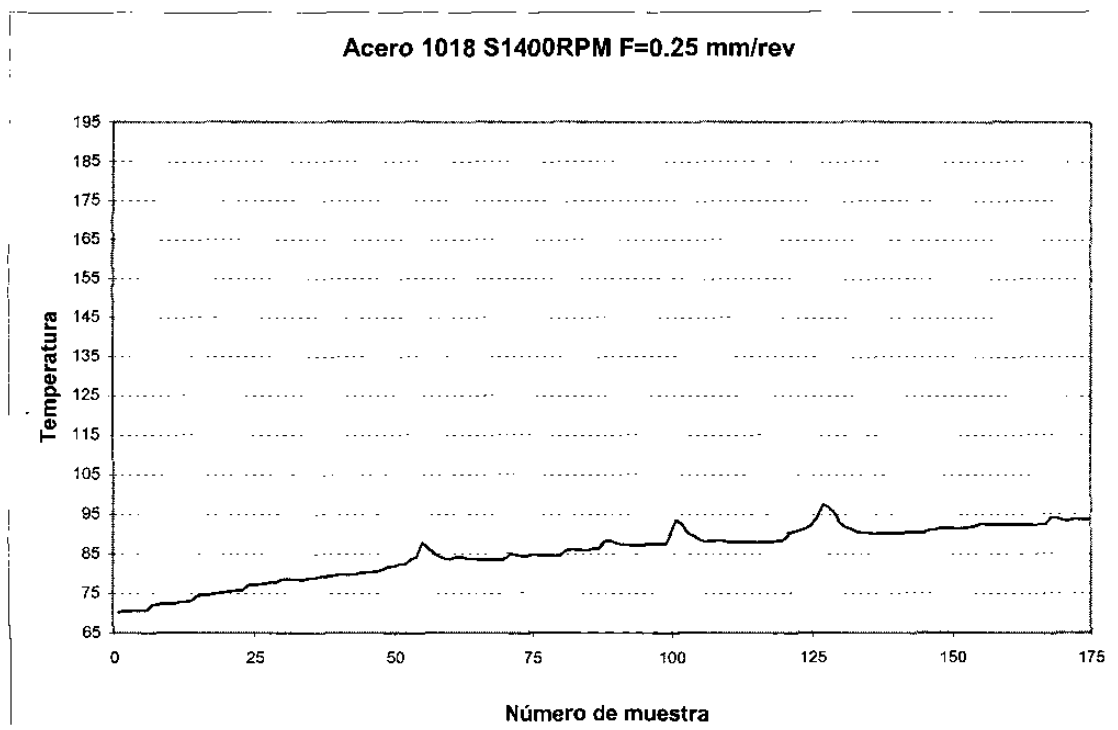


Figura 7.18 Resultados de temperatura para un avance de 0.25 mm/rev.

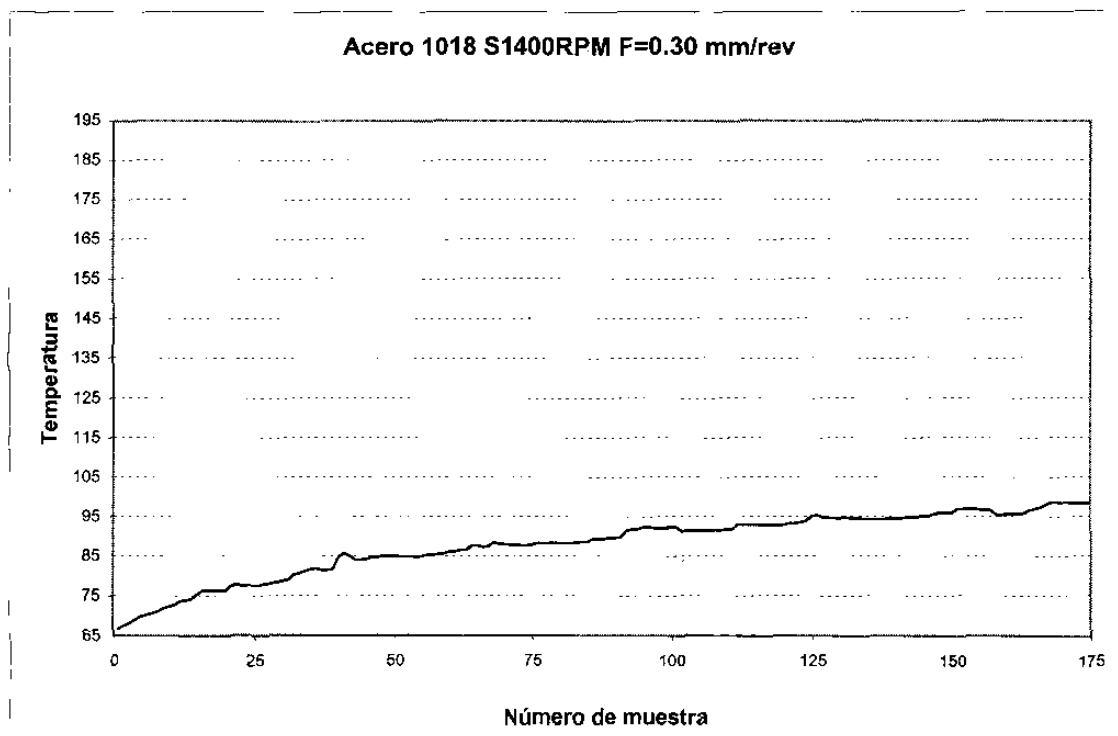


Figura 7.19 Resultados de temperatura para un avance de 0.30 mm/rev.

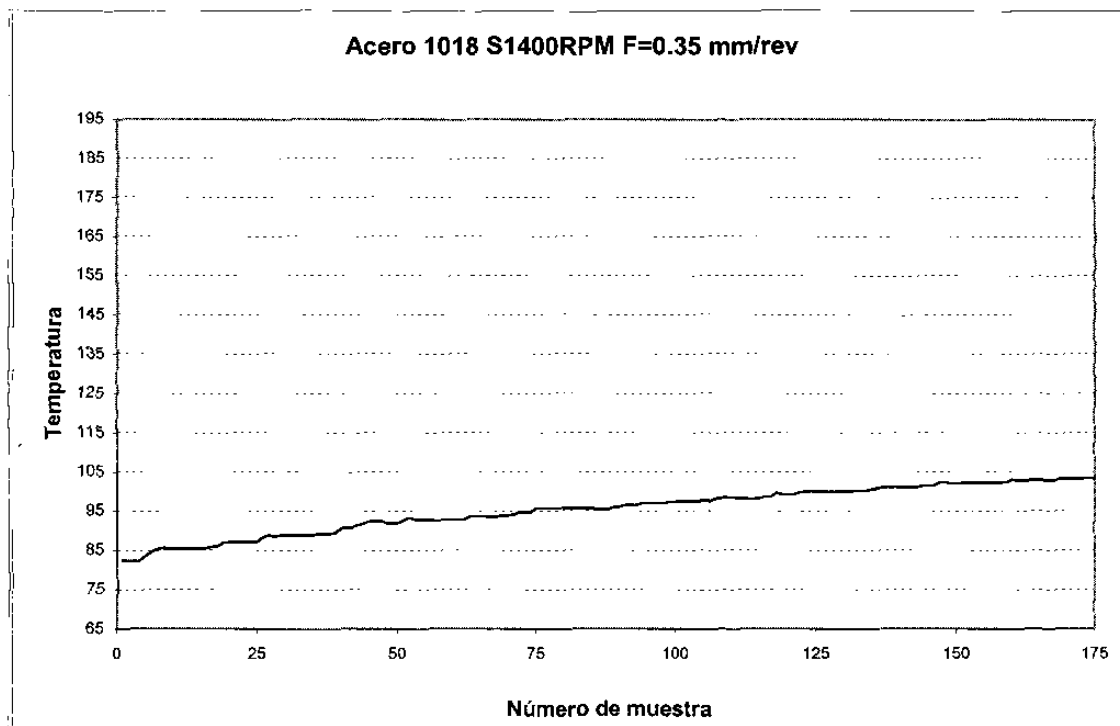


Figura 7.20 Resultados de temperatura para un avance de 0.35 mm/rev.

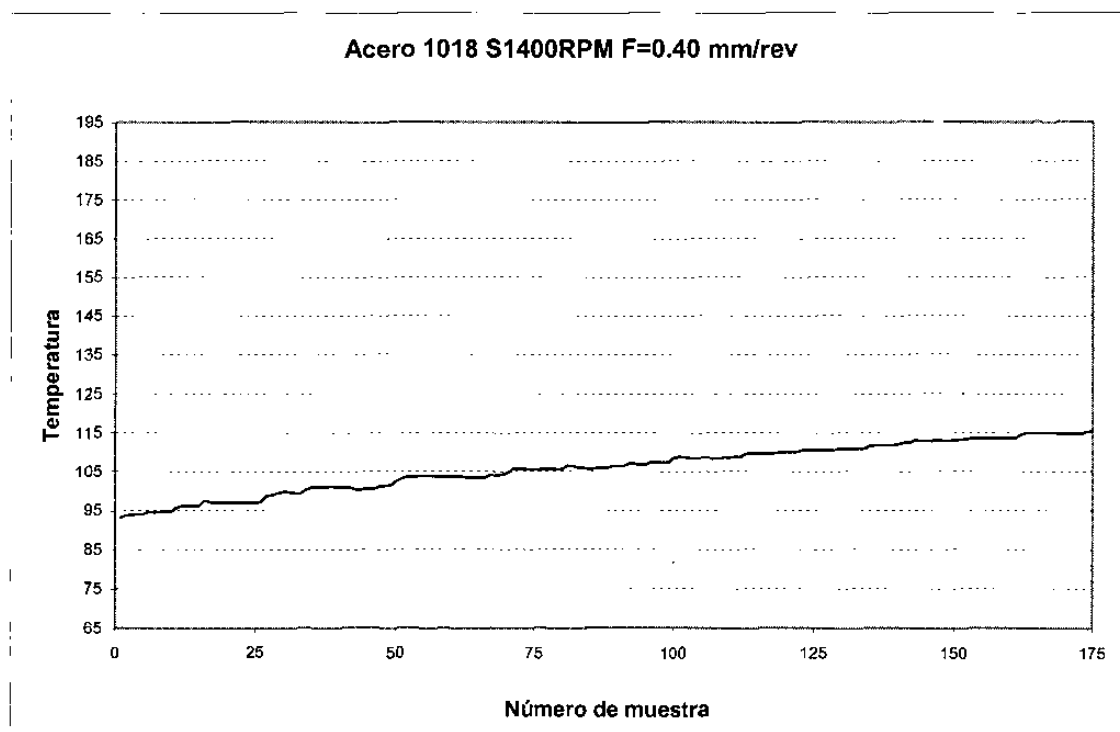


Figura 7.21 Resultados de temperatura para un avance de 0.40 mm/rev.

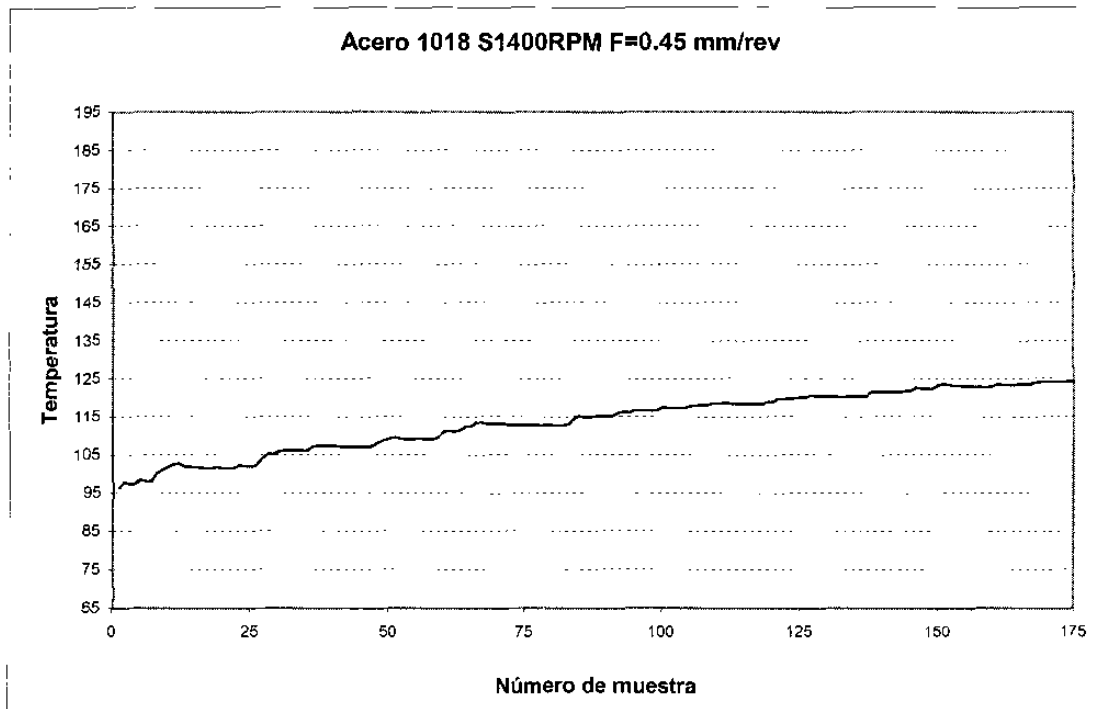


Figura 7.22 Resultados de temperatura para un avance de 0.45 mm/rev.

#### 7.1.4 Resultado de temperatura en Acero 1018 con una velocidad de giro del husillo de 1600 RPM

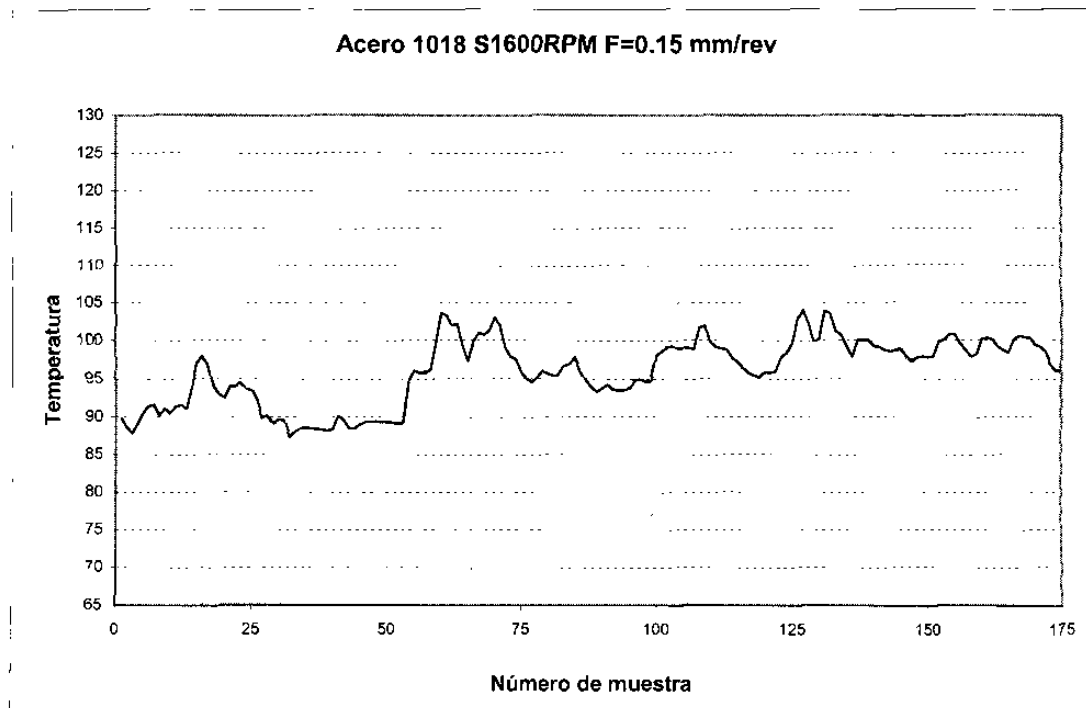


Figura 7.23 Resultados de temperatura para un avance de 0.15mm/rev.

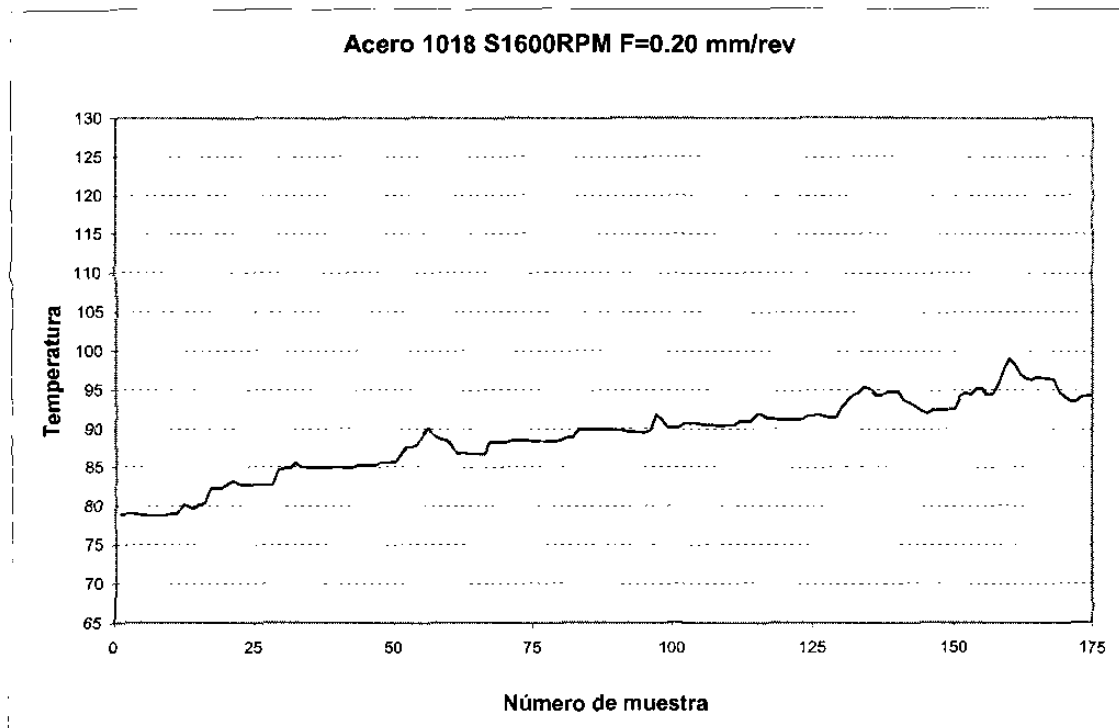


Figura 7.24 Resultados de temperatura para un avance de 0.20 mm/rev.

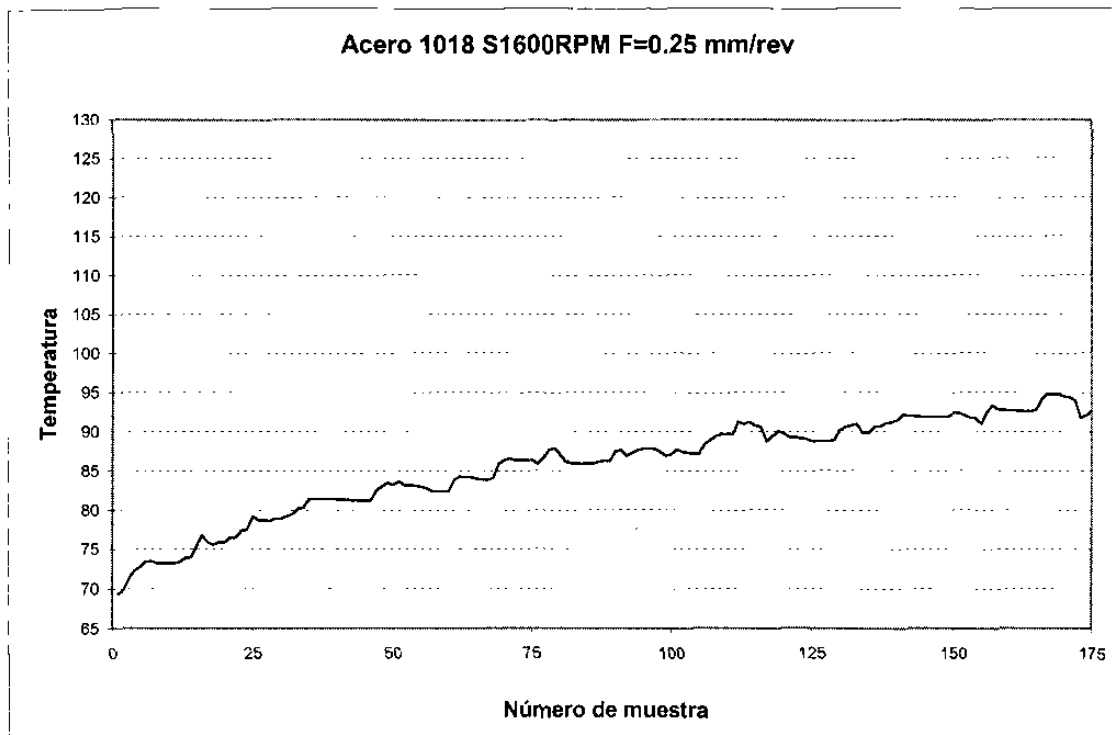


Figura 7.25 Resultados de temperatura para un avance de 0.25 mm/rev.

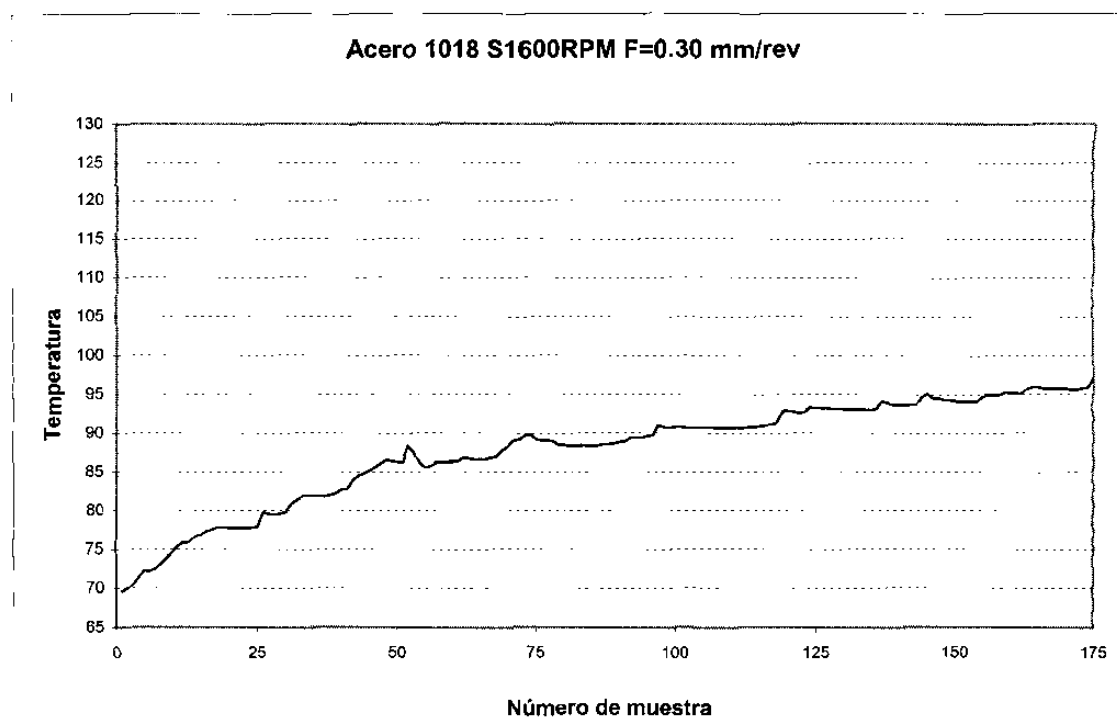


Figura 7.26 Resultados de temperatura para un avance de 0.30 mm/rev.

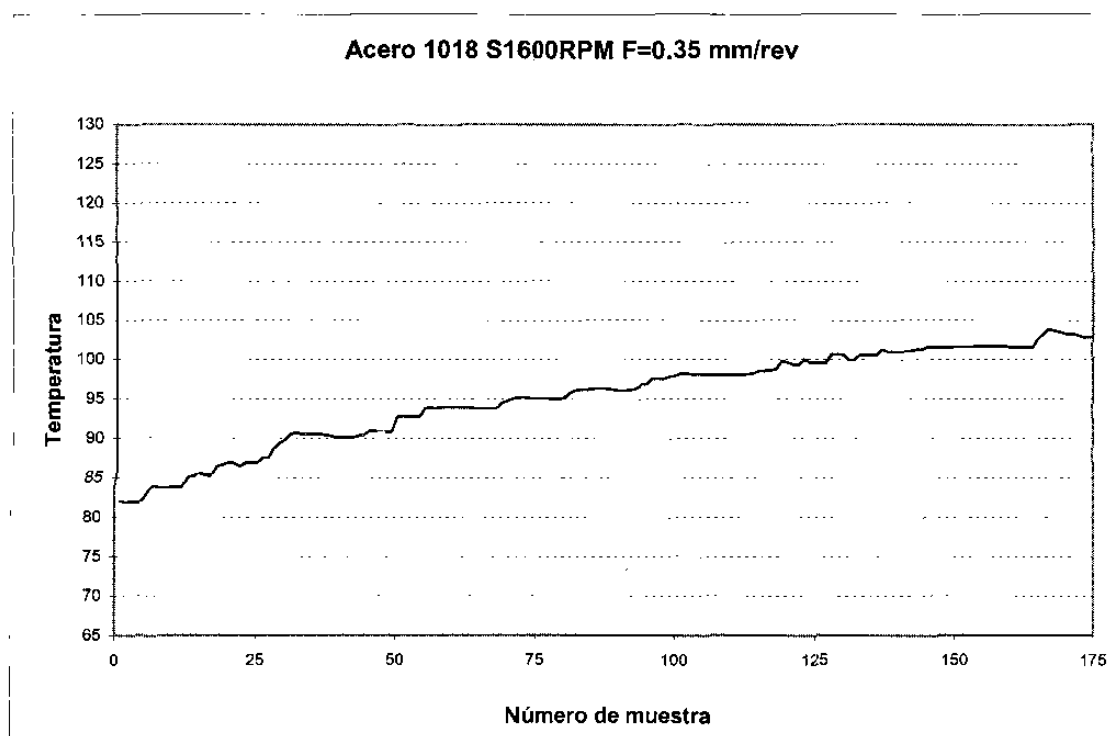


Figura 7.27 Resultados de temperatura para un avance de 0.35 mm/rev.

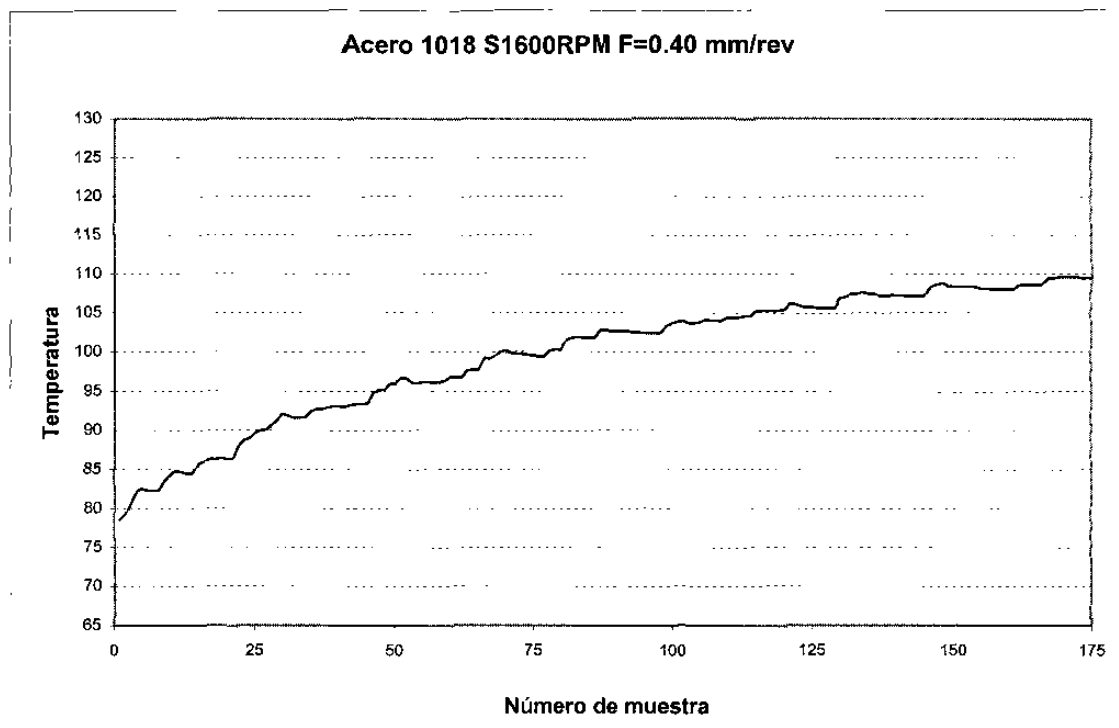


Figura 7.28 Resultados de temperatura para un avance de 0.40 mm/rev.

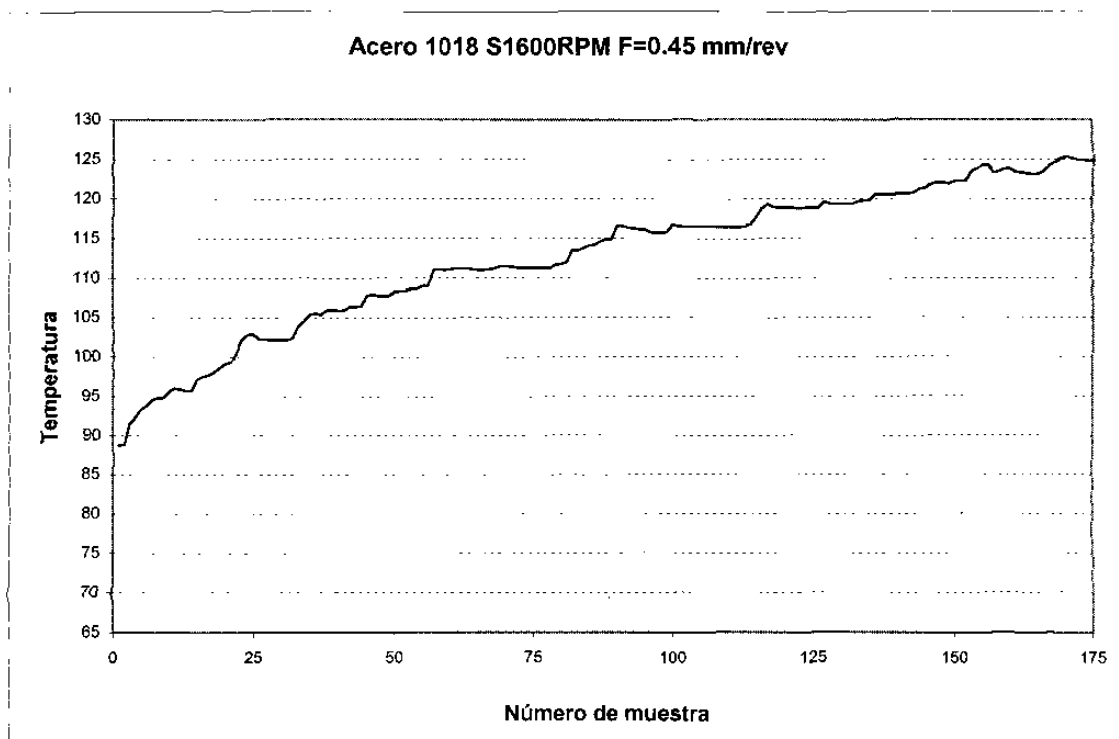


Figura 7.29 Resultados de temperatura para un avance de 0.45 mm/rev.



### 7.1.5 Resultado de temperatura en Acero 4140 Recocido y Estirado en Frío con una velocidad de giro del husillo de 720 RPM

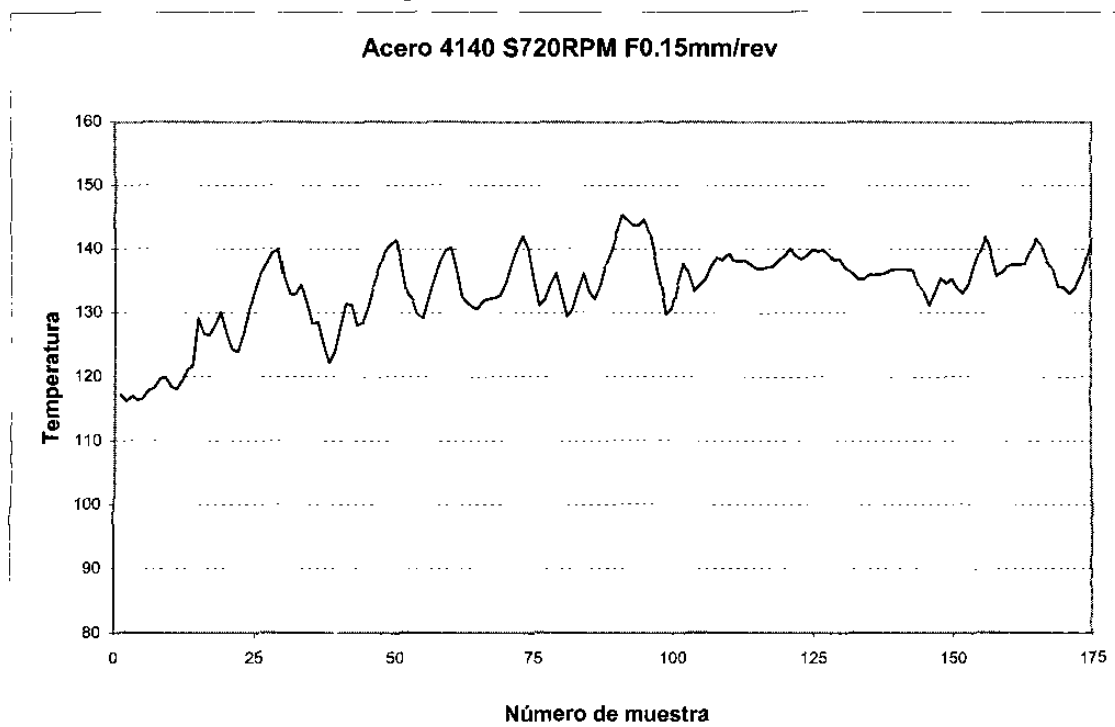


Figura 7.30 Resultados de temperatura para un avance de 0.15mm/rev

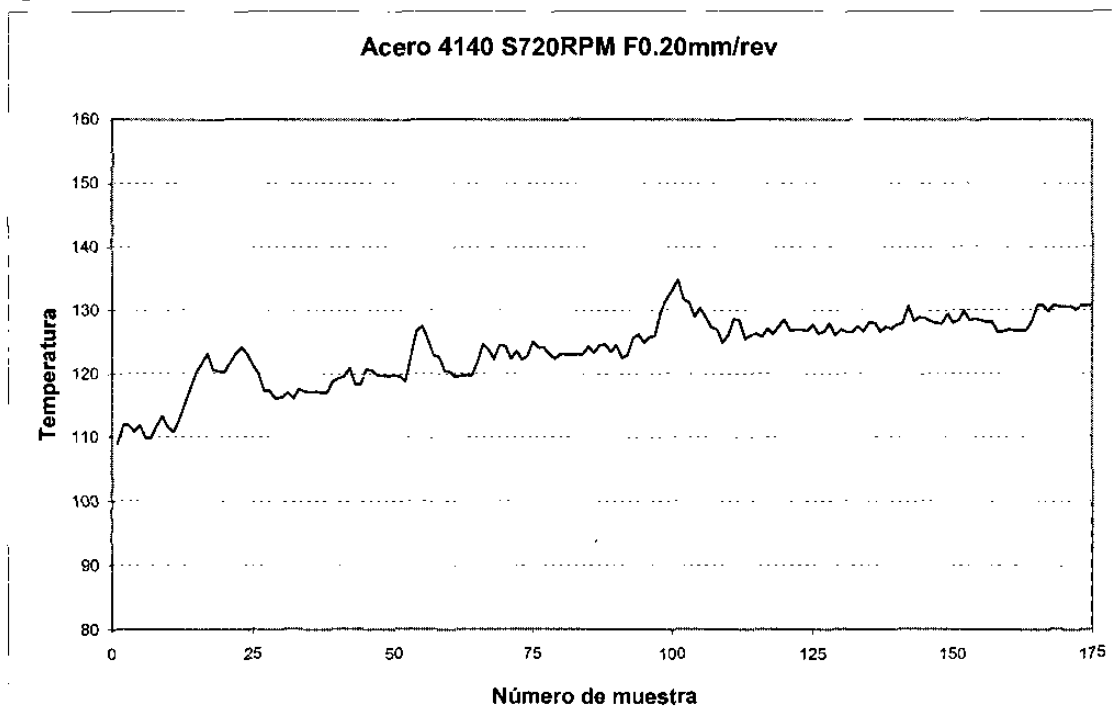


Figura 7.31 Resultados de temperatura para un avance de 0.20 mm/rev

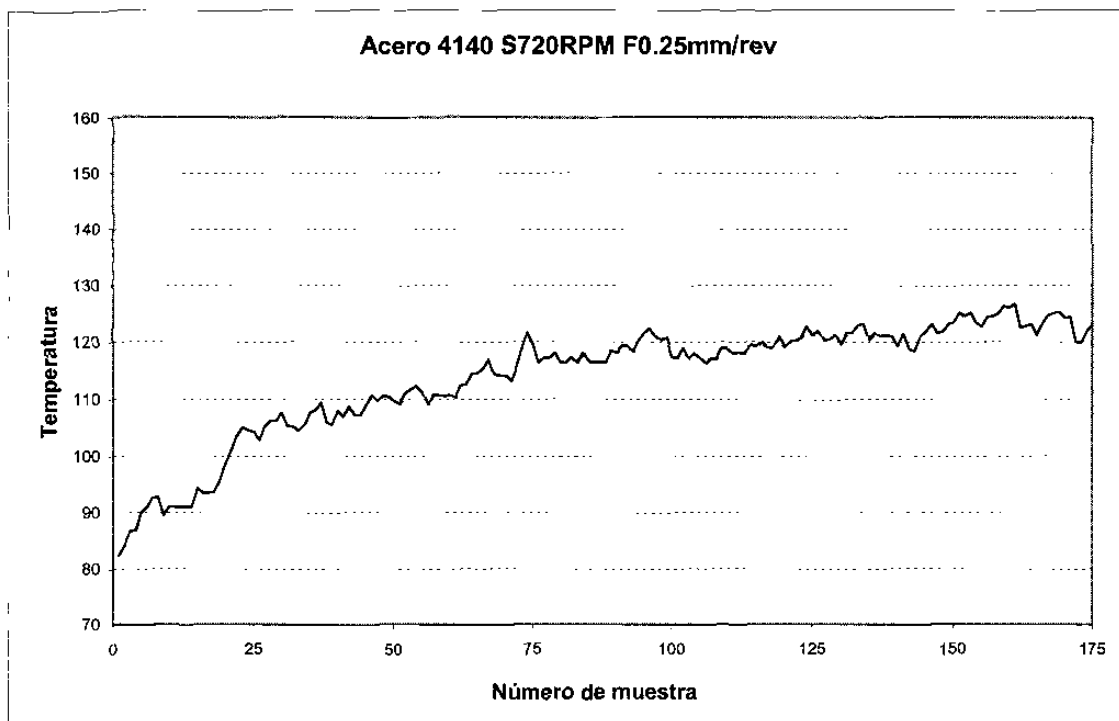


Figura 7.32 Resultados de temperatura para un avance de 0.25 mm/rev.

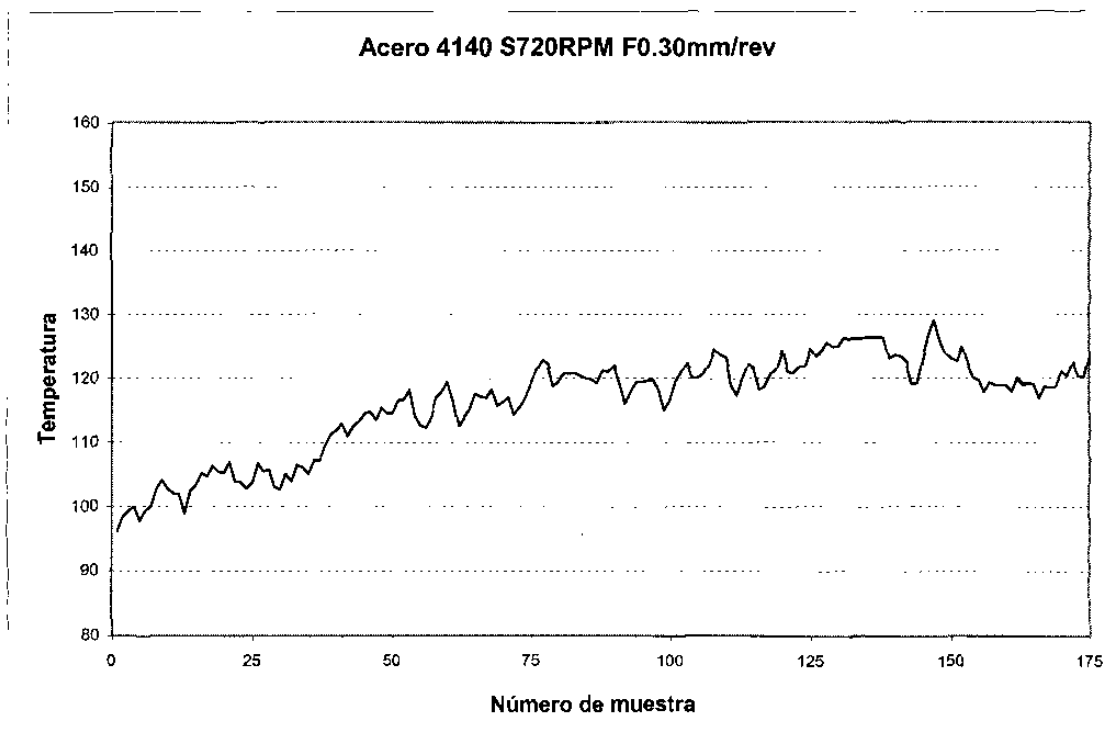


Figura 7.33 Resultados de temperatura para un avance de 0.30 mm/rev.

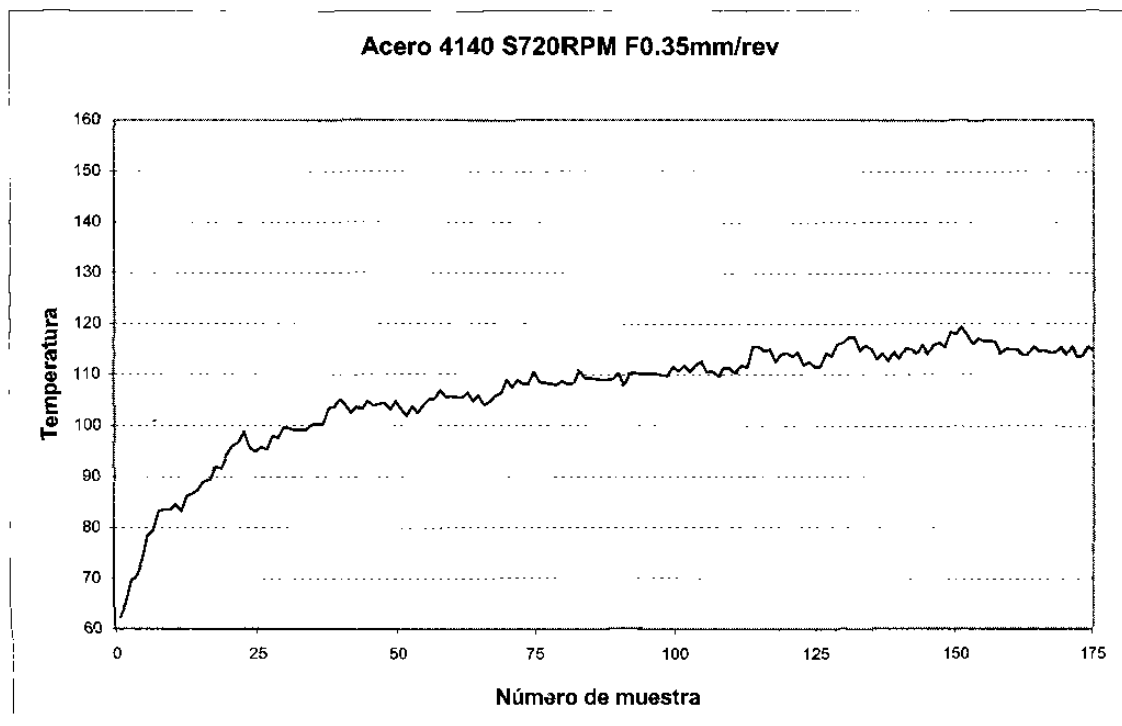


Figura 7.34 Resultados de temperatura para un avance de 0.35 mm/rev.

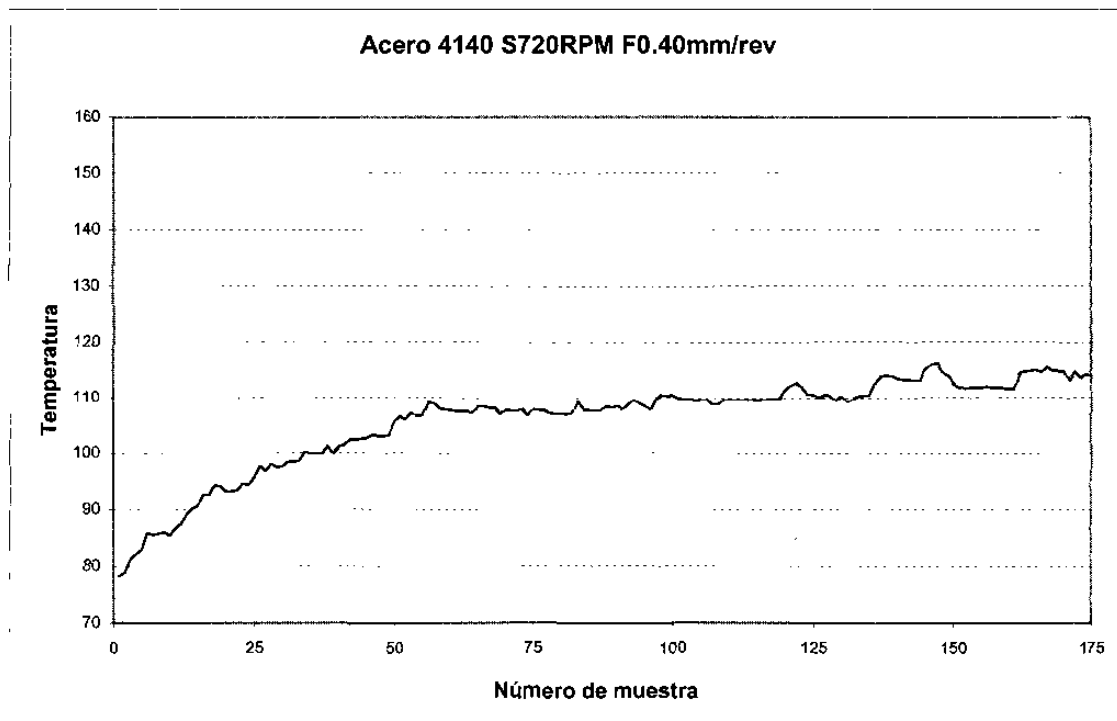


Figura 7.35 Resultados de temperatura para un avance de 0.40 mm/rev.

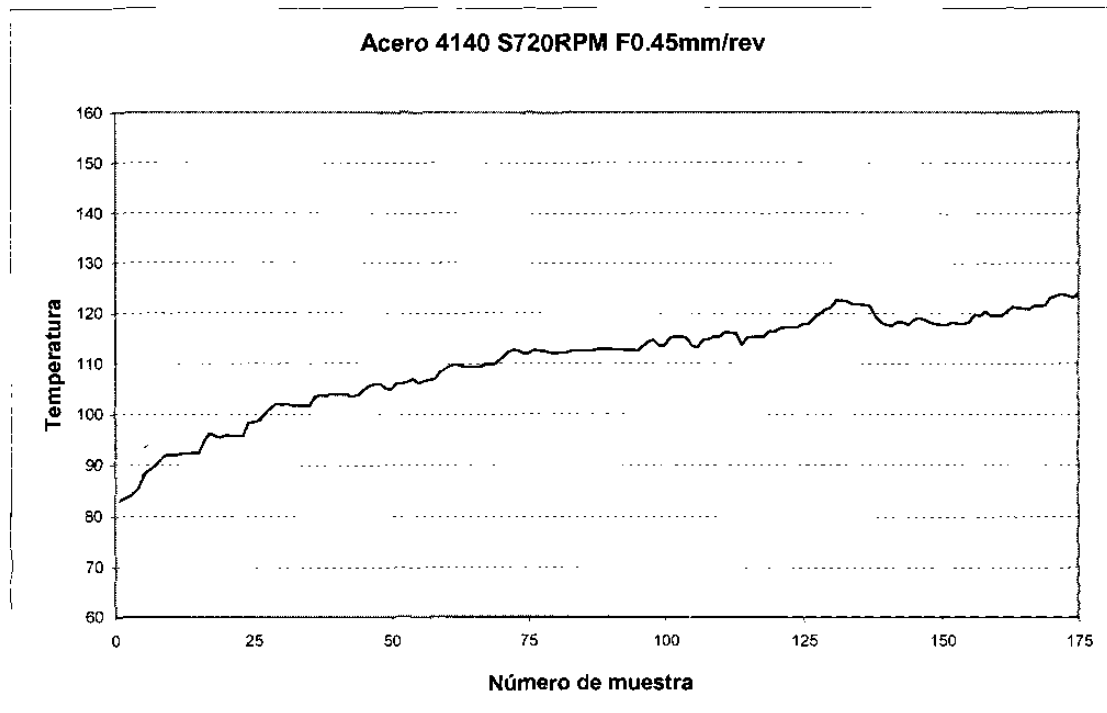


Figura 7.36 Resultados de temperatura para un avance de 0.45 mm/rev.

### 7.1.6 Resultado de temperatura en Acero 4140 Recocido y Estirado en Frío con una velocidad de giro del husillo de 1000 RPM

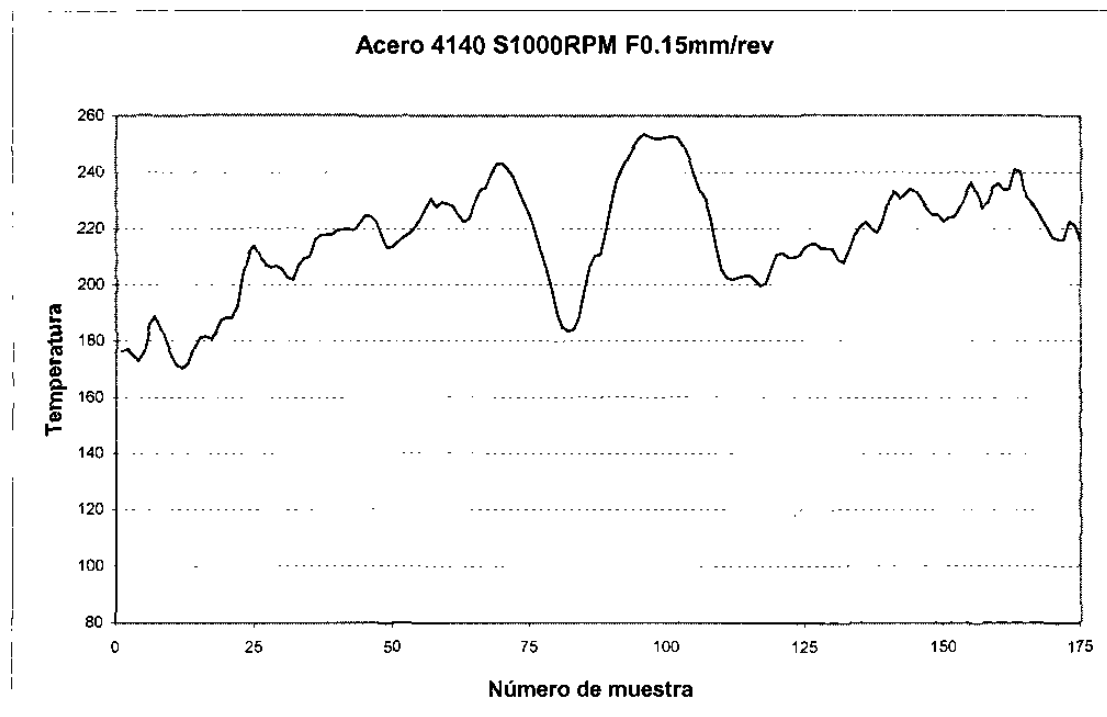


Figura 7.37 Resultados de temperatura para un avance de 0.15mm/rev

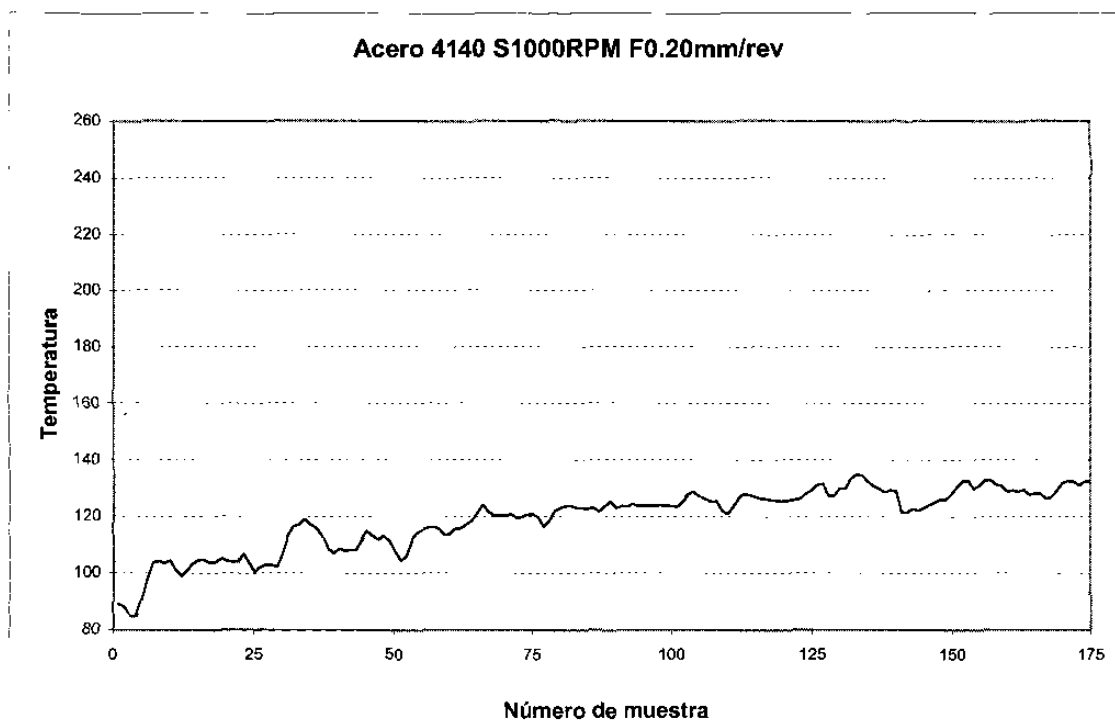


Figura 7.38 Resultados de temperatura para un avance de 0.20 mm/rev.

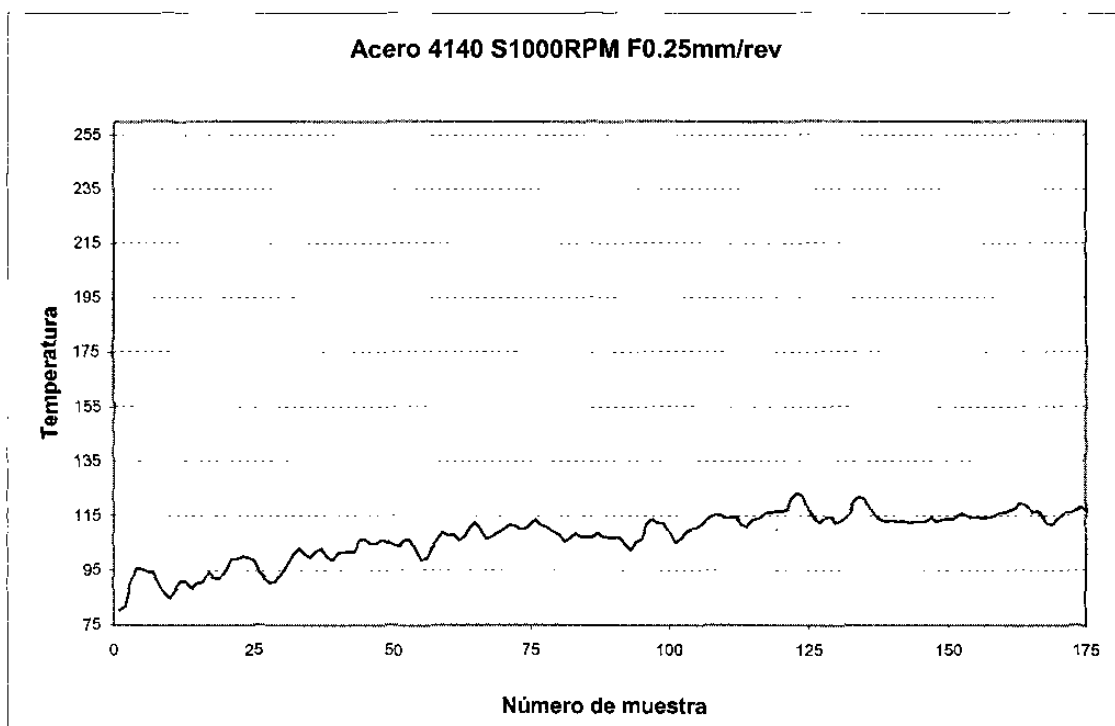


Figura 7.39 Resultados de temperatura para un avance de 0.25 mm/rev.

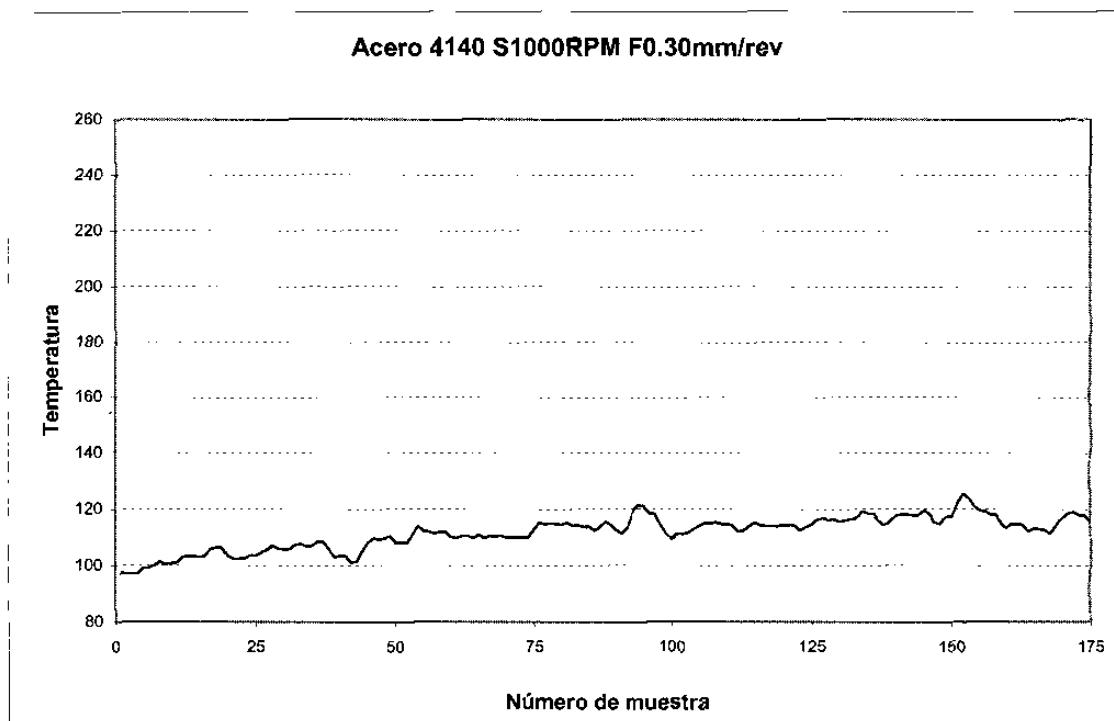


Figura 7.40 Resultados de temperatura para un avance de 0.30 mm/rev.

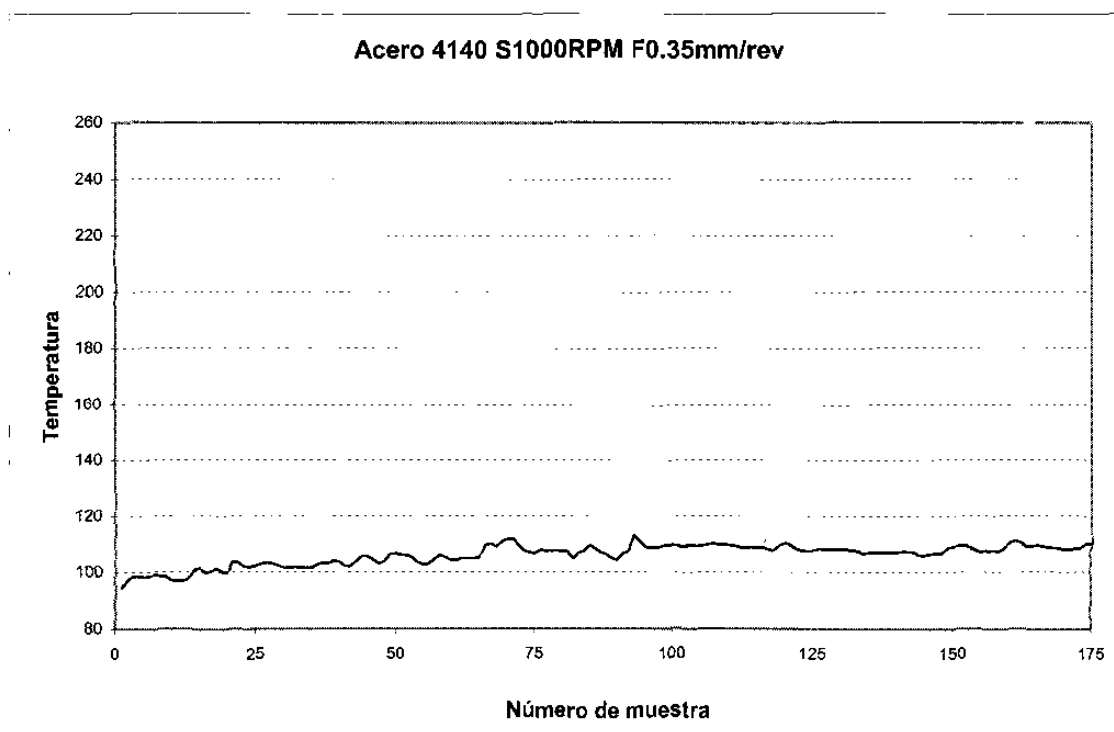


Figura 7.41 Resultados de temperatura para un avance de 0.35 mm/rev.

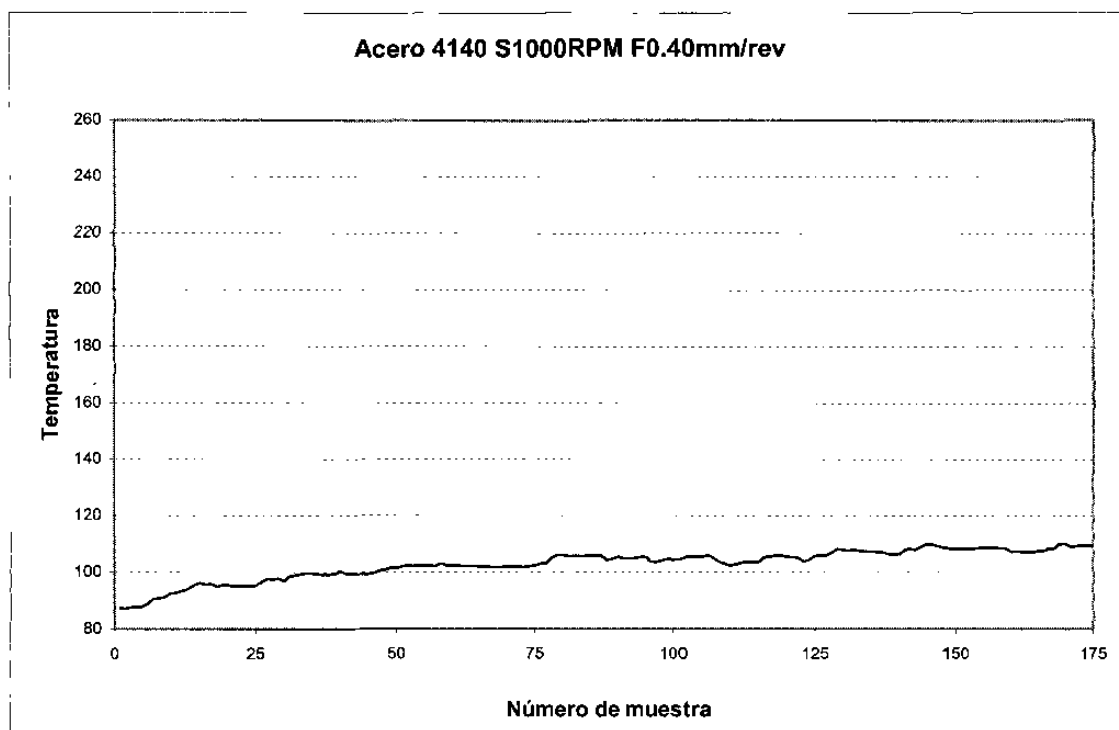


Figura 7.42 Resultados de temperatura para un avance de 0.40 mm/rev.

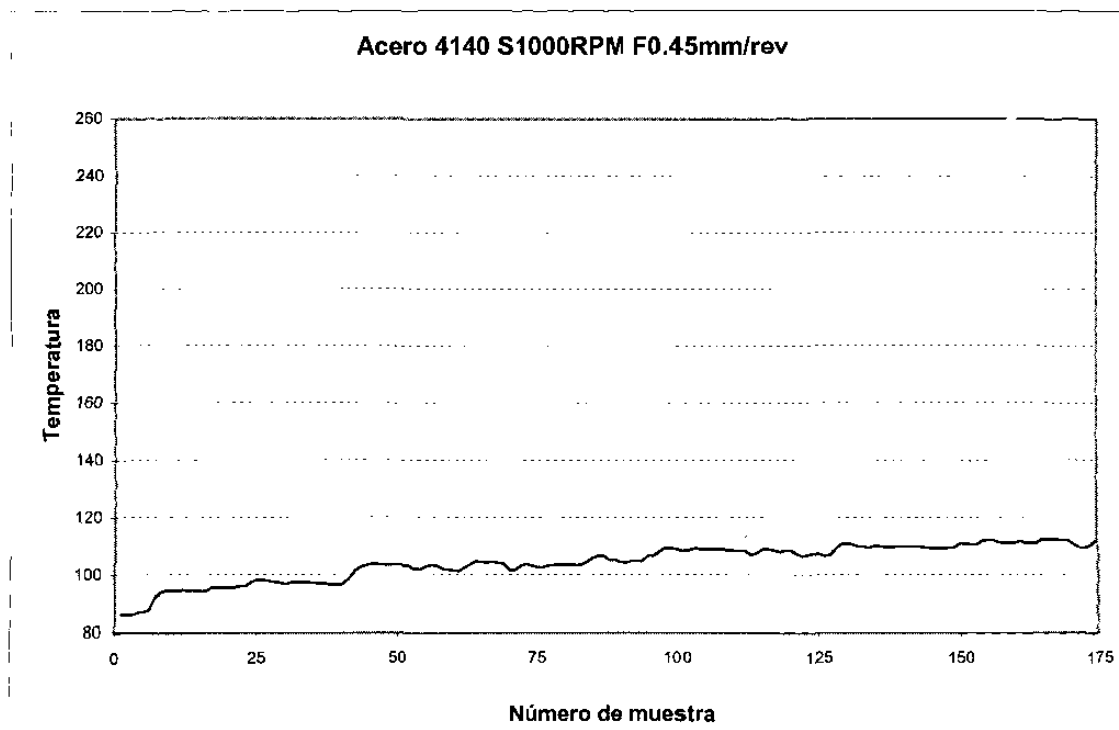


Figura 7.43 Resultados de temperatura para un avance de 0.45 mm/rev.

## 7.2 Discusión de los resultados de temperatura

Para el aluminio la temperatura avanza en línea recta desde 55 hasta 85°C, en cambio para el acero 1018 y para el 4140 la variación de temperatura es más marcada, y el comportamiento con respecto a la variación en las condiciones de corte es más marcada para la temperatura.

## 7.3 Resultados de la medición de rugosidad.

Los valores obtenidos en la medición de la rugosidad son mostrados a continuación. Primeramente se muestran los perfiles obtenidos para cada uno de los materiales con las diferentes combinaciones de velocidades de corte y avance, posteriormente se mostrarán los valores de rugosidad Ra para cada prueba.

### 7.3.1 Resultado de rugosidad en Aluminio 6061 T6 con una velocidad de giro del husillo de 1900 RPM

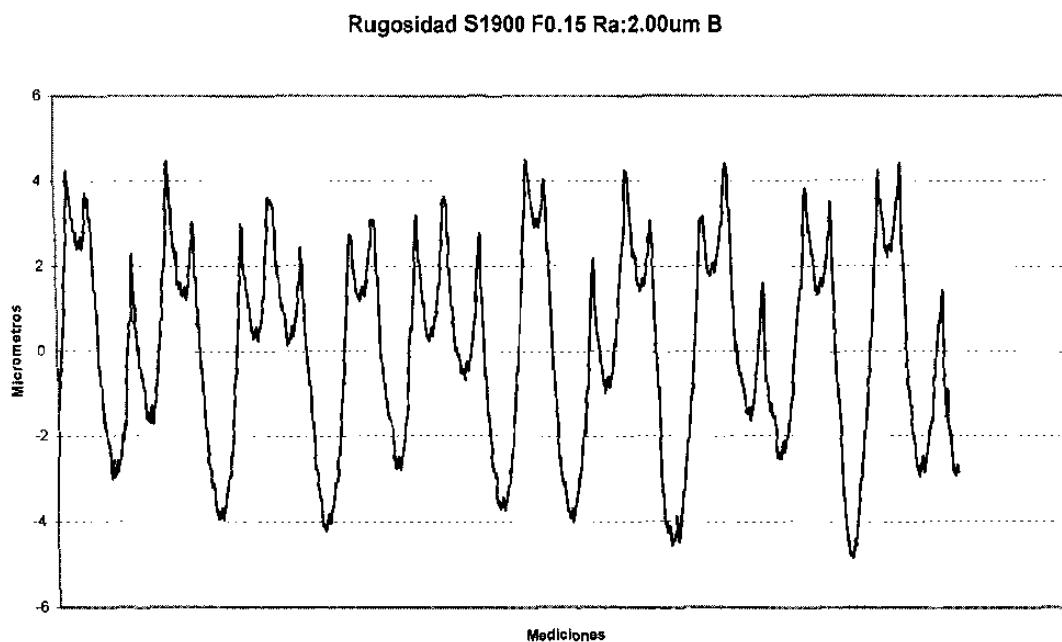


Figura 7.44 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.15mm/rev.



Rugosidad S1900 F0.20 Ra:2.32um B

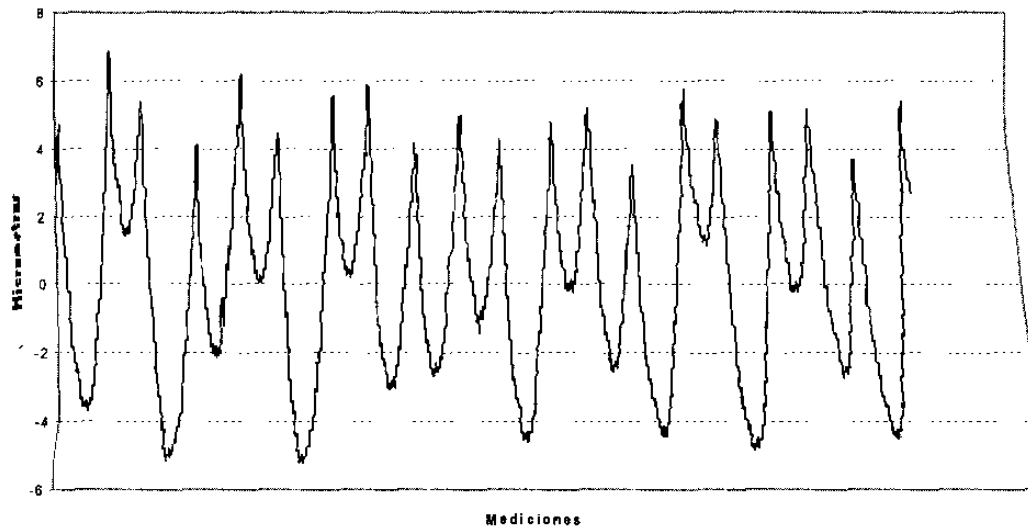


Figura 7.45 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.20 mm/rev.

Rugosidad S1900 F0.25 Ra:2.89um B

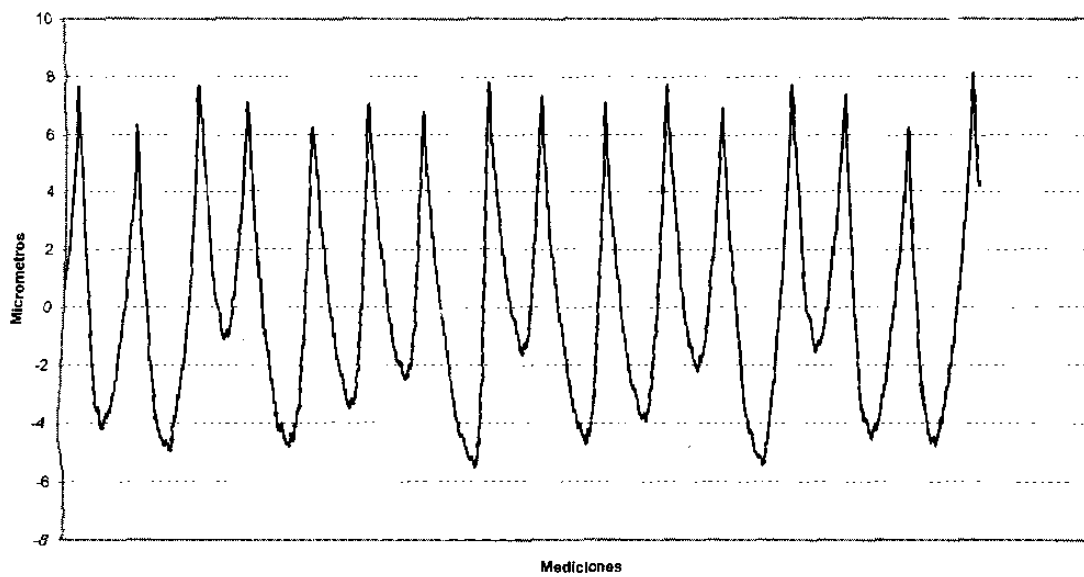


Figura 7.46 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.25 mm/rev.

Rugosidad S1900 F0.30 Ra:3.87um B

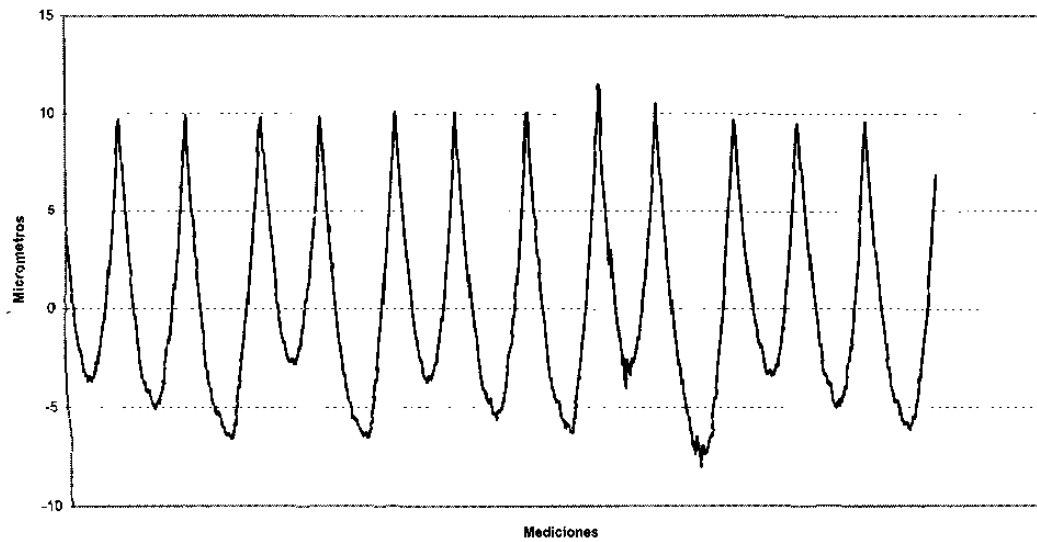


Figura 7.47 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.30 mm/rev.

Rugosidad S1900 F0.35 Ra:4.97um B

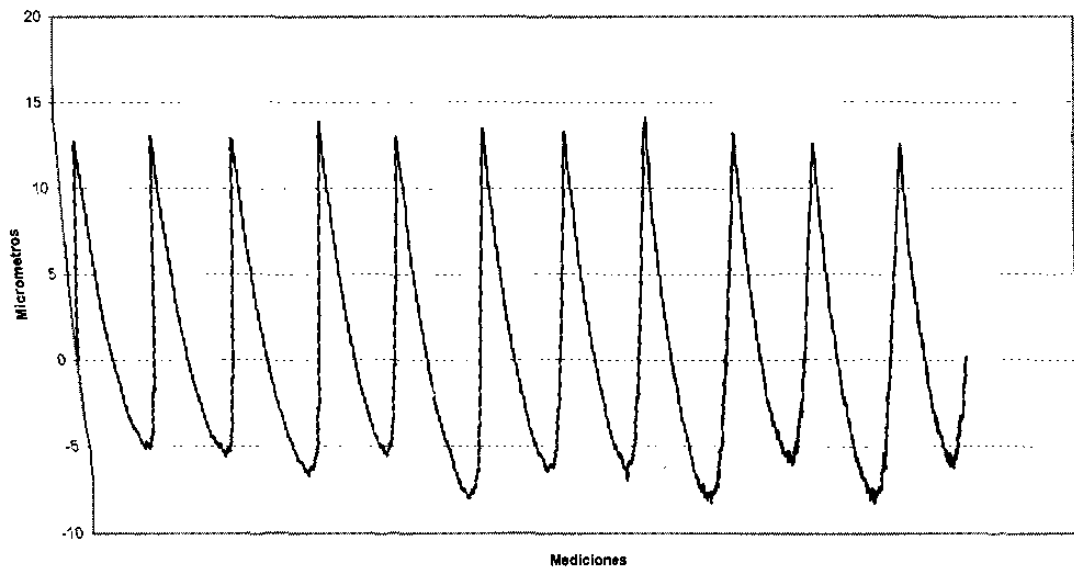


Figura 7.48 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.35 mm/rev.

Rugosidad S1900 F0.40 Ra:6.11um B

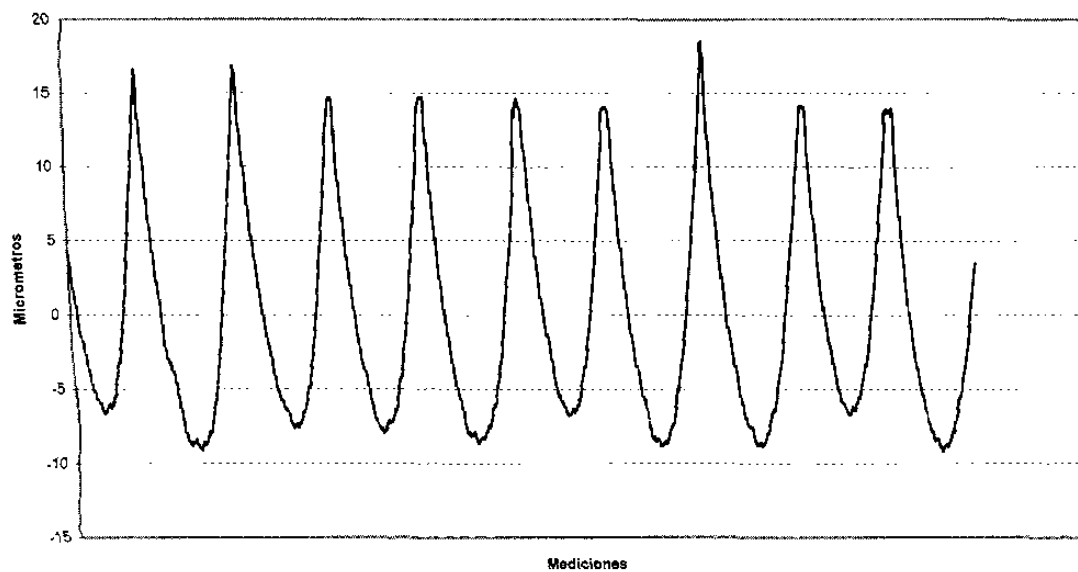


Figura 7.49 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.40 mm/rev.

Rugosidad S1900 F0.45 Ra:7.59um B

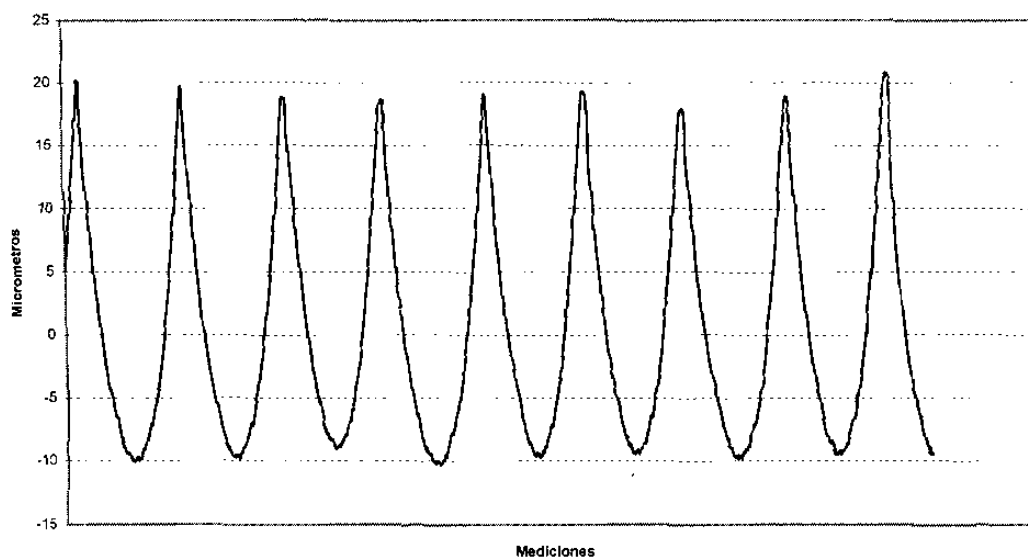


Figura 7.50 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.45 mm/rev.

### 7.3.2 Resultado de rugosidad en Aluminio 6061 T6 con una velocidad de giro del husillo de 2500 RPM

Rugosidad S2500 F0.15 Ra:1.80um B

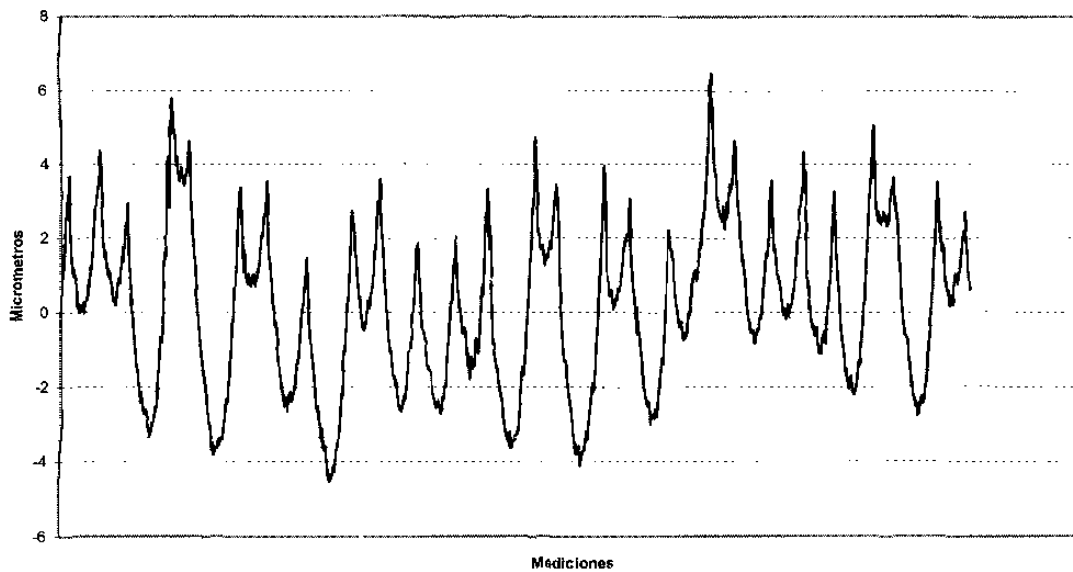


Figura 7.51 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.15mm/rev.

Rugosidad S2500 F0.20 Ra:2.35um B

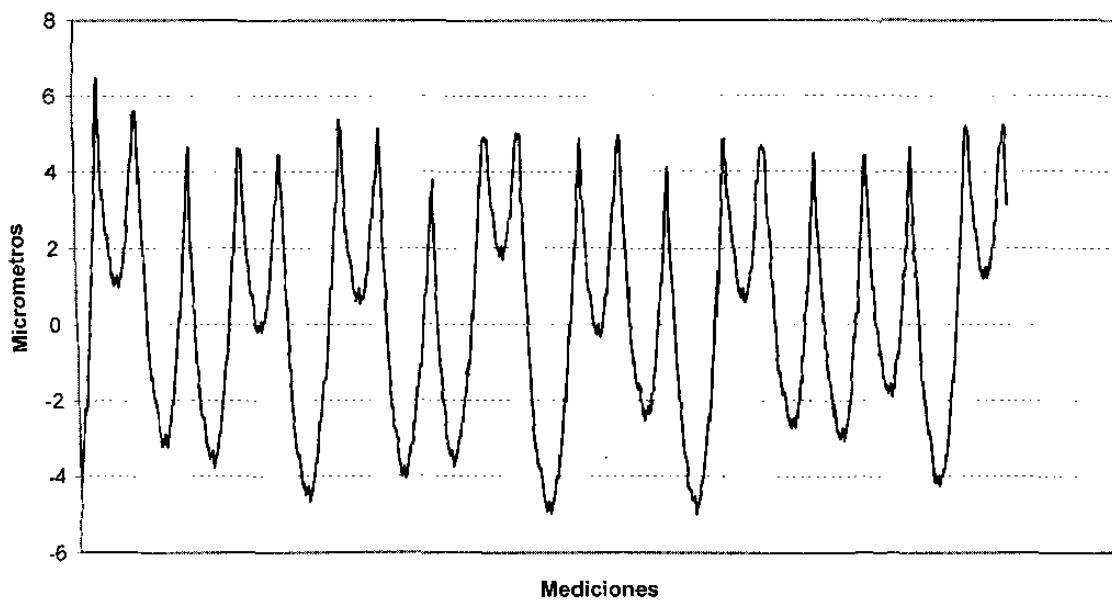


Figura 7.52 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.20 mm/rev.

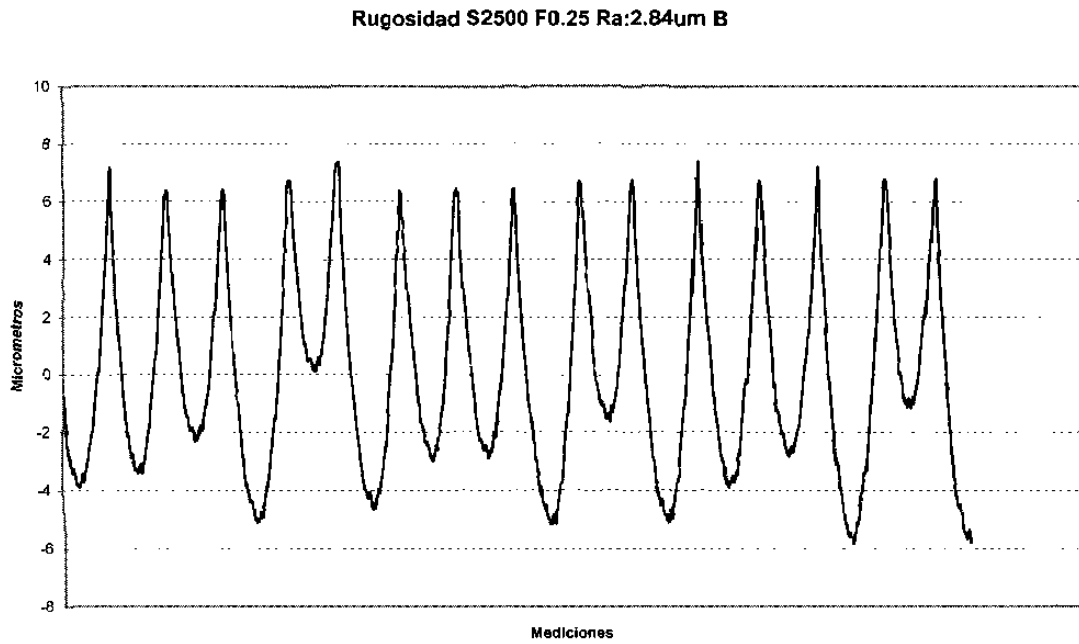


Figura 7.53 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.25 mm/rev.

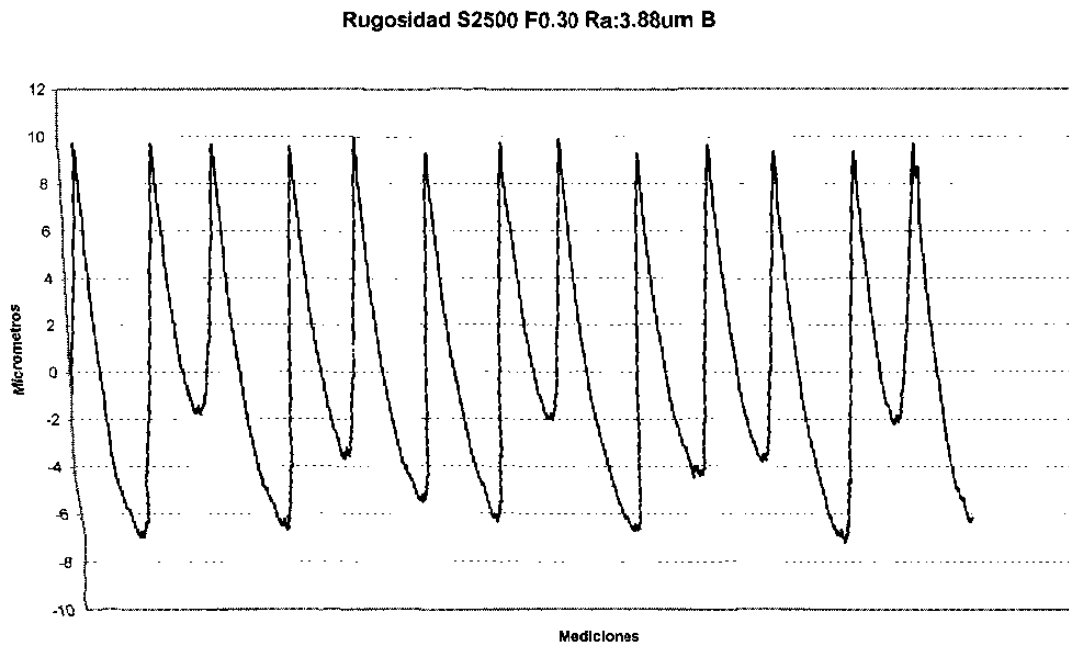


Figura 7.54 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.30 mm/rev.

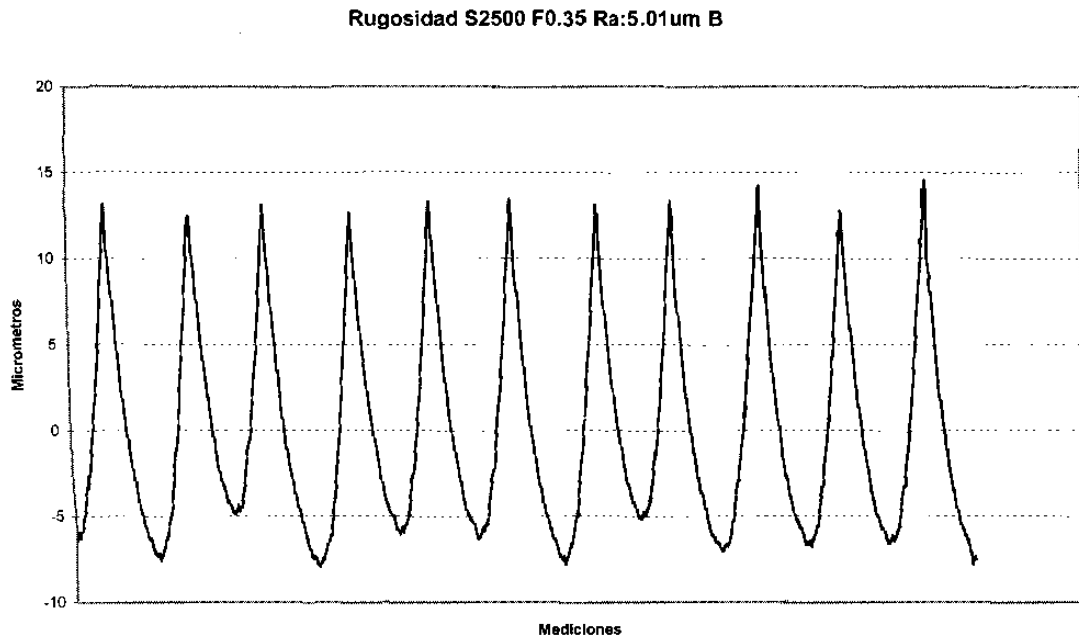


Figura 7.55 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.35 mm/rev.

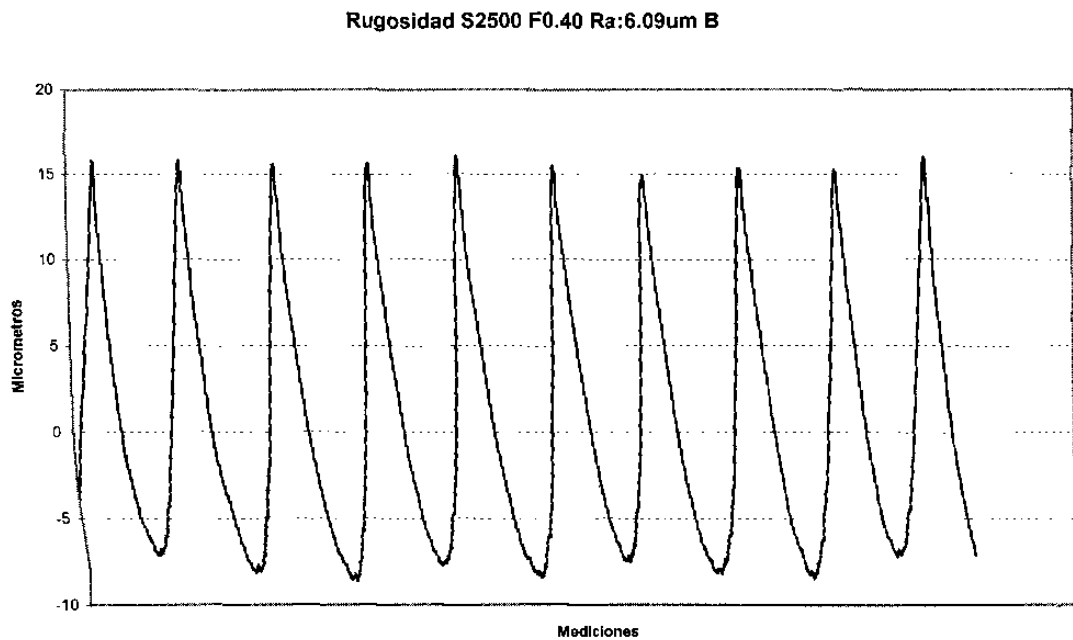


Figura 7.56 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.40 mm/rev.

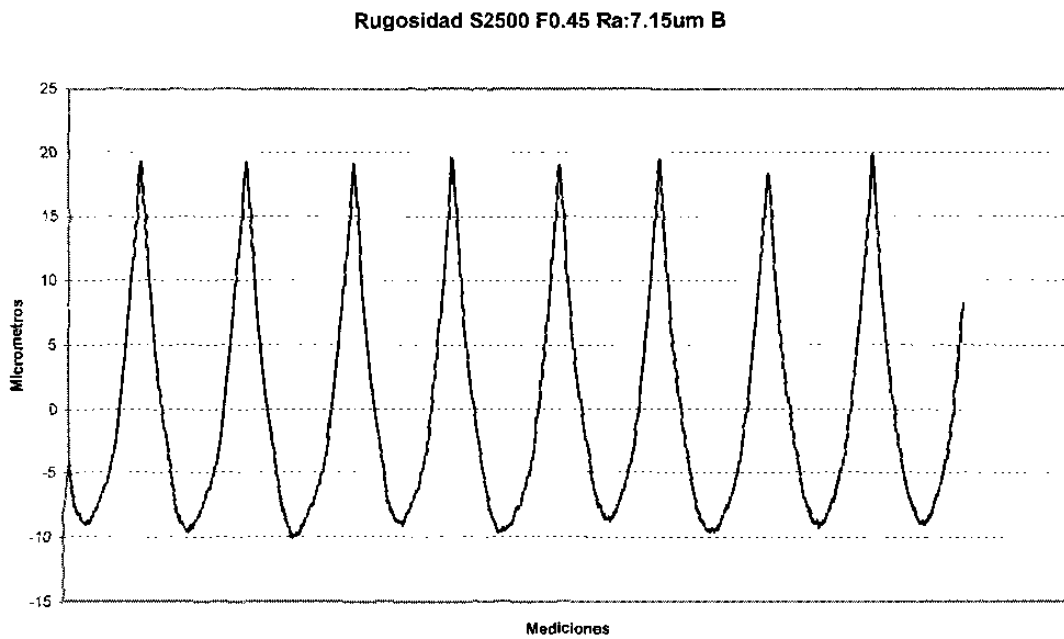


Figura 7.57 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.45 mm/rev.

### 7.3.3 Resultado de rugosidad en Acero 1018 con una velocidad de giro del husillo de 1400 RPM

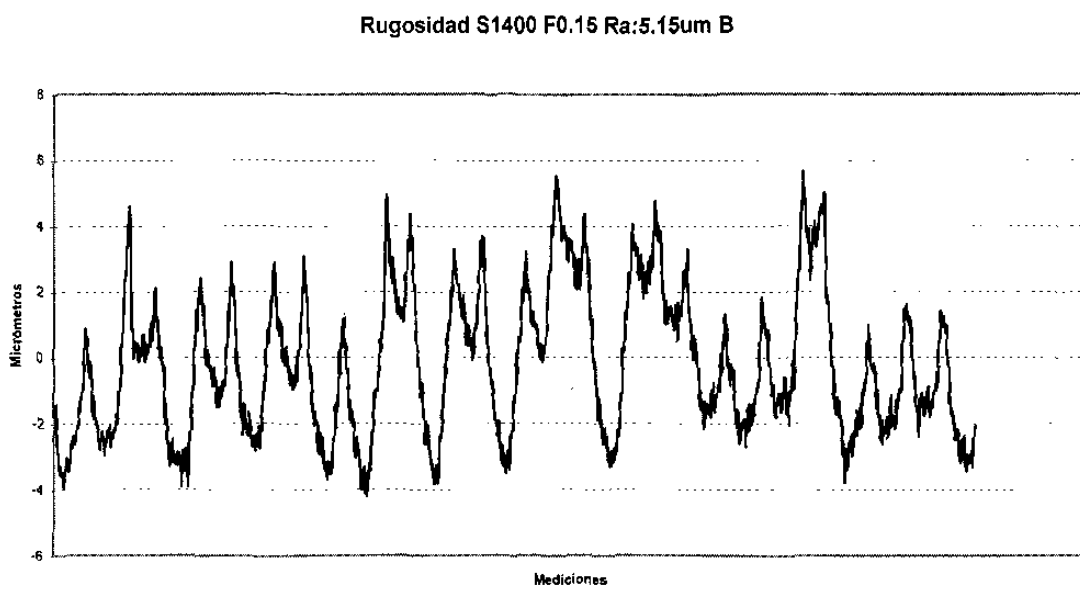


Figura 7.58 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.15mm/rev

Rugosidad S1400 F0.20 Ra:2.35um C

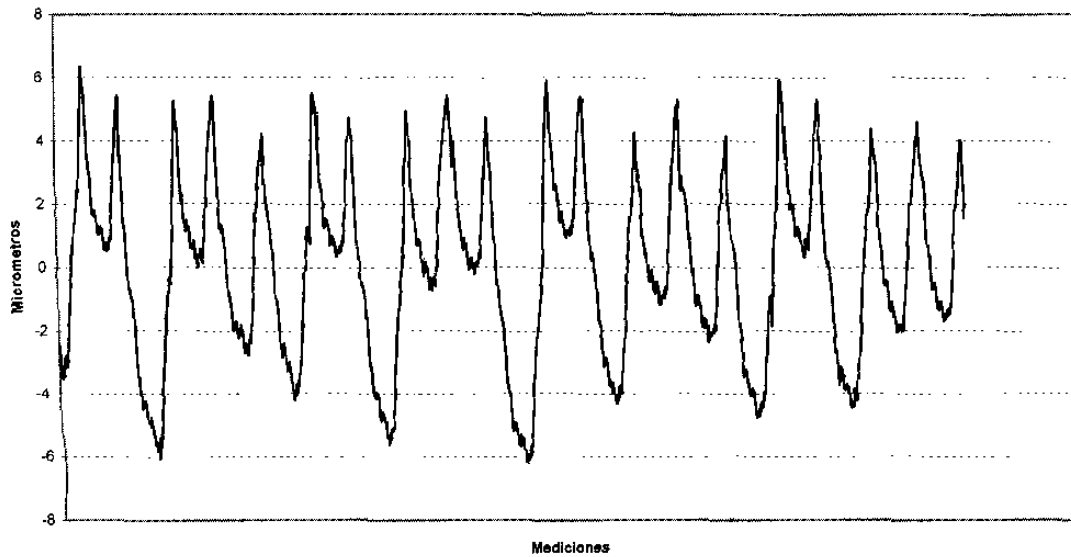


Figura 7.59 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.20 mm/rev.

Rugosidad S1400 F0.25 Ra:3.12um B

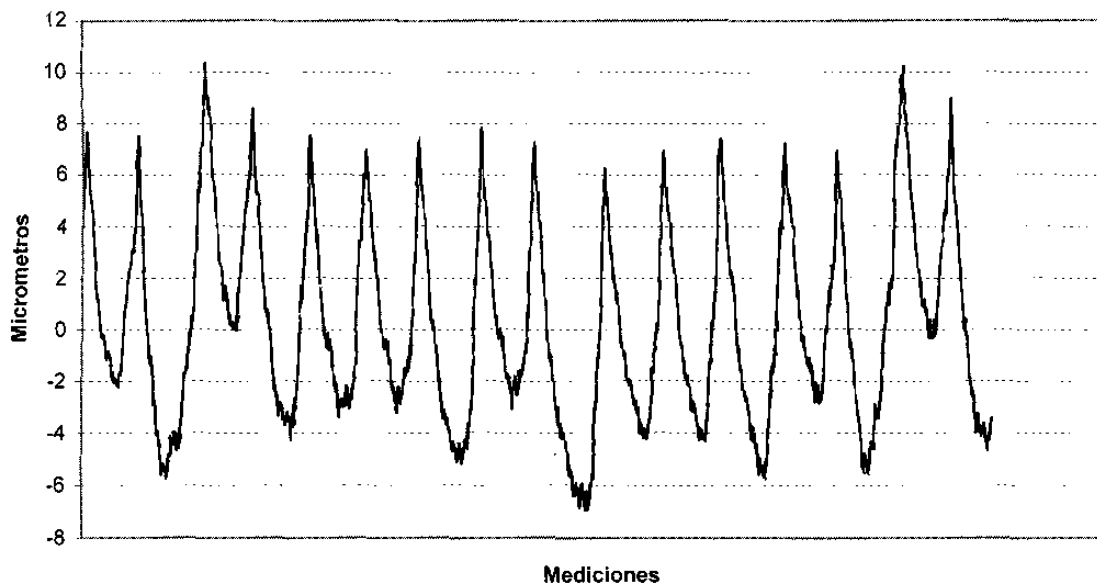


Figura 7.60 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.25 mm/rev.



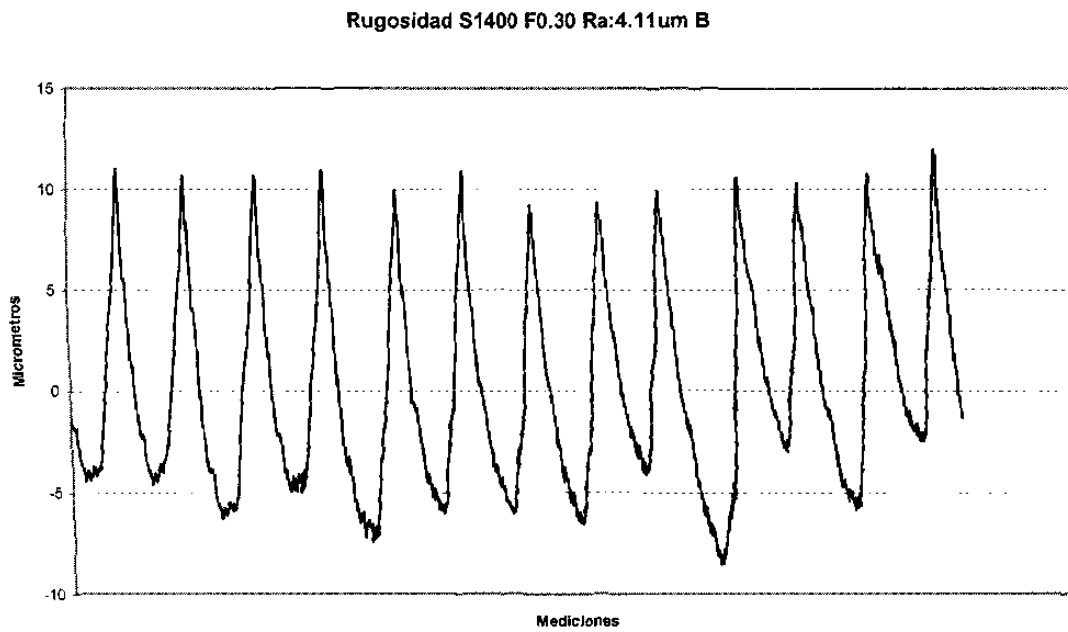


Figura 7.61 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.30 mm/rev.

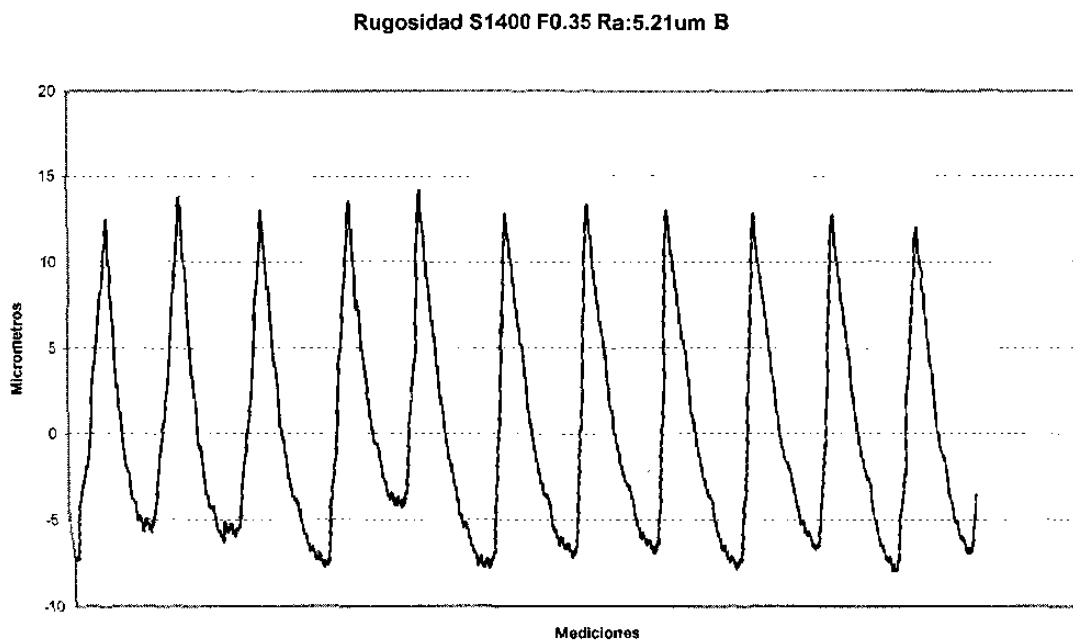


Figura 7.62 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.35 mm/rev.

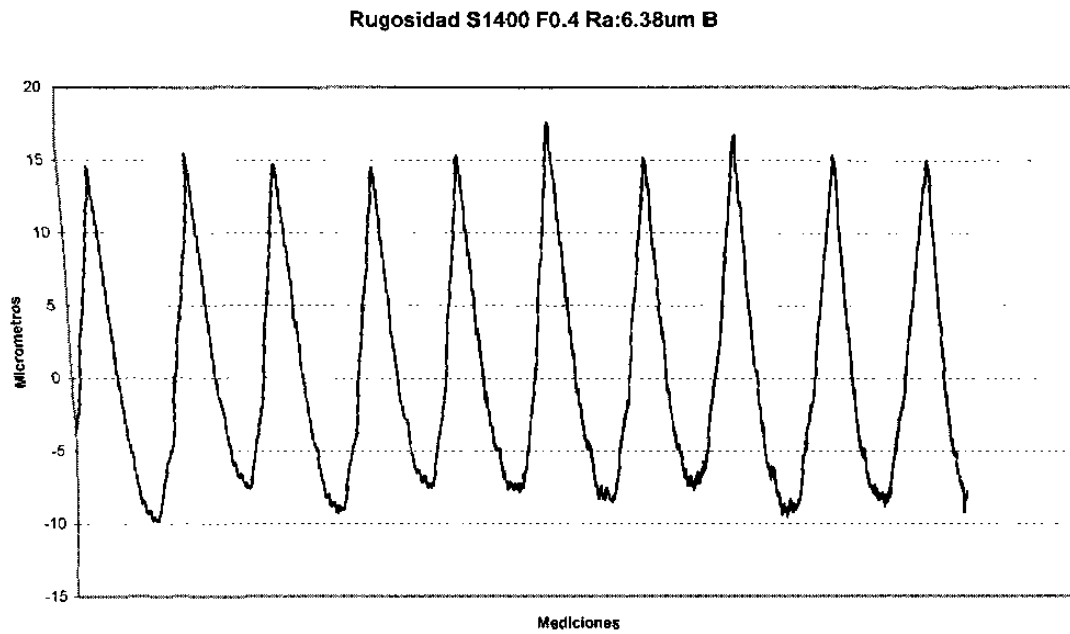


Figura 7.63 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.40 mm/rev.

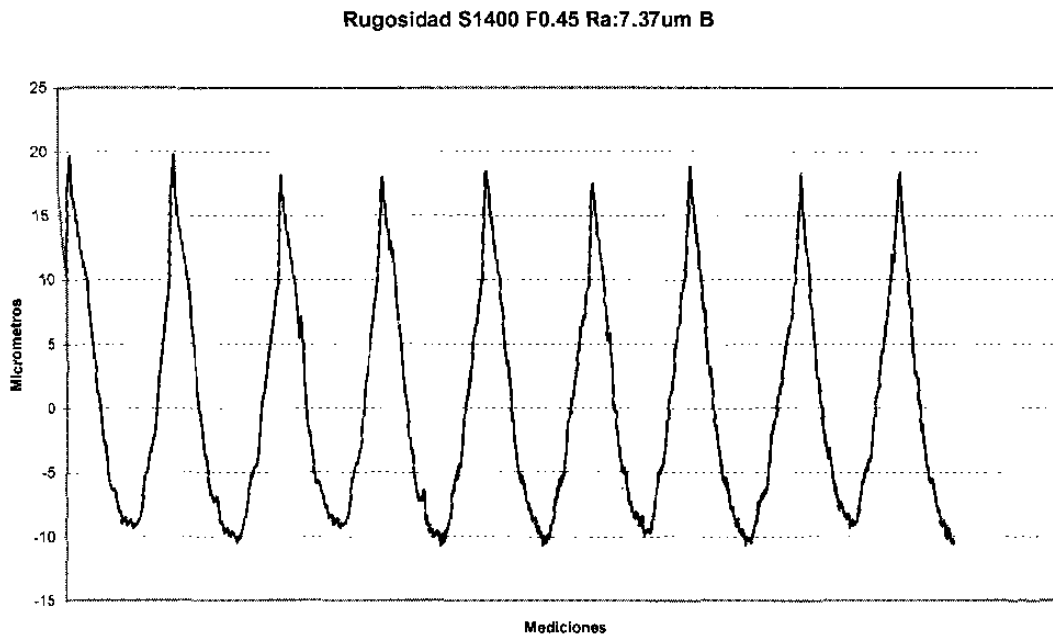


Figura 7.64 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.45 mm/rev.

### 7.3.4 Resultado de rugosidad en Acero 1018 con una velocidad de giro del husillo de 1600 RPM

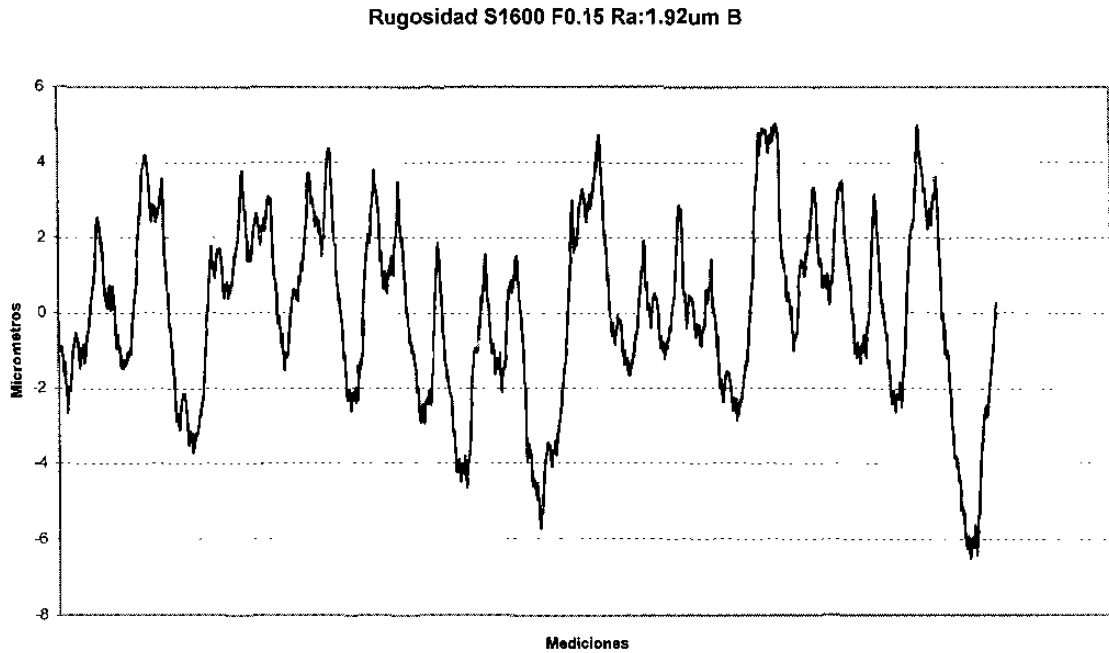


Figura 7.65 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.15mm/rev

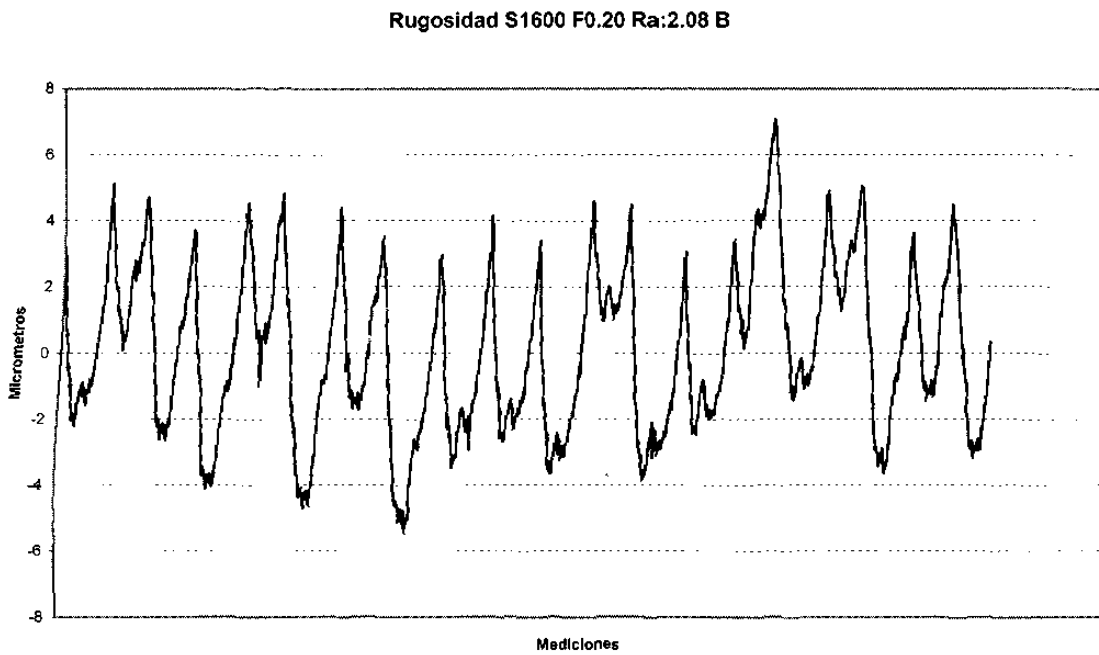


Figura 7.66 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.20 mm/rev

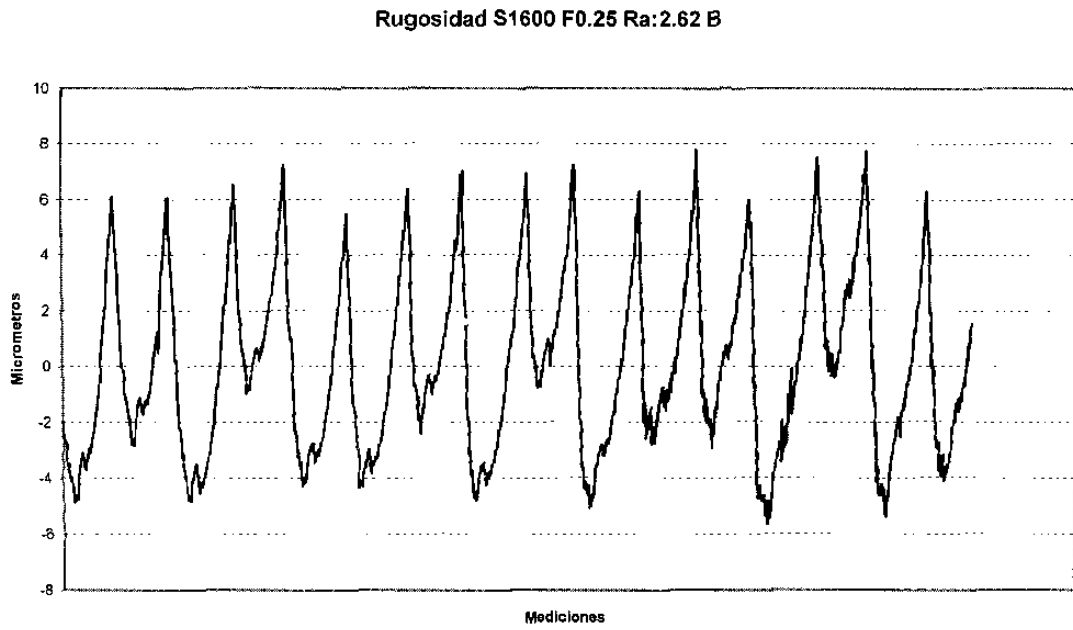


Figura 7.67 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.25 mm/rev.

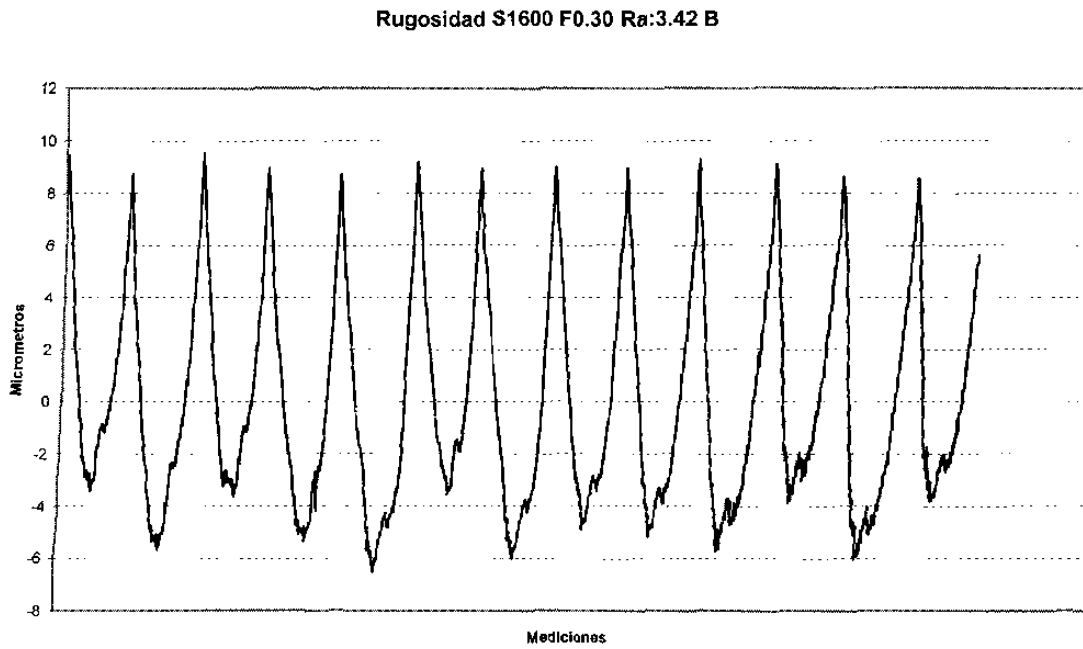


Figura 7.68 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.30 mm/rev.

Rugosidad S1600 F0.35 Ra:4.42um B

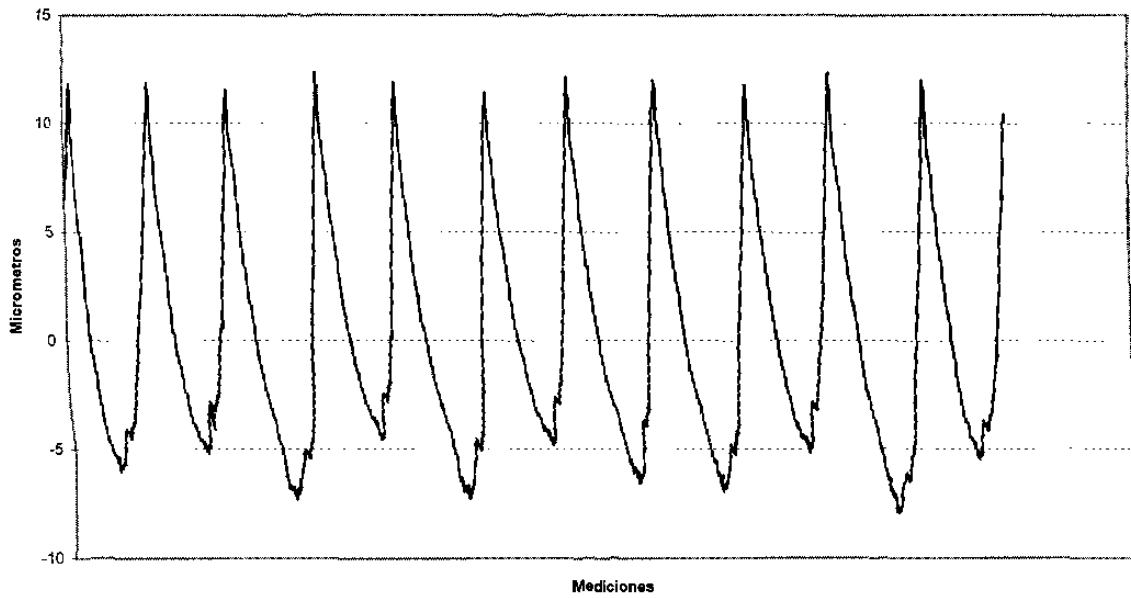


Figura 7.69 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.35 mm/rev.

Rugosidad S1600 F0.40 Ra:5.66 B

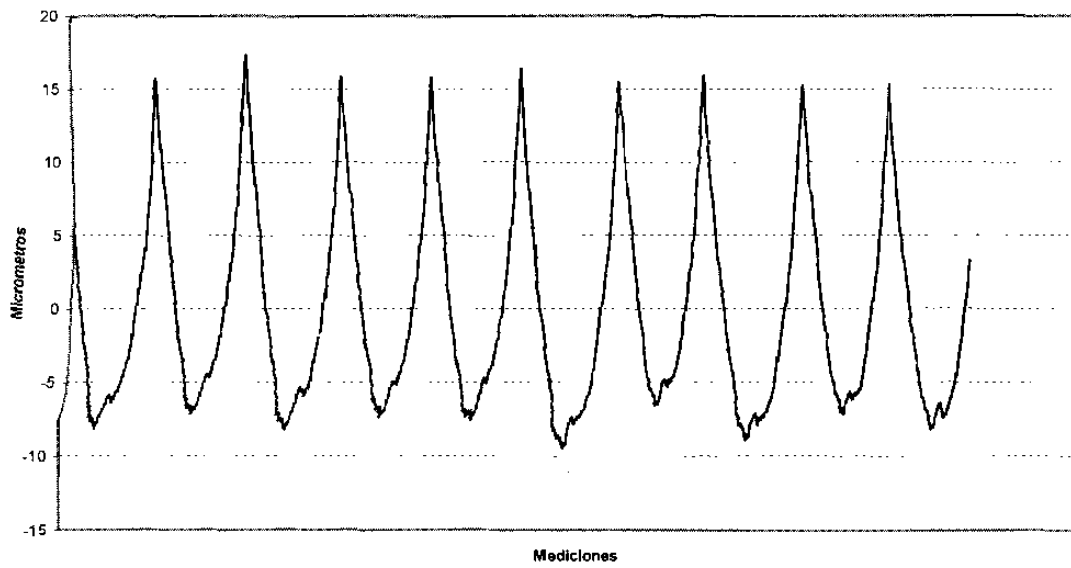


Figura 7.70 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.40 mm/rev.

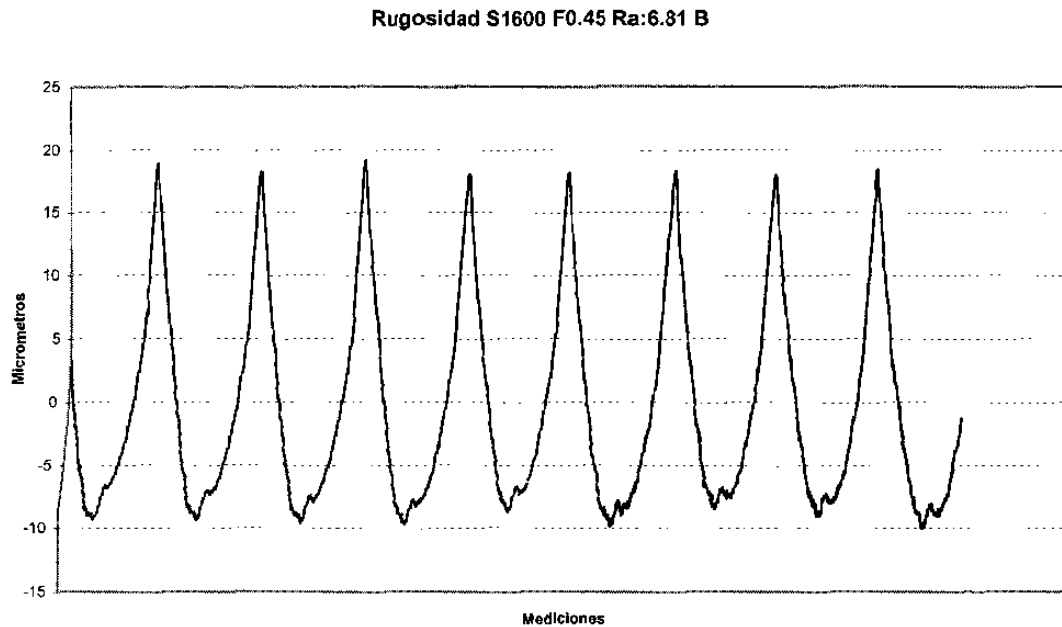


Figura 7.71 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.45 mm/rev.

### 7.3.5 Resultado de rugosidad en Acero 4140 Recocido y Estirado en Frío con una velocidad de giro del husillo de 720 RPM

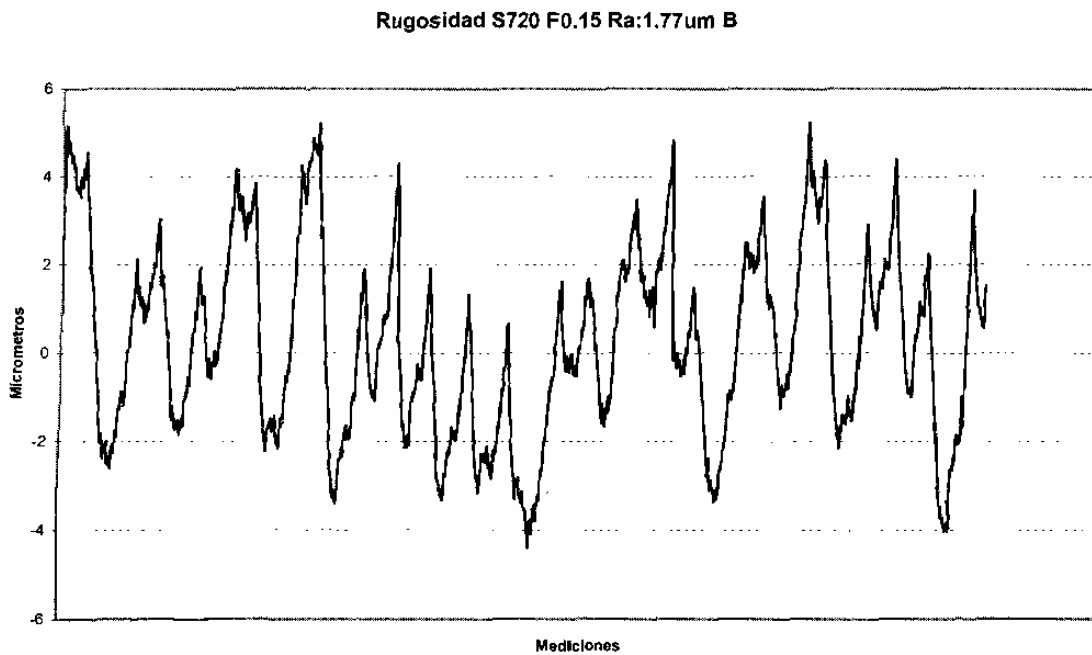


Figura 7.72 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.15mm/rev

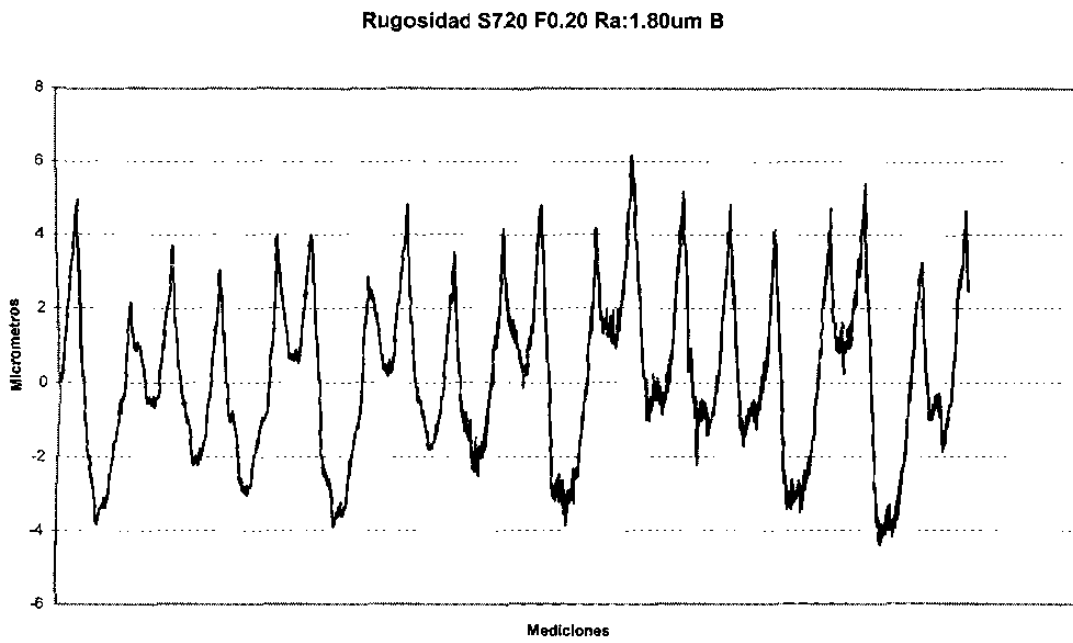


Figura 7.73 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.20 mm/rev

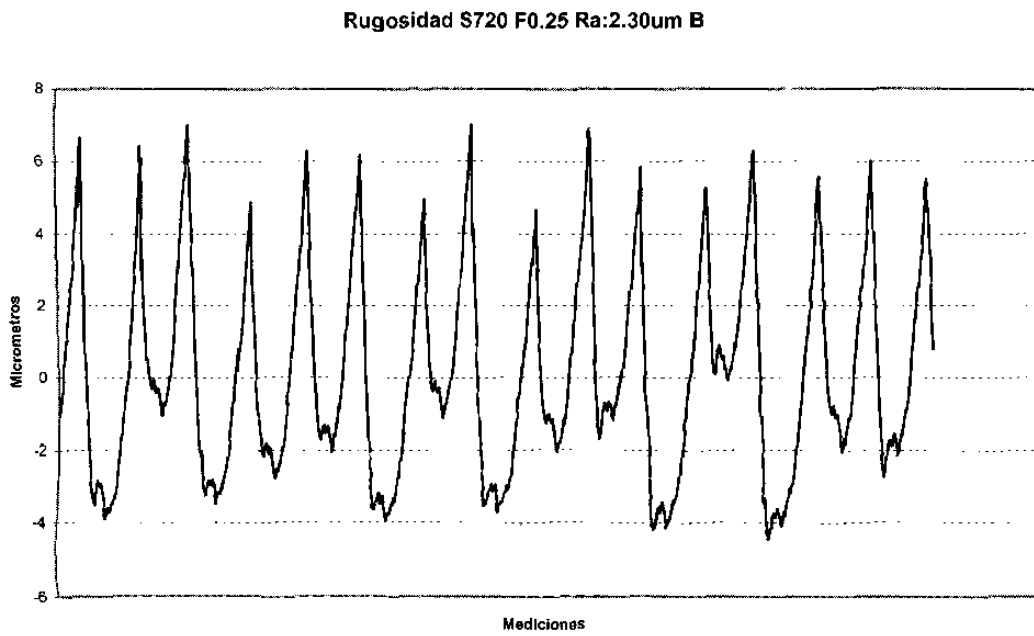


Figura 7.74 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.25 mm/rev.

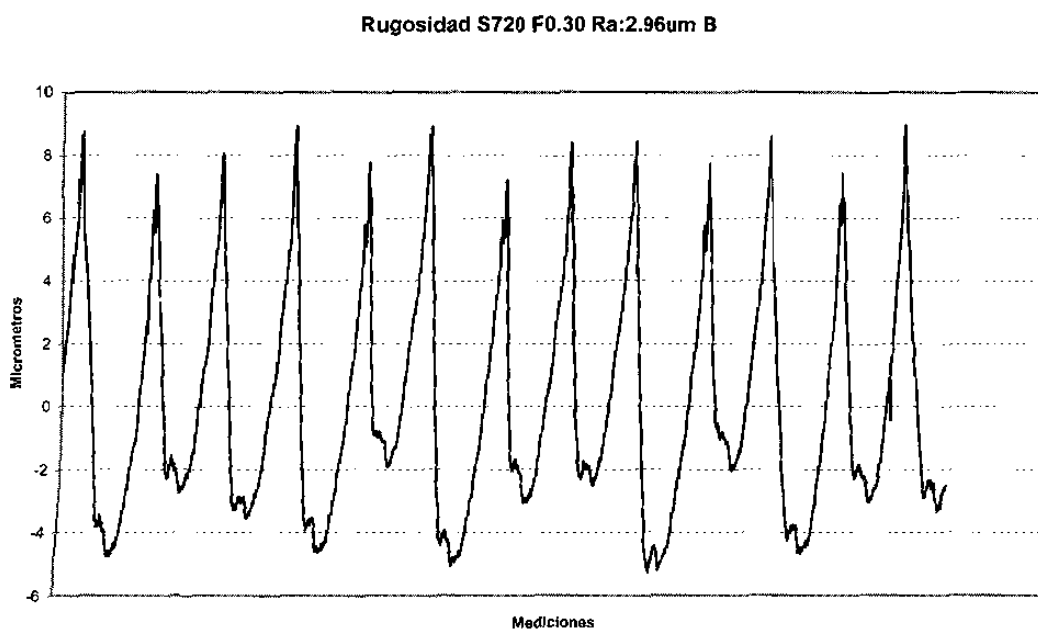


Figura 7.75 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.30 mm/rev.

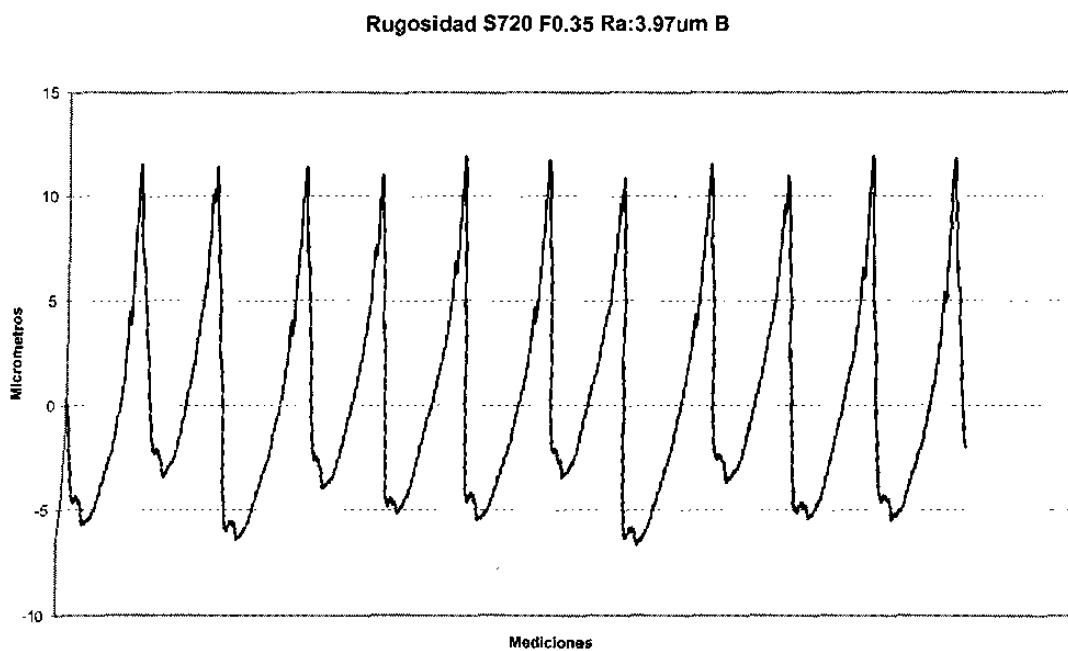


Figura 7.76 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.35 mm/rev.



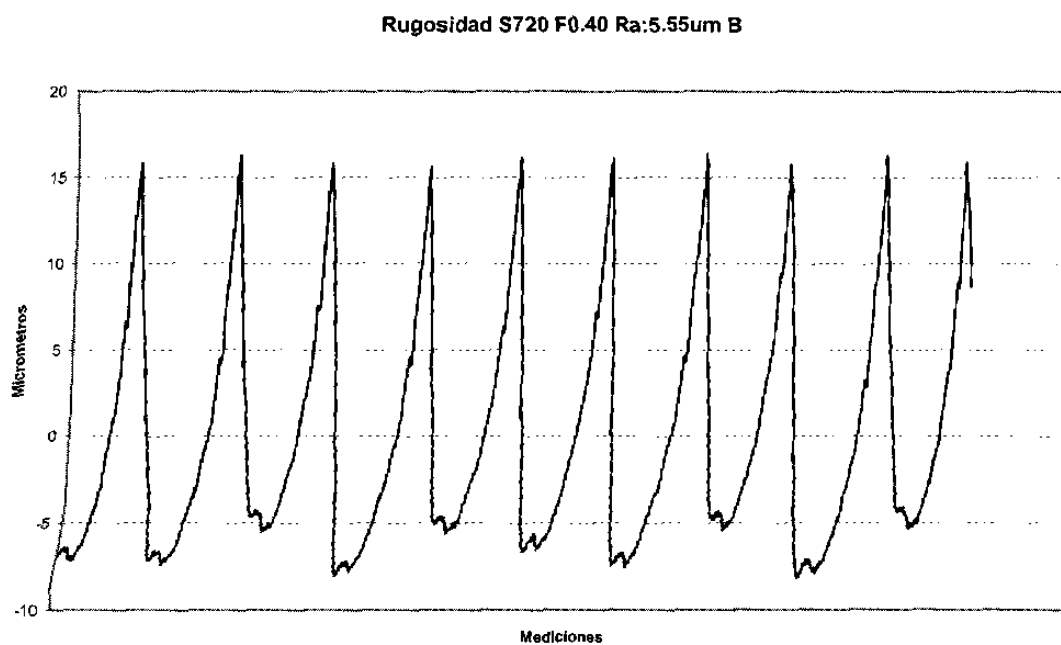


Figura 7.77 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.40 mm/rev.

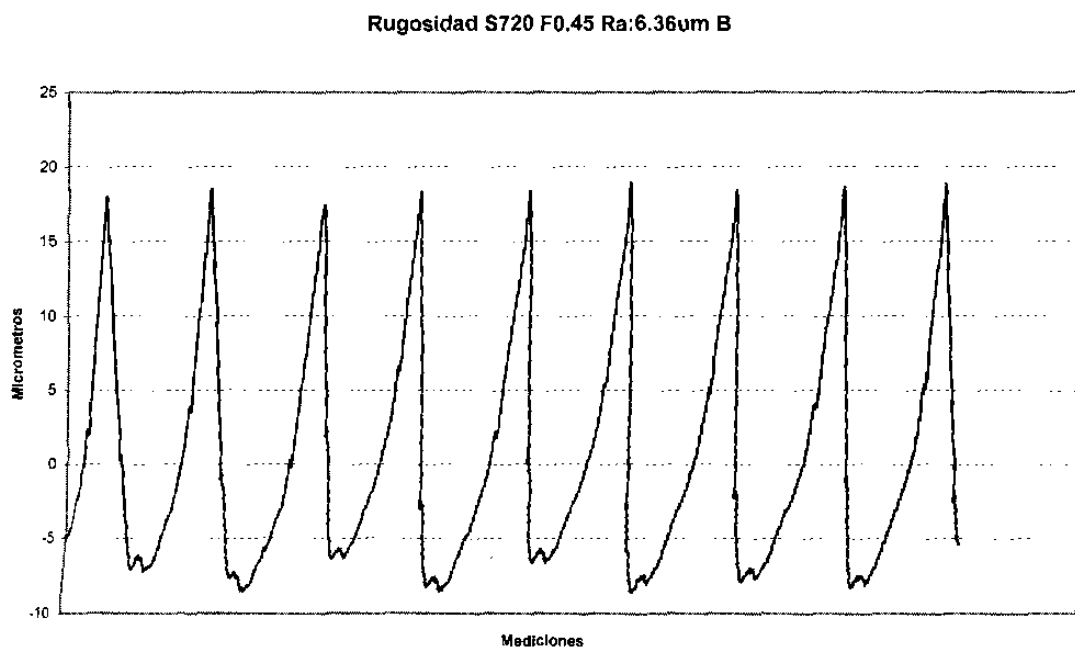


Figura 7.78 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.45 mm/rev.

### 7.3.6 Resultado de rugosidad en Acero 4140 Recocido y Estirado en Frío con una velocidad de giro del husillo de 1000 RPM

Rugosidad S1000 F0.15 Ra:1.74um B

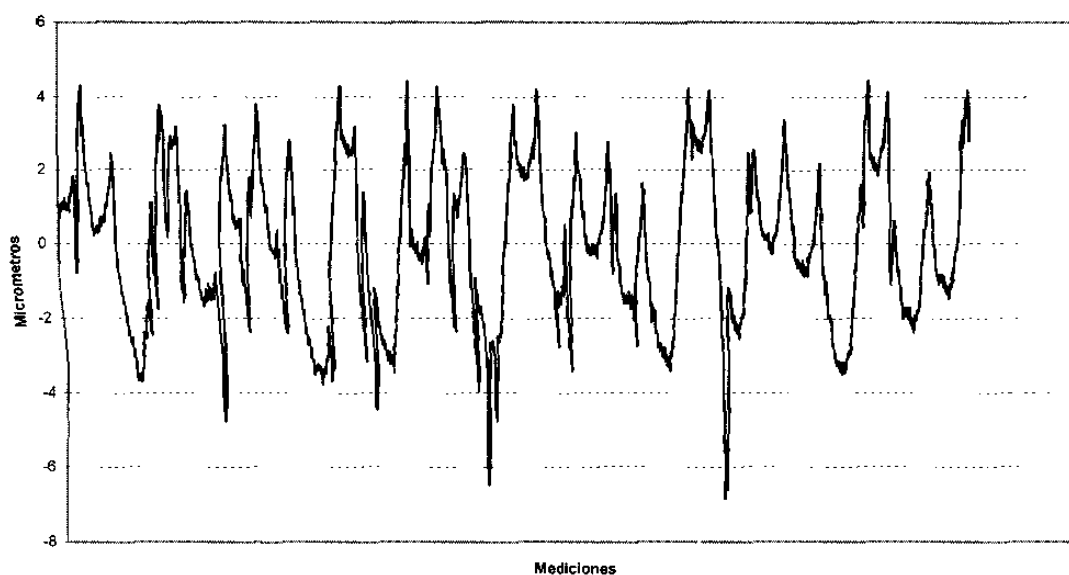


Figura 7.79 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.15mm/rev

Rugosidad S1000 F0.20 Ra:2.34um B

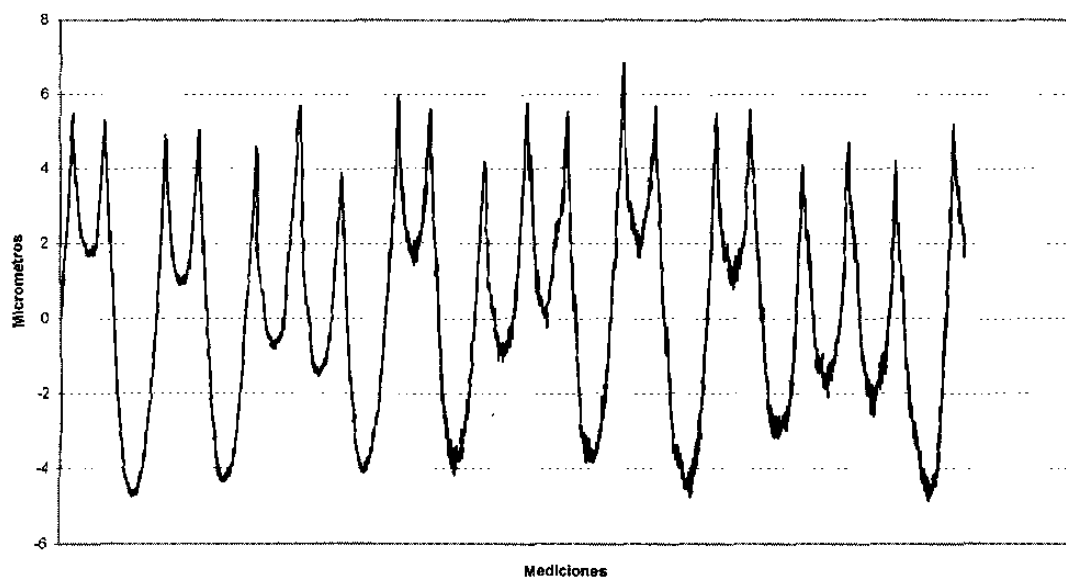


Figura 7.80 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.20 mm/rev

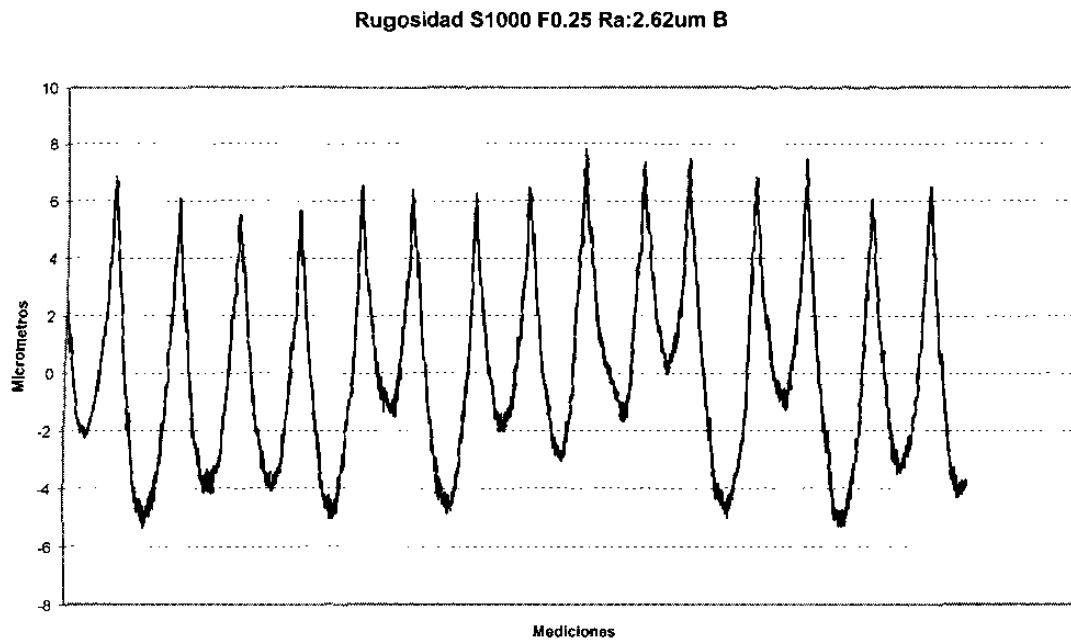


Figura 7.81 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.25 mm/rev.

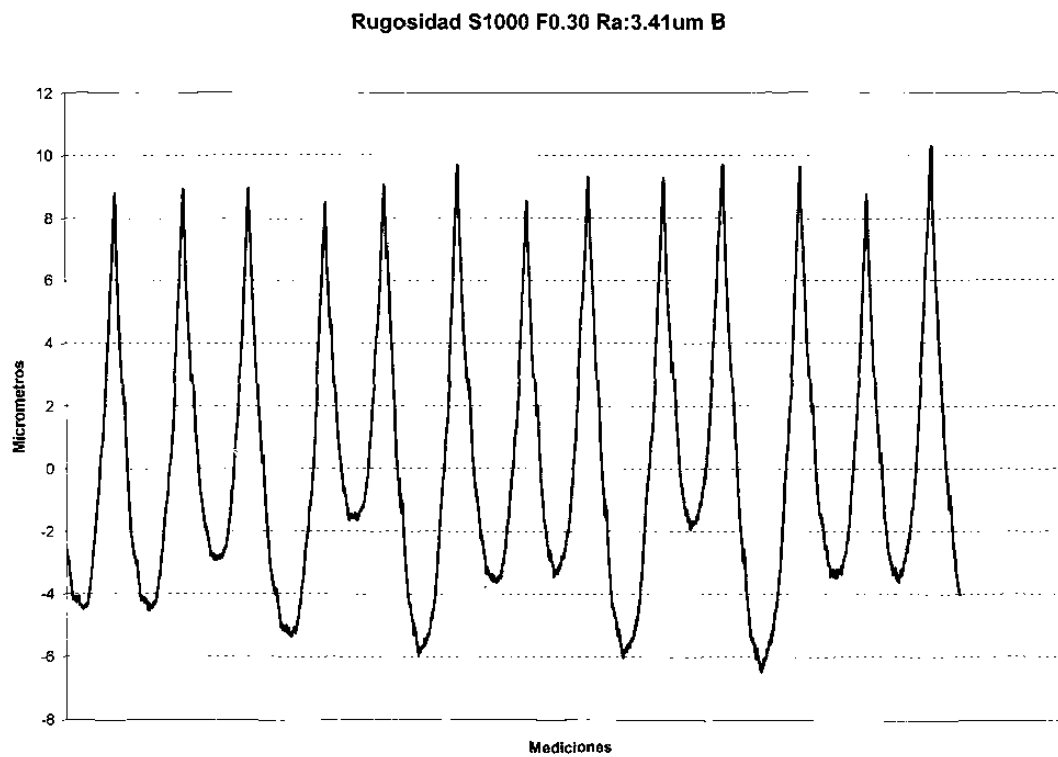


Figura 7.82 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.30 mm/rev.

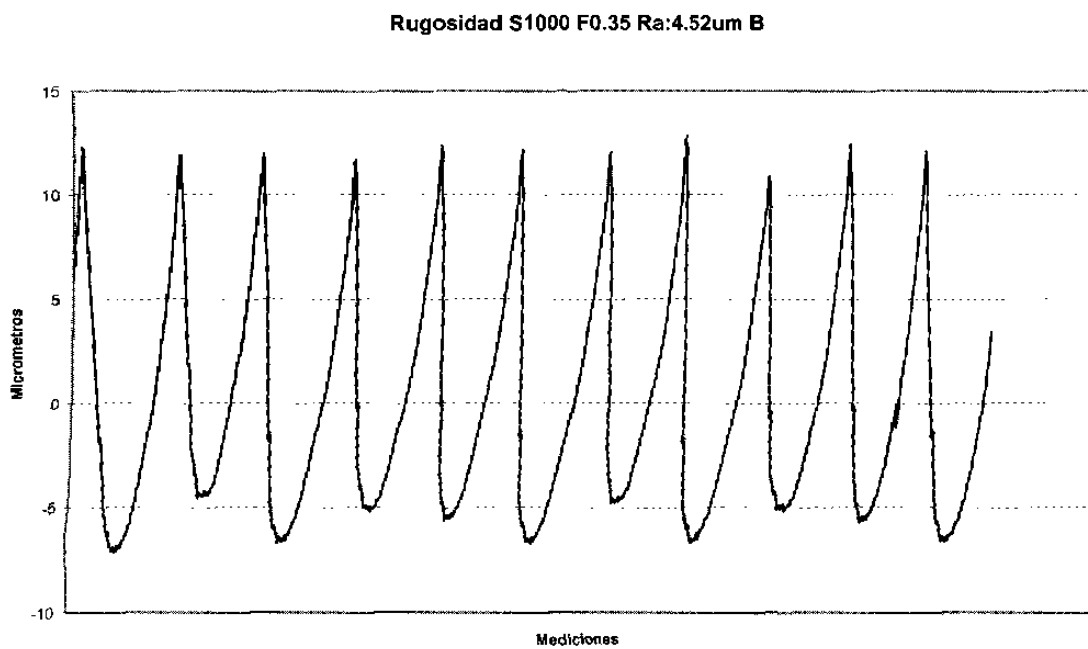


Figura 7.83 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.35 mm/rev.

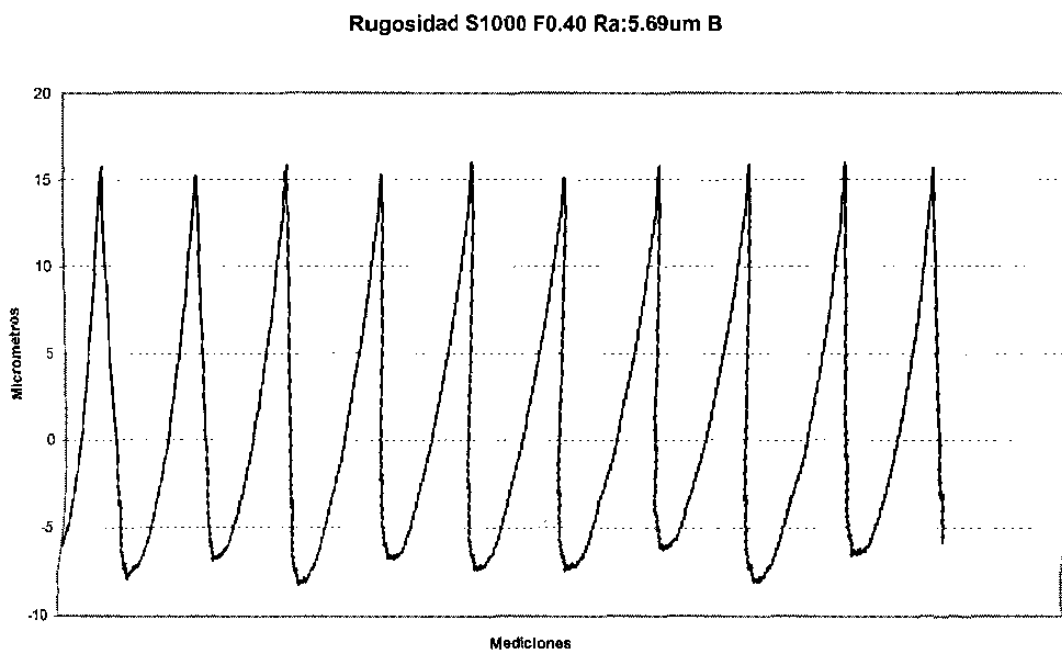


Figura 7.84 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.40 mm/rev.

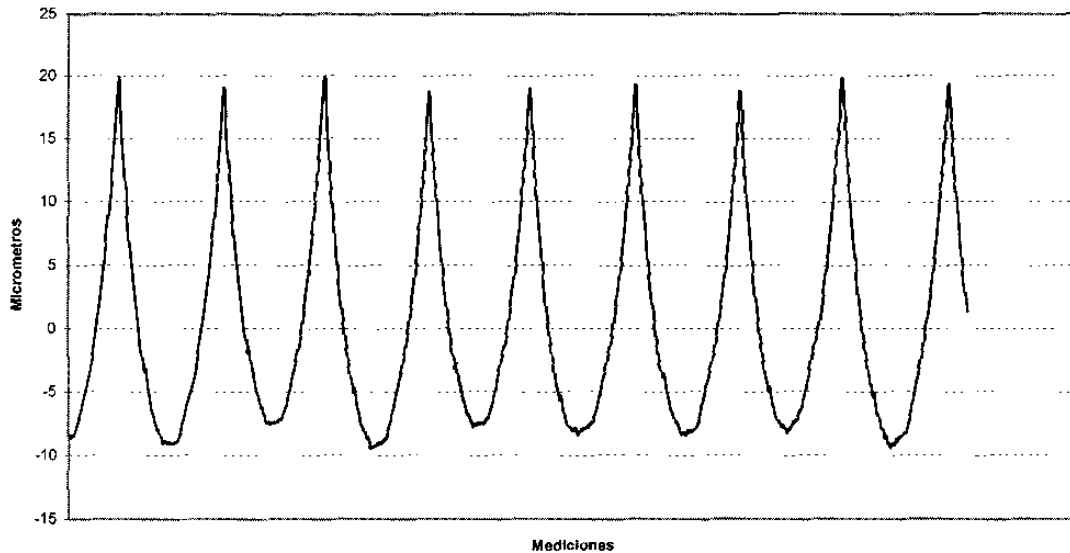
**Rugosidad S1000 F0.45 Ra:6.79 B**

Figura 7.85 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.45 mm/rev.

## 7.4 Discusión de los resultados de rugosidad

Como podemos observar en las gráficas anteriores, la rugosidad es el vivo retrato del paso de la herramienta sobre la pieza, esta se mantiene constante para cada velocidad y avance, esto es que las condiciones de corte son muy importantes para determinar la calidad superficial que se va a tener en la pieza.

# CAPÍTULO 8

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1 Conclusiones

Analizando las figuras 8.1 y 8.2 resultantes en el aluminio se puede observar que para avances pequeños como 0.15 mm/rev., la temperatura es más elevada que en avances (F) un poco mayores como 0.20 y 0.25 pero si el avance sigue aumentando la temperatura lo hace también, hasta llegar a un máximo y de ahí comienza a bajar nuevamente. El avance influye en la temperatura, pero la velocidad de corte es más impactante en ella, ya que si se observa las figuras 8.1 y 8.2 a la vez y se compara, la temperatura es más elevada cuando cambia la velocidad de corte a cuando se cambia el avance. En cambio en la rugosidad se observa es directamente proporcional al avance ya que como aumenta el avance aumenta la rugosidad, pero no es tan influenciada con la velocidad de corte ya que al incrementar la velocidad de corte es muy poca la variación que se presenta en la rugosidad.

En conclusión para el aluminio las condiciones de corte óptimas en cuanto a rugosidad y temperatura son un avance de 0.20mm/rev., la velocidad de corte no es muy crítica por lo que se recomendaría utilizar la más elevada de acuerdo a la capacidad de la máquina, para este estudio se recomienda la de 2500 RPM.

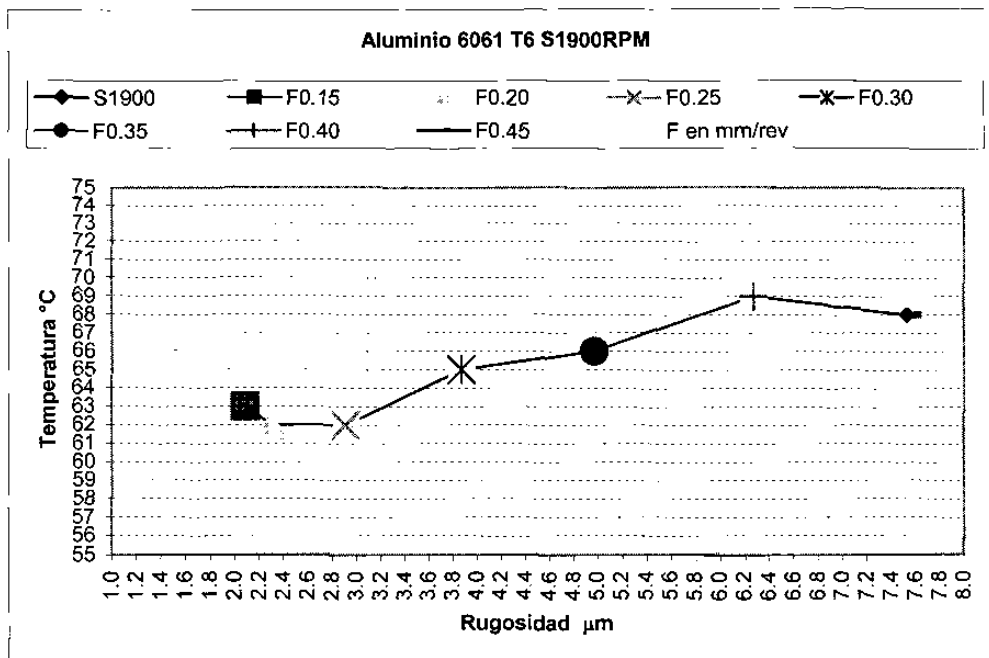


Figura 8.1 Relación de temperatura y rugosidad en cada avance, para el aluminio 6061T6 a una velocidad de corte de 1900 RPM

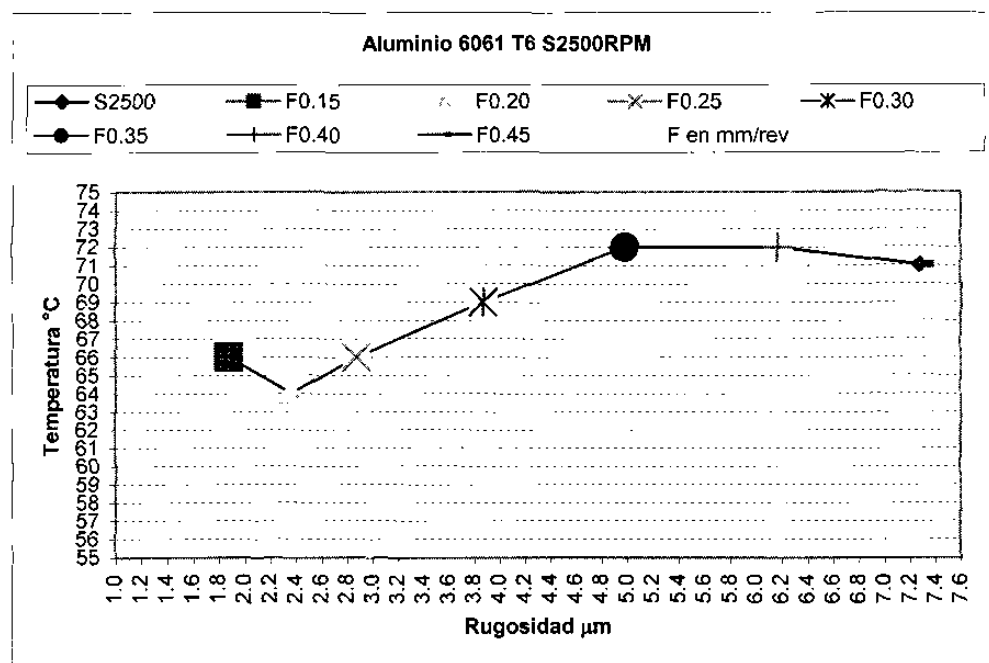


Figura 8.2 Relación de temperatura y rugosidad en cada avance, para el aluminio 6061T6 a una velocidad de corte de 2500 RPM

Analizando las figuras 8.3 y 8.4 resultantes en el acero 1018 se puede observar que para avances (F) pequeños como 0.15 y 0.20 mm/rev., la temperatura es más elevada cuando se tiene una velocidad de corte menor que en avances (F) un poco mayores

como 0.25, 0.30 y 0.35 pero si el avance sigue aumentando la temperatura lo hace también, además para velocidad de corte mayor como es 1600 RPM la temperatura se comporta de manera totalmente diferente en avances pequeños, ya que no se observa tan elevada como en el caso anterior. El avance influye en la temperatura, pero la velocidad de corte es más impactante en ella en avances pequeños, pero hablando de avances mayores no afecta significativamente, lo cual se puede comprobar al observar las figuras 8.3 y 8.4 a la vez y compararlas. En cambio la rugosidad se puede observar que es directamente proporcional al avance ya que al aumentar aumenta la rugosidad, pero también está influenciada con la velocidad de corte ya que al incrementar la velocidad la variación en la rugosidad disminuye.

En conclusión para el acero 1018 las condiciones de corte óptimas en cuanto a rugosidad y temperatura son un avance de 0.25mm/rev., la velocidad de corte según los estudios realizados se observó que es óptima entre más elevada, ya que el acabado superficial es mejor, aunque en la temperatura no influye, para este estudio la velocidad de corte es de 1600 RPM. En conclusión lo óptimo para el acero 1018 es aumentar la velocidad de corte como primera instancia y luego el avance.

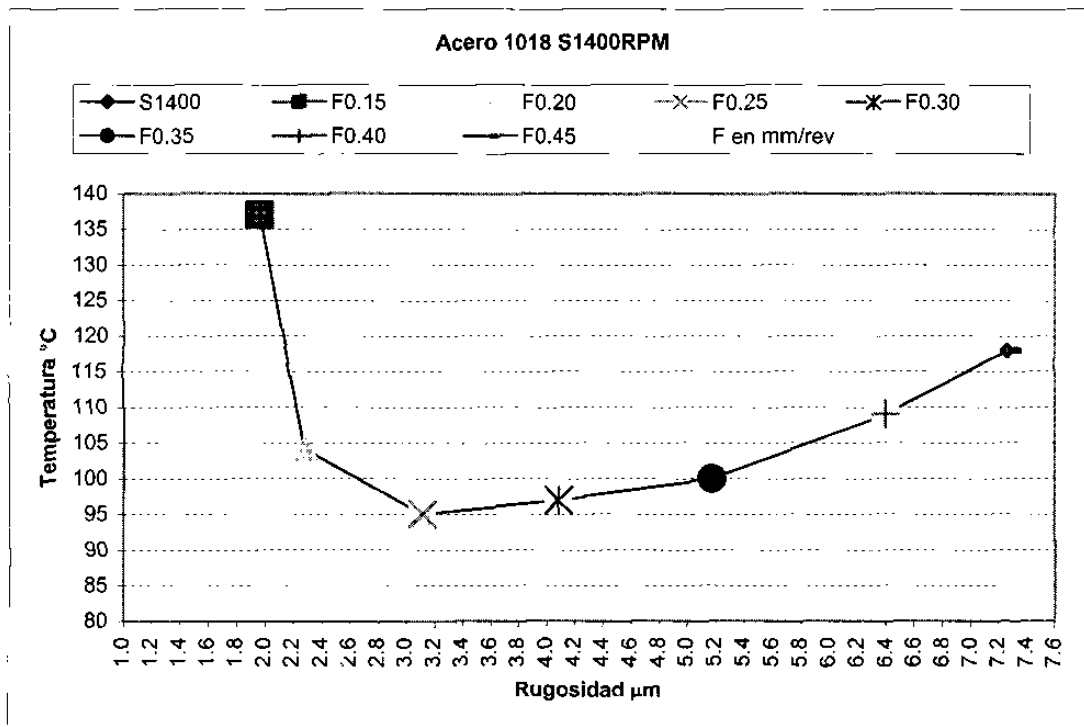


Figura 8.3 Relación de temperatura y rugosidad en cada avance, para el acero 1018 a una velocidad de corte de 1400 RPM



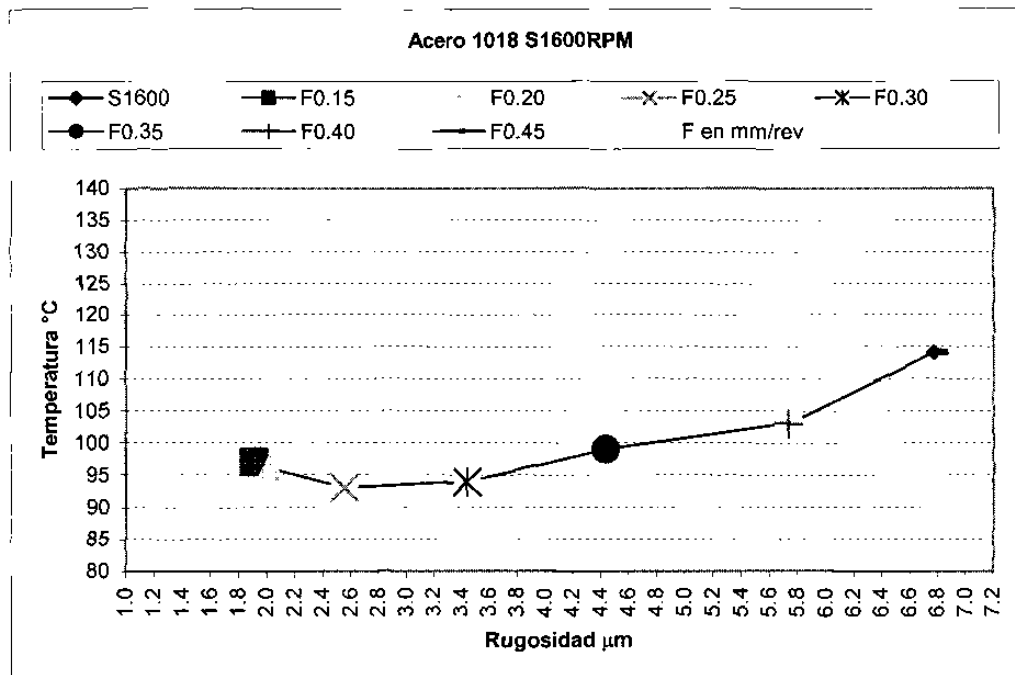


Figura 8.4 Relación de temperatura y rugosidad en cada avance, para el acero 1018 a una velocidad de corte de 1600 RPM

Analizando las figuras 8.5 y 8.6 resultantes en el acero 4140 se puede observar que para la velocidad de corte 720 RPM, la temperatura de la operación va disminuyendo conforme el avance aumenta, hasta llegar a estabilizarse y volver a subir, en el avance más elevado que es el de 0.45mm/rev., lo cual también sucede al tener una velocidad de corte mayor como la de la figura 8.6, con excepción del avance 0.30, pero en cambio la rugosidad presenta un comportamiento inverso, aumentando conforme se va incrementando el avance de una manera más pronunciada. Con esto se puede concluir que el avance influye en la temperatura, pero la velocidad de corte es más impactante en ella en avances pequeños, pero hablando de avances grandes, beneficia ya que la temperatura disminuye, lo cual se puede comprobar al observar las figuras 8.5 y 8.6 y compararlas. En cambio la rugosidad como se puede observar es directamente proporcional al avance, pero también está influenciada con la velocidad de corte ya que al incrementar la velocidad de la variación la rugosidad lo hace también.

En conclusión para el acero 4140 las condiciones de corte óptimas en cuanto a rugosidad y temperatura van a depender de que se querrá cuidar si la temperatura o la rugosidad ya que al aumentar el avance aumenta la rugosidad, pero disminuye la temperatura de corte en la operación y viceversa.

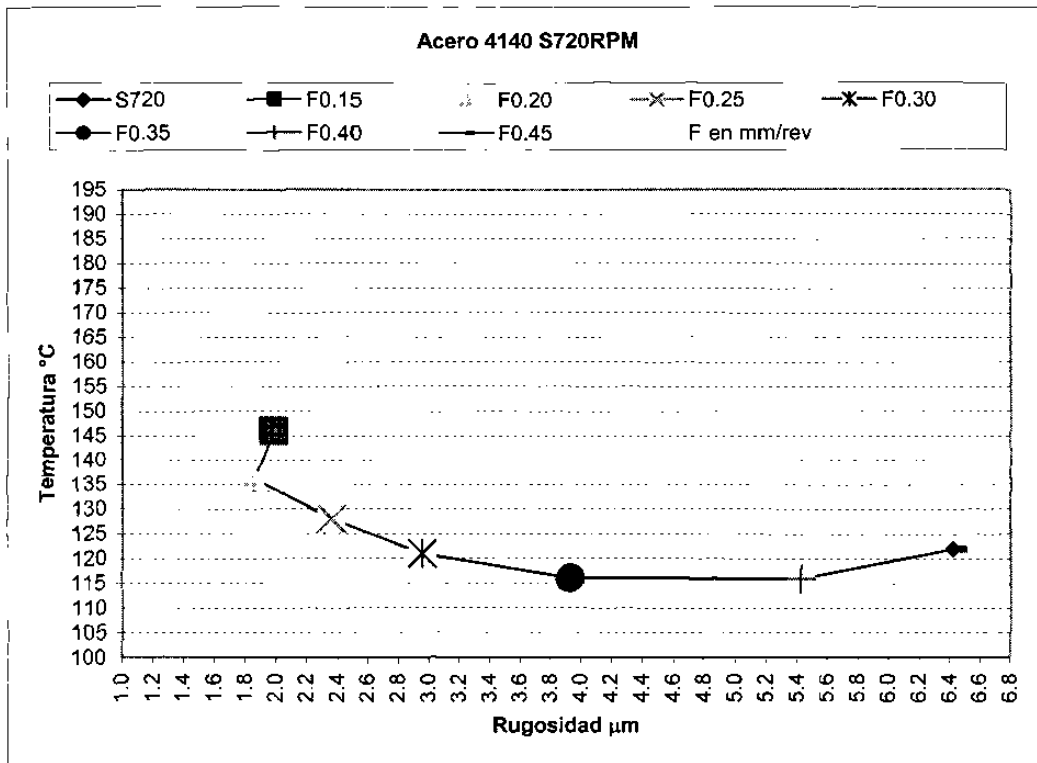


Figura 8.5 Relación de temperatura y rugosidad en cada avance, para el acero 4140 a una velocidad de corte de 720 RPM

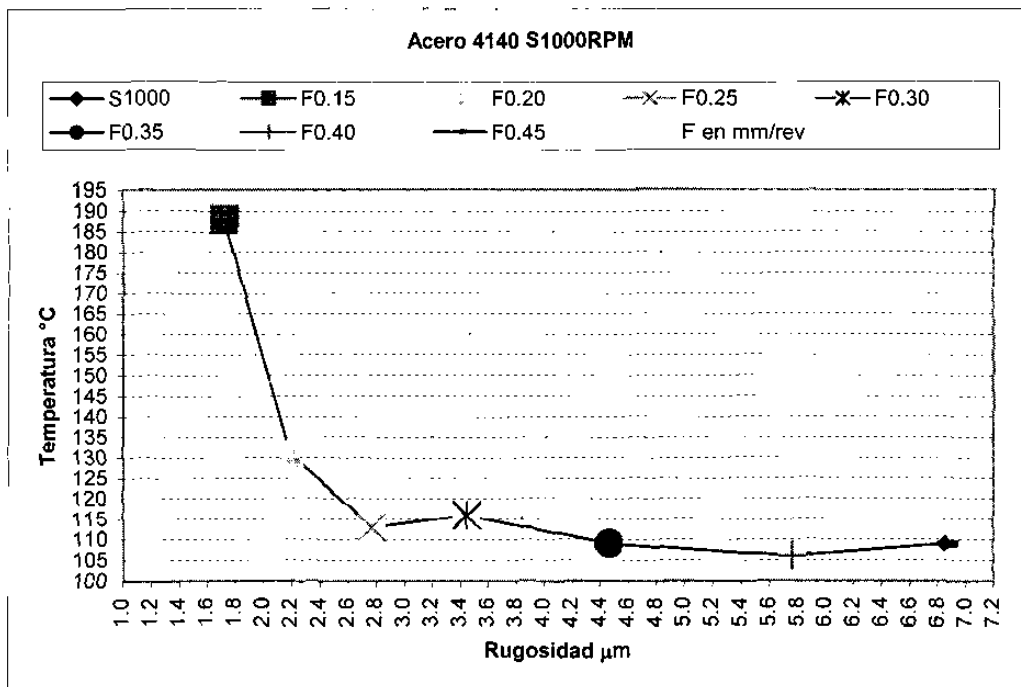


Figura 8.6 Relación de temperatura y rugosidad en cada avance, para el acero 4140 a una velocidad de corte de 1000 RPM

## **8.2 Recomendaciones**

Este experimento fue realizado bajo ciertas condiciones muy específicas, y aunque los resultados arrojados en el desarrollo de las mediciones proporcionen una visión general del comportamiento de la temperatura y la rugosidad, esto no significa que en condiciones operativas diferentes se presente el mismo comportamiento. Para esto se sugiere la realización posterior de experimentos, en los que se varíen más parámetros involucrados, como el tipo de herramienta, de maquinado, lubricante, profundidad de corte.

## REFERENCIAS

1. Procesos de Manufactura, versión SI, de B. H. Amstead. P Ostwald y M. Begeman. Editorial Continental. pp. 520 a 541
2. Fundamentos de Manufactura Moderna de Mikell P. Groover. Editorial Prentice Hall. pp. 551
3. Materials and Processes in Manufacturing 7<sup>th</sup> ed. de DeGarmo, E. P., Black, J.T., and Kohser, R.A., Editorial Macmillan Publishing Co., New York 1988,
4. Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools of Boothroyd, G., and Knight, W. A., Editorial Marcel Dekker Inc. New York 1989
5. Tool Wear and Tool Life of Cook, N. Editorial J. Engrg. For Industry, Vol. 95 November 1973 pp 931-938
6. On the Analysis of Cutting Tool Temperatures of Loewen, E.G. and Shaw, M.C. ASME Transactions, Vol, 76 No. 2 February 1954 pp 217-225
7. An Analytical Evaluation of Metal Cutting Temperatures of Tigger, K. J., and Chao, B. T., Editorial ASME Transactions, Vol 73, No. 1 January 1951. pp 57-68
8. Tool-Chip Interface Temperatures of Tigger, K. J. ASME Transactions, Vol. 71, No.2, February 1949
9. Superabrasives: Grinding and Machining with CBN and Diamond, Krar, S. F. and Ratterman, E. Mc Graw Hill, Inc., New York, 1990
10. The History of Tools. Liebhold, P. Cutting Tool Engineer, June 1989. pp 137-138
11. Machining Data Handbook 3<sup>rd</sup> ed., Vol. I and II. Metalcut Research Associates, Inc., Cincinnati, Ohio, 1980
12. [www.ing.puc.cl/icm cursos/procesos/apuntes/cap2](http://www.ing.puc.cl/icm cursos/procesos/apuntes/cap2)
13. Tool and Manufacturing Engineers Handbook, 4<sup>th</sup> ed. Drozda, T.J., and Wick, C. Society of Manufacturing Engineers, Dearborn Mich., 1983
14. Short History of Machine Tools. M.I.T. Press, Cambridge, Mass, 1965
15. History of Machine Tools. Steeds, W., A. Oxford University Press, London 1969

16. [www.campus.fortunecity.com/duquensne/623/home/m.html](http://www.campus.fortunecity.com/duquensne/623/home/m.html)
17. CNC Programming Handbook. Meter Smid.. Industrial Press, Inc
18. Procesos básicos de manufactura, de H. C. Kazanas, genn E. Backer, Thomas Gregor. Editorial Mc Graw Hill. pp 195 – 203
19. Principios de Ingeniería de Manufactura, de Stewart C. Black, Vic Chiles editorial. de la Compañía Editorial Mexicana pp 102 - 177 y 226 – 260
20. Metrología Dimensional. Ramón Zeleny Vázquez y Carlos González González. Mc. Graw Hill. pp 156
21. Metrología Dimensional. Ramón Zeleny Vázquez y Carlos González González. Mc. Graw Hill. pp 160
22. Metrología Dimensional. Ramón Seleny Vázquez y Carlos González González., McGraw-Hill. pp. 436.
23. Metrología Dimensional. Ramón Seleny Vázquez y Carlos González González., McGraw-Hill. pp 438.
24. Techincal data RTW catalogo 448860

## LISTADO DE FIGURAS

<b>FIGURAS</b>	<b>PÁGINAS</b>
Figura 2.1 Rangos de velocidades de corte en función del material	5
Figura 2.2 Maquinado de contorno CNC	6
Figura 2.3 Maquinado de cara CNC	6
Figura 2.4 (a) Proceso de Torneado, (b) Herramienta de corte	8
Figura 2.5 Los tres procesos más comunes de maquinado	8
Figura 2.6 (a) Herramienta de punta sencilla, (b) Herramienta de múltiples filos cortantes	10
Figura 2.7 Condiciones de corte en el proceso de torneado	11
Figura 2.8 Corte Ortogonal: (a) Como un proceso tridimensional y (b) dos dimensiones en una vista lateral	15
Figura 2.9 Deformación cortante	15
Figura 2.10 Forma de la viruta	16
Figura 2.11 Tres tipos de formación de viruta en el corte de metales (a) discontinua, (b) continua y (c) continua con acumulación en el borde	17
Figura 2.12 Temperatura contra velocidad de corte para varios materiales de trabajo	19
Figura 3.1 Falla por fractura en las herramientas de corte	20
Figura 3.2 Falla por temperatura en una herramienta	21
Figura 3.3 Falla por gradual de flanco (izquierdo) y de cráter (derecho)	21
Figura 3.4 Desgaste de la herramienta	22
Figura 3.5 Relación general de desgaste de la herramienta contra el tiempo de corte	28
Figura 3.6 Curvas de desgaste de la herramienta para varias velocidades de corte	29
Figura 3.7 Vida de la herramienta	30
Figura 3.8 Tipos de virutas	36
Figura 3.9 Geometría de la herramienta de punta sencilla	37
Figura 3.10 Diseños de rompevirutas	38
Figura 3.11 Geometría de la herramienta	39
Figura 3.12 Pastillas para buriles de corte en torno	39
Figura 3.13 Superficies de ataque y ángulos	41
Figura 3.14 Ángulos de una herramienta de corte	42
Figura 3.15 Filos de la herramienta	42
Figura 4.1 Condiciones de corte en una pieza torneada	49
Figura 4.2 Principales operaciones vinculadas con el torneado	51
Figura 4.3 Herramientas monofilo utilizadas para el proceso de torneado	52
Figura 4.4 Porta-herramientas utilizados en el proceso de torneado.	52
Figura 4.5 Proceso de torneado	53
Figura 4.6 Material removido por unidad de tiempo	54
Figura 4.7 Muestra como obtener la energía requerida para remover el	

volumen unitario de material	56
Figura 4.8 Agujero interior de una pieza cilíndrica	56
Figura 4.9 Operación de refrentado	58
Figura 4.10 Operación de tronzado	58
Figura 4.11 Torno y sus partes	60
Figura 4.12 Mandril universal de 3 mordazas	61
Figura 4.13 Mandril de 4 mordazas	62
Figura 4.14 Mandril combinado de 6 mordazas	62
Figura 4.15 Métodos de sujeción de la pieza de trabajo al torno	63
Figura 4.16 Torno para herramientas	64
Figura 4.17 Torno revolver	64
Figura 4.18 Torno Mandril	65
Figura 4.19 Torno de barra automática	65
Figura 4.20 Torno de Control Numérico Computarizado	67
Figura 4.21 Tiempo de ciclo de la pieza en relación con la velocidad de corte	80
Figura 4.22 Costo de la pieza en relación con la velocidad de corte	81
Figura 5.1 Rangos de rugosidad superficial que pueden obtenerse mediante métodos comunes de producción	83
Figura 5.2 Lamina con diferentes acabados superficiales	83
Figura 5.3 Longitud que recorre el palpador durante la medición	84
Figura 5.4 Ilustra la superficie de una pieza en la que se observan marcas originadas por el maquinado, también se muestra la amplificación de la superficie donde se observan las irregularidades más claramente.	85
Figura 5.5 Curva P (perfil de rugosidad sin filtrar)	86
Figura 5.6 Curva R (perfil de rugosidad)	86
Figura 5.7 Muestra la línea media	87
Figura 5.8 Forma en la que se mide la rugosidad Ra	88
Figura 5.9 Picos y valles medidos de acuerdo a las normas JIS e ISO	89
Figura 5.10 muestra la manera de calcular Rz de acuerdo con la norma DIN	89
Figura 5.11 Muestra la manera de calcular Ry	90
Figura 5.12 Muestra el símbolo básico de rugosidad con las definiciones de cada parámetro	93
Figura 5.13 Símbolo de rugosidad mas comúnmente utilizado	93
Figura 6.1 Termómetro infrarrojo RAYMX4PE.	95
Figura 6.2 Rugosímetro Mitutoyo SJ-301.	95
Figura 6.3 Okuma LB15 torno de dos-ejes de CNC	96
Figura 6.4 DNMG-432PG grado RC8025	96
Figura 6.5 DNMG-432GP grado CQ23	96
Figura 6.6 Aluminio 6061 T6	97
Figura 6.7 Acero 1018	97
Figura 6.8 Acero 4140	97
Figura 6.9 Dimensiones de la pieza	97
Figura 6.10 Termómetro infrarrojo montado en el torno apuntando sobre la herramienta	97
Figura 6.11 Avance y velocidad de corte utilizados para cada material en la prueba de maquinado	99
Figura 6.12 Palpador del rugosímetro sobre cada pieza maquinada	99

Figura 7.1 Obtención de temperatura con la pistola montada en el torno apuntando a la punta de la herramienta	100
Figura 7.2 Resultados de temperatura para un avance de 0.15mm/rev.	101
Figura 7.3 Resultados de temperatura para un avance de 0.20 mm/rev.	101
Figura 7.4 Resultados de temperatura para un avance de 0.25 mm/rev.	102
Figura 7.5 Resultados de temperatura para un avance de 0.30 mm/rev.	102
Figura 7.6 Resultados de temperatura para un avance de 0.35 mm/rev.	103
Figura 7.7 Resultados de temperatura para un avance de 0.40 mm/rev.	103
Figura 7.8 Resultados de temperatura para un avance de 0.45 mm/rev.	104
Figura 7.9 Resultados de temperatura para un avance de 0.15mm/rev.	104
Figura 7.10 Resultados de temperatura para un avance de 0.20 mm/rev.	105
Figura 7.11 Resultados de temperatura para un avance de 0.25 mm/rev.	105
Figura 7.12 Resultados de temperatura para un avance de 0.30 mm/rev.	106
Figura 7.13 Resultados de temperatura para un avance de 0.35 mm/rev.	106
Figura 7.14 Resultados de temperatura para un avance de 0.40 mm/rev.	107
Figura 7.15 Resultados de temperatura para un avance de 0.45 mm/rev.	107
Figura 7.16 Resultados de temperatura para un avance de 0.15mm/rev.	108
Figura 7.17 Resultados de temperatura para un avance de 0.20 mm/rev.	108
Figura 7.18 Resultados de temperatura para un avance de 0.25 mm/rev.	109
Figura 7.19 Resultados de temperatura para un avance de 0.30 mm/rev.	109
Figura 7.20 Resultados de temperatura para un avance de 0.35 mm/rev.	110
Figura 7.21 Resultados de temperatura para un avance de 0.40 mm/rev.	110
Figura 7.22 Resultados de temperatura para un avance de 0.45 mm/rev.	111
Figura 7.23 Resultados de temperatura para un avance de 0.15mm/rev.	111
Figura 7.24 Resultados de temperatura para un avance de 0.20 mm/rev.	112
Figura 7.25 Resultados de temperatura para un avance de 0.25 mm/rev.	112
Figura 7.26 Resultados de temperatura para un avance de 0.30 mm/rev.	113
Figura 7.27 Resultados de temperatura para un avance de 0.35 mm/rev.	113
Figura 7.28 Resultados de temperatura para un avance de 0.40 mm/rev.	114
Figura 7.29 Resultados de temperatura para un avance de 0.45 mm/rev.	114
Figura 7.30 Resultados de temperatura para un avance de 0.15mm/rev.	115
Figura 7.31 Resultados de temperatura para un avance de 0.20 mm/rev.	115
Figura 7.32 Resultados de temperatura para un avance de 0.25 mm/rev.	116
Figura 7.33 Resultados de temperatura para un avance de 0.30 mm/rev.	116
Figura 7.34 Resultados de temperatura para un avance de 0.35 mm/rev.	117
Figura 7.35 Resultados de temperatura para un avance de 0.40 mm/rev.	117
Figura 7.36 Resultados de temperatura para un avance de 0.45 mm/rev.	118
Figura 7.37 Resultados de temperatura para un avance de 0.15mm/rev.	118
Figura 7.38 Resultados de temperatura para un avance de 0.20 mm/rev.	119
Figura 7.39 Resultados de temperatura para un avance de 0.25 mm/rev.	119
Figura 7.40 Resultados de temperatura para un avance de 0.30 mm/rev.	120
Figura 7.41 Resultados de temperatura para un avance de 0.35 mm/rev.	120
Figura 7.42 Resultados de temperatura para un avance de 0.40 mm/rev.	121
Figura 7.43 Resultados de temperatura para un avance de 0.45 mm/rev.	121
Figura 7.44 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.15mm/rev. Aluminio 6061 T6 S1900RPM	122
Figura 7.45 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.20 mm/rev. Aluminio 6061 T6 S1900RPM	123
Figura 7.46 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.25 mm/rev. Aluminio 6061 T6 S1900RPM	123



Figura 7.47 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.30 mm/rev. Aluminio 6061 T6 S1900RPM	124
Figura 7.48 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.35 mm/rev. Aluminio 6061 T6 S1900RPM	124
Figura 7.49 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.40 mm/rev. Aluminio 6061 T6 S1900RPM	125
Figura 7.50 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.45 mm/rev. Aluminio 6061 T6 S1900RPM	125
Figura 7.51 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.15mm/rev. Aluminio 6061 T6 S2500RPM	126
Figura 7.52 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.20 mm/rev. Aluminio 6061 T6 S2500RPM	126
Figura 7.53 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.25 mm/rev. Aluminio 6061 T6 S2500RPM	127
Figura 7.54 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.30 mm/rev. Aluminio 6061 T6 S2500RPM	127
Figura 7.55 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.35 mm/rev. Aluminio 6061 T6 S2500RPM	128
Figura 7.56 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.40 mm/rev. Aluminio 6061 T6 S2500RPM	128
Figura 7.57 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.45 mm/rev. Aluminio 6061 T6 S2500RPM	129
Figura 7.58 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.15mm/rev. Acero 1018 S1400RPM	129
Figura 7.59 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.20 mm/rev. Acero 1018 S1400RPM	130
Figura 7.60 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.25 mm/rev. Acero 1018 S1400RPM	130
Figura 7.61 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.30 mm/rev. Acero 1018 S1400RPM	131
Figura 7.62 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.35 mm/rev. Acero 1018 S1400RPM	131
Figura 7.63 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.40 mm/rev. Acero 1018 S1400RPM	132
Figura 7.64 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.45 mm/rev. Acero 1018 S1400RPM	132
Figura 7.65 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.15mm/rev. Acero 1018 S1600RPM	133
Figura 7.66 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.20 mm/rev. Acero 1018 S1600RPM	133
Figura 7.67 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.25 mm/rev. Acero 1018 S1600RPM	134
Figura 7.68 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.30 mm/rev. Acero 1018 S1600RPM	134
Figura 7.69 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.35 mm/rev. Acero 1018 S1600RPM	135
Figura 7.70 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.40 mm/rev. Acero 1018 S1600RPM	135
Figura 7.71 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.45 mm/rev. Acero 1018 S1600RPM	136

Figura 7.72 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.15mm/rev. Acero 4140 S720 RPM	136
Figura 7.73 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.20 mm/rev. Acero 4140 S720 RPM	137
Figura 7.74 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.25 mm/rev. Acero 4140 S720 RPM	137
Figura 7.75 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.30 mm/rev. Acero 4140 S720 RPM	138
Figura 7.76 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.35 mm/rev. Acero 4140 S720 RPM	138
Figura 7.77 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.40 mm/rev. Acero 4140 S720 RPM	139
Figura 7.78 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.45 mm/rev. Acero 4140 S720 RPM	139
Figura 7.79 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.15mm/rev. Acero 4140 S1000 RPM	140
Figura 7.80 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.20 mm/rev. Acero 4140 S1000 RPM	140
Figura 7.81 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.25 mm/rev. Acero 4140 S1000 RPM	141
Figura 7.82 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.30 mm/rev. Acero 4140 S1000 RPM	141
Figura 7.83 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.35 mm/rev. Acero 4140 S1000 RPM	142
Figura 7.84 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.40 mm/rev. Acero 4140 S1000 RPM	142
Figura 7.85 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 0.45 mm/rev. Acero 4140 S1000 RPM	143
Figura 8.1 Relación de temperatura y rugosidad en cada avance, para el aluminio 6061T6 a una velocidad de corte de 1900RPM	145
Figura 8.2 Relación de temperatura y rugosidad en cada avance, para el aluminio 6061T6 a una velocidad de corte de 2500RPM	145
Figura 8.3 Relación de temperatura y rugosidad en cada avance, para el acero 1018 a una velocidad de corte de 1400RPM	146
Figura 8.4 Relación de temperatura y rugosidad en cada avance, para el acero 1018 a una velocidad de corte de 1600RPM	147
Figura 8.5 Relación de temperatura y rugosidad en cada avance, para el acero 4140 a una velocidad de corte de 720RPM	148
Figura 8.6 Relación de temperatura y rugosidad en cada avance, para el acero 4140 a una velocidad de corte de 1000RPM	148

## LISTADO DE TABLAS

<b>TABLAS</b>		<b>PÁGINAS</b>
Tabla # 1	Máquinas-herramientas convencionales usadas para las tres operaciones comunes de maquinado.	13
Tabla # 2	Elementos de cada aleación con sus propiedades	32
Tabla # 3	Las herramientas y su utilización	33
Tabla # 4	Algunas herramientas y como se agrupan para su clasificación	35
Tabla # 5	Ángulos óptimos para las herramientas según el material a trabajar	43
Tabla # 6	Diferentes herramientas y la temperatura de trabajo según diseño.	44
Tabla # 7	Fluidos para corte	46
Tabla # 8	Características de los tornos	74
Tabla # 9	Clasificación de los tornos	75
Tabla # 10	Parámetros de rugosidad utilizados en diferentes países	88
Tabla # 11	Muestra las direcciones de marca producidas por el proceso de maquinado	91
Tabla # 12	Símbolos de rugosidad sin indicación adicional	92
Tabla # 13	Símbolos de rugosidad con indicación del principal criterio de rugosidad Ra	92
Tabla # 14	Símbolos de rugosidad con indicación adicional	92
Tabla # 15	Grado de rugosidad contra valor numérico	94

## LISTADO DE ECUACIONES

<b>ECUACIONES</b>	<b>PÁGINAS</b>
1. Ecuación de remoción de material	11
2. Cálculo de la potencia	18
3. <i>Cálculo de la temperatura en la interfase herramienta-viruta durante el maquinado</i>	18
4. Cálculo de la temperatura medida en la interfase herramienta-viruta	19
5. Velocidad de rotación	48
6. Cambio de diámetro en la operación de maquinado	48
7. Cálculo del avance en el torneado	48
8. Tiempo de maquinado real	49
9. Tasa de remoción de material	49
10. Encaje axial para el cilindrado exterior	53
11. La velocidad de corte de la punta de la herramienta	54
12. Área de la superficie	54
13. Tiempo de maquinado	55
14. Cantidad de material total removida en la operación de maquinado	55
15. Cantidad de material total removida en la operación de maquinado	55
16. El espesor de viruta no deformada	55
17. Potencia necesaria para realizar la operación de maquinado	55
18. Material removido por unidad de tiempo	57
19. Tiempo de maquinado en el refrentado	57
20. Velocidad máxima de corte en el refrentado	57
21. Cantidad máxima de material removido por unidad de tiempo en el refrentado	57
22. Cantidad total de material removido en el refrentado	57
23. Potencia máxima necesaria para el refrentado	58
24. Cálculo del tiempo de cambio de la herramienta por parte	79
25. Cálculo del tiempo de maquinado en la operación de torneado recto	80
26. Cálculo de Rz de acuerdo a las normas JIS e ISO	89
27. Cálculo de Rz de acuerdo a la norma DIN	89

## ANEXO A

### EQUIPO UTILIZADO

#### A.1 Termómetro infrarrojo RAYMX4PE marca Raytek

El aparato mide la cantidad de la radiación infrarroja emitida por el objeto a medir en cuestión y partiendo de ello calcula la temperatura de su superficie. Las características técnicas del termómetro infrarrojo RAYMX4PE se muestran en las siguientes tablas:

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	VALORES
Rango de temperatura	-30 a 900°C (-25 a 1600°F)
Resolución de la lectura	0.1°C (0.2°F)
Precisión	±1% del valor de la lectura o ± 1°C (±1.5°F), lo que sea mayor, a 23°C ambiente. ± 2°C (± 4°F) para temp. Debajo de 0°C (32°F)
Repetibilidad	±0.5% de la lectura o ±1°C (1.5°F) lo que sea mayor
Tiempo de respuesta (95%)	250 mseg.
Respuesta espectral	8 a 14 micras
Resolución óptica	60:1 en el punto focal hasta 35:1 campo lejano
Temp. Ambiente de operación	0 a 50°C (32 a 122°F)
Temperatura Ambiente Láser máximo	45°C (113°F)
Temp. Almacenajes/baterías	-30 a 50°C (-25 a 122°F)
Salida Analógica	1mV/°C (°F)
Alimentación	Batería alcalina. 2x1.5V, tipo AA
Dimensiones	200x170x50mm (7.9x6.7x2plg)
Montaje en triple	¼" 20UNC

AJUSTES DE FABRICA	AJUSTE	RANGO
Emisividad / Ganancia	0.95	0.10 a 1.50 en incrementos de 0.01
Tabla de emisividad	Libre	30 materiales
Modo	Normal	
Alarma alta	50°C (100°F)	-30 a 900°C (-25 a 1600°F)
Alarma baja	0°C (32°F)	-30 a 900°C (-25 a 1600°F)
Ajuste de compensación	0°C (0°F)	-10 a 10°C (-18 a 18°F)
Pantalla gráfica	Auto rango	Auto Rango / Rango Manual
Ciclo	0.5 seg.	0.1 seg. a 300 seg.
Modo de impresión	Registro de datos	3 modos, seleccionables por software
Salida impresora	ASCII 8 bit 1 bit de paro Sin paridad Velocidad de transmisión: 9600bd	
Almacenamiento de datos	100 puntos Preasignado con Emisividad de 0.95 Alarma baja: 0°C Alarma alta: 50°C Ajustable solo por software	

## A.2 Medidor de rugosidad superficial (Rugosímetro) SJ-301.

El Rugosímetro SJ-301 es un instrumento del tipo estilógrafo que mide la rugosidad superficial, el cual ha sido desarrollado para ser usado en superficies lisas.

El SJ-301 es capaz de evaluar la textura de superficies con una variedad de parámetros de acuerdo a varias normas nacionales e internacionales. Los resultados de la medición son mostrados digital y gráficamente en la pantalla sensible al tacto y pueden ser impresos en la impresora integrada.

### A.2.1 Principio de medición del Rugosímetro SJ-301.

El estilógrafo de la unidad detectora del SJ-301 traza las más mínimas irregularidades de la superficie de la pieza de trabajo. La rugosidad de la superficie es determinada por el desplazamiento vertical del estilógrafo producido durante el movimiento recorrido del detector sobre las irregularidades de la superficie. Los resultados de la medición son

mostrados digital y gráficamente en la pantalla sensible al tacto y pueden ser impresos en la impresora integrada.

### A.2.2 Especificaciones del SJ-301 marca Mitutoyo.

<b>Modelo</b>	SJ-301.	
<b>Calibración</b>	178-953-2 (para mm).	178-952-2 (para mm).
	178-954-2 (para in/mm).	178-955-2 (para in/mm).
<b>Método de detección</b>	Método de inductancia diferencial.	
<b>Rango de medición</b>	350 $\mu\text{m}$ (-200 a +150 $\mu\text{m}$ ).	
<b>Material del estilógrafo</b>	Diamante.	
<b>Radio de la punta</b>	5 $\mu\text{m}$ .	2 $\mu\text{m}$ .
<b>Fuerza de medición</b>	4mN (0.4g <sub>f</sub> ).	0.75mN (0.075g <sub>f</sub> ).
<b>Radio del estilógrafo</b>	40mm (1.57in).	

### A.2.3 Unidad conductora.

<b>Modelo</b>	SJ-301
<b>Rango de manejo del detector</b>	21mm.
<b>Velocidad del recorrido</b>	Avance: 0.25mm/s, 0.5 mm/s. Regreso: 1mm/s.
<b>Función de retracción del detector</b>	Estilógrafo UP
<b>Configuración baja</b>	V-way

### A.2.4 Unidad de despliegue.

Normas compatibles de textura de superficies:

- JIS (B 0601-1994, B 0601-1982)
- DIN
- ISO
- ANSI

### A.2.5 Perfiles medidos y filtros aplicables.

Perfil medido	Filtro
Perfil R DIN4776	GAUSS PC75 2RC (sin corrección de fase)
Perfil P	-
Perfil MOTIF.R	-
Perfil MOTIF.W	-

Longitud de corte/longitud de muestreo, número de longitudes de muestreo e intervalos de muestreo.

Longitud de corte ( $\lambda_c$ )	Longitud del muestreo (l)	$\lambda_s$	Intervalo de muestreo	Número de muestras por longitud	Número de longitudes de muestreo
0.08 mm.	0.08 mm.	2.5 $\mu$ m.	0.25 $\mu$ m.	320	1,3,5
0.25 mm.	0.25 mm.	2.5 $\mu$ m.	0.25 $\mu$ m.	1000	1,3,5
0.8 mm.	0.8 mm.	2.5 $\mu$ m.	0.5 $\mu$ m.	1600	1,3,5
2.5 mm.	2.5 mm.	8 $\mu$ m.	1.5 $\mu$ m.	1666	1,3,5
8 mm.	8 mm.	25 $\mu$ m.	5 $\mu$ m.	1600	1

Longitud de evaluación arbitraria (L)	Longitud de corte ( $\lambda_c$ )	$\lambda_s$	Intervalo de muestreo	Número de muestras
0.3 mm. $\leq$ L < 1.2 mm.	0.25 mm.	2.5 $\mu$ m.	0.25 $\mu$ m.	1000-4800
1.2 mm. $\leq$ L < 4 mm.	0.8 mm.	2.5 $\mu$ m.	0.5 $\mu$ m.	2400-8000
4 mm. $\leq$ L $\leq$ 12.5 mm.	2.5 mm.	8 $\mu$ m.	1.5 $\mu$ m.	2666-8333

Longitud límite inferior (A)	Longitud límite superior (A)	Longitud de evaluación (L)	Longitud de corte ( $\lambda_c$ )	Intervalo de muestreo
0.02 mm.	0.1 mm.	0.3 mm. $\leq$ L $\leq$ 0.64 mm.	2.5 $\mu$ m.	0.25 $\mu$ m.
0.1 mm.	0.5 mm.	0.7 mm. $\leq$ L $\leq$ 3.2 mm.	2.5 $\mu$ m.	0.5 $\mu$ m.
0.5 mm.	2.5 mm.	3.3 mm. $\leq$ L $\leq$ 16 mm.	8 $\mu$ m.	1.5 $\mu$ m.



### A.2.6 Parámetros de rugosidad y rango de despliegue.

Parámetro	Rango de despliegue
R <sub>a</sub> R <sub>q</sub>	0.01 a 100 μm.
R <sub>y</sub> R <sub>z</sub> R <sub>p</sub> R <sub>k</sub> R <sub>x</sub> W <sub>x</sub> W <sub>te</sub>	0.02 a 350 μm.
AR AW	2 a 350 μm.
P <sub>c</sub> HSC	2.5 a 5000 cm <sup>-1</sup>
S <sub>m</sub> S	2 a 4000 μm.
m <sub>r</sub> M <sub>r1</sub> M <sub>r2</sub>	0% a 100%
δ <sub>c</sub>	-350 a 350 μm.
L <sub>0</sub>	0.1 a 99.999 mm.
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	0 a 15000
Δ <sub>a</sub> Δ <sub>q</sub>	0.01 a 100
S <sub>k</sub>	-99.99 a 99.99
V <sub>0</sub>	0 a 999.99

### A.2.7 Longitud de evaluación.

Perfil	Longitud de evaluación
Perfil R	Longitud de corte ( $\lambda_c$ ) x número de longitudes de muestreo (1, 3, 5)
Perfil P	Longitud del muestreo (l) x número de longitudes de muestreo (1, 3, 5)
Perfil MOTIF.R	0.64, 3.2, 16mm
Perfil MOTIF.W	0.64, 3.2, 16mm

### A.2.8 Rango y resolución de la medición.

Rango de medición	Resolución
Automático	0.01 $\mu\text{m}$ dependiendo del rango
350 $\mu\text{m}$ (14000 $\mu\text{in}$ )	0.4 $\mu\text{m}$ .
100 $\mu\text{m}$ (4000 $\mu\text{in}$ )	0.1 $\mu\text{m}$ .
50 $\mu\text{m}$ (2000 $\mu\text{in}$ )	0.05 $\mu\text{m}$ .
10 $\mu\text{m}$ (400 $\mu\text{in}$ )	0.01 $\mu\text{m}$ .

## A.3 Torno OKUMA LB15.

### A.3.1 Características técnicas.

Área de trabajo	
Recorrido longitudinal del carro (eje x)	254 mm.
Recorrido vertical del carro (eje z)	400 mm.
Volteo	101.6 mm.
Características	
Machine Type	LB15
Supply Voltage	220/440 V
Phase	3 Ph
Frecuency	60 Hz
Máxima presión para chuck (hidráulico)	335 lb/in <sup>2</sup>
Máxima velocidad del husillo	4200 RPM
Capacidad de Torreta	12 herramientas
Amarre de la herramienta	Mecánico

## GLOSARIO

Tomear	Es un proceso de maquinado en el cual una herramienta de punta sencilla remueve material de la superficie de una pieza de trabajo cilíndrica en rotación.
Torno	Es la máquina giratoria más común y más antigua, sujeta una pieza de metal o de madera y la hace girar mientras un útil de corte da forma al objeto.
MAV	Maquinado a Alta Velocidad.
CNC	Control Numérico Computarizado.
Cut-off.	En los rugosímetros es el valor que se le da a la longitud de muestreo se varía por medio de filtros que modifican la frecuencia de respuesta del amplificador y, por lo tanto, la forma de onda del perfil.
CNA	Control Numérico Adaptativo.
RAM	Memoria de acceso aleatorio.
ROM	Memoria de solo lectura.
CAD	Diseño Asistido por Computadora.
CAM	Manufactura Asistida por Computadora.
MRR	Velocidad de remoción de material del proceso.
RPM	Revoluciones por minuto.
Avance	Movimiento lateral de la herramienta a través de la pieza de trabajo.
TiC	Carburo de titanio.
TiN	Nitruro de titanio.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de aluminio.
TiCN	Nitruro de titanio carbono.
TiAlN	Nitruro de titanio y aluminio.
CDV	Deposición química por vapor.
PVD	Deposición física por vapor.
MTCVD	Deposición química por vapor a temperatura media.
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	Nitruro de silicio.
Velocidad de corte	Es la velocidad con la que gira la pieza de trabajo.
Profundidad	Es la cantidad de material que penetra la herramienta sobre la pieza de trabajo.
WS	Acero de herramientas.
SS	Aceros de herramienta aleados.
HS	Metales duros aleados.

# AUTOBIOGRAFÍA

Nacida el 4 de Agosto de 1975 en la Ciudad de Monterrey, N. L., hija del Sr. Rafael Escamilla Alanís y la Sra. Elsia Salazar de Escamilla. La primer hija de 4 en su familia, Indira Gary Escamilla Salazar cursó la Preparatoria # 20 en especialidad Técnica en Contabilidad, y la carrera de Ingeniero Mecánico Administrador en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Su tesis para la obtención de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería de Manufactura con especialidad en Automatización, lleva por nombre “Optimización de las variables envueltas en el maquinado en un Torno de Control Numérico Computarizado”.

Su experiencia profesional comenzó en Fábricas Monterrey (FAMOSIA) desarrollándose en el departamento de Ingeniería Industrial, de ahí pasó a la Compañía Motor Wheel de México como Ingeniero en Proyectos y a la par ingresó a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica como catedrático, en el 2000 ingresó a GE Medical Systems como Ingeniero de Desarrollo a Proveedores y un año después cambió al puesto de Líder de Proyectos, en esa fecha continuaba como catedrático en FIME, puesto que desempeña actualmente impartiendo las clases de Máquinas-Herramientas y Metrología y sus laboratorios, Ciencias del Ambiente. En Octubre de 2003 asume el puesto de Jefe de la Academia de Metrología.



