

# MARCO TEORICO

## METROLOGÍA SUPERFICIAL

Aunque durante mucho tiempo la medición de la rugosidad no fue considerada como una rama de la metrología, en la actualidad es un requerimiento importante debido al reconocimiento creciente de la importancia y necesidad de esta medición.

La rugosidad superficial es el conjunto de irregularidades de la superficie real, definidas convencionalmente en una sección donde los errores de forma y las ondulaciones han sido eliminados (Chuvienco, 1996).

Una superficie perfecta es una abstracción matemática, ya que cualquier superficie real, por perfecta que parezca, presentará irregularidades que se originan durante el proceso de fabricación (Vázquez, 1999)

Las irregularidades mayores 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 cilindridad, y que pueden medirse con instrumentos convencionales (González, 1999)

Las irregularidades menores 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.

Los errores superficiales mencionados se presentan simultáneamente sobre una superficie, lo que dificulta la medición individual de cada uno de ellos.

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. Este método no debe confundirse con los patrones de rugosidad que actualmente se usan en la calibración de rugosímetros.

La desventaja de la comparación visual y táctil es que la decisión es subjetiva y difícilmente dos personas estarán de acuerdo en que superficies son aceptables y cuáles no.

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 un palpador de diámetro con un radio en la punta de 2, 5 o 10  $\mu\text{m}$  que recorre una pequeña longitud, denominada longitud de muestreo, sobre la superficie analizada. Los valores normalizados para esta longitud de muestreo son 0.08, 0.25, 0.8, 2.5, 8 y 25  $\mu\text{m}$  (Vázquez, 1999).

Aunque la intención es medir la rugosidad de toda la superficie, basta con revisar una pequeña longitud, ya que afortunadamente no hay una variación excesiva en una superficie del mismo material y maquinada en su totalidad por la misma herramienta, de modo que cualquier otra medición paralela realizada a alguna distancia de la primera dará un valor

muy cercano al inicial; además, si se obtuviera en ambos casos un registro amplificado del perfil se observarían variaciones únicamente de detalle.

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. Una vez realizada la evaluación, el palpador regresa con una velocidad mayor al punto de origen, preparándose así para una nueva medición (Vázquez, 1999).

### **Las curvas *P* y *R***

Existen dos tipos de curvas importantes cuando se evalúa la rugosidad por el método del 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 la superficie. A menos que se especifique otra circunstancia, la intersección debe 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 1). La curva *R* (perfil de rugosidad) es un perfil que se obtiene de la curva *P* removiendo los componentes de la ondulación de baja frecuencia, cuyas longitudes de onda son mayores que un límite especificado de la longitud de onda llamado valor de *cut-off* (figura 2).

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

La longitud de muestreo es una longitud física de la superficie. El *cut-off* es el medio a través del cual el perfil resultante de la forma de onda simula la restricción de la evaluación a la longitud de muestreo. Por conveniencia, el *cut-off* es citado como la longitud de muestreo equivalente (Vázquez, 1999).

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 sea un mínimo, se denomina línea media (figura 3).

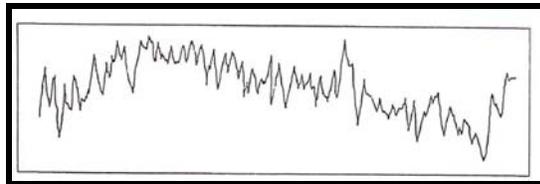


Figura 1

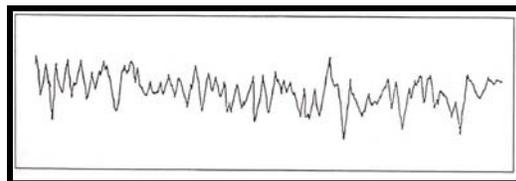


Figura 2

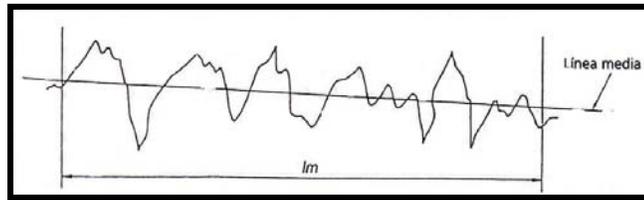


Figura 3

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 4).

### Definición de *Ra*

Dentro de la longitud de evaluación (*lm*), la media aritmética de los valores absolutos de los alejamientos del perfil desde la línea central se representa mediante la fórmula:

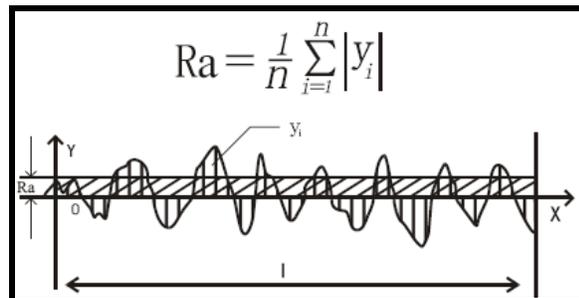


Figura 4

La definición de *Ra* equivale, en términos prácticos, a la altura de un rectángulo de longitud *lm* 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 (Vázquez, 1999). Esto se representa

mediante el procedimiento mostrado en la figura 4; así,  $R_a$  es rugosidad promedio (también denominada CLA por promedio de la línea central).

$R_a$  es el único parámetro de este tipo definido en las normas de E.U.A, Canadá, Países Bajos y Suiza (Vázquez, 1999). También está bien definido en las normas de todos los países industrializados y en las normas internacionales ISO, por lo tanto, es el más ampliamente utilizado; sin embargo, todas estas normas definen algún o algunos parámetros adicionales (figura 5).

	1	2	3	4	5	6	7	8	
parámetro	División media aritmética del perfil	Máxima altura del perfil	Diez puntos de altura de las irregularidades	Raíz cuadrada media de la desviación del perfil	Máxima altura del pico del perfil	Proporción del comportamiento de la longitud del perfil	Espaciamiento medio de los picos locales del perfil	Espaciamiento medio de las irregularidades del perfil	
Países									Norma
Japón	$R_a$	$R_y$	$R_z$			$t_p$	S	$S_m$	JIS B 0601-1994
U.S.A.	$R_a^*$								ANSI B 46.1-1985
Reino Unido	$R_a$		$R_z$						BS 1134-1972
Italia	$R_a$	$R_{m\acute{a}x}$ ( $R_{tm}$ )	$R_z$	RMS		t	$S_m$		UNI 3963 Part 2-1978
India	$R_a$	$R_{m\acute{a}x}$	$R_z$	$R_o$					IS 3073-1967
Australia	$R_a$								AS 1965-1977
Noruega	$R_a$								NEN 3631-1977, 3632-1974
Canadá	$R_a^*$								CSA B 95-1962
Suecia	$R_a^*$	$R_{m\acute{a}x}$	$R_z$			$t_p$	S		SMS 671-1975, 673-1975
Rusia	$R_p$	$R_{m\acute{a}x}$	$R_z$			$t_p$	S	$S_m$	GOST 2789-73-1974
Alemania	$R_a$	$R_t$ ( $R_{m\acute{a}x}$ )	$R_z$	$R_p$		$t_p$	$A_r$		DIN 4762 Blatt 1-1960, 4767-1970, 4768 Teil 1-1978, 4768 Blatt 1-1978
Francia	$R_a$	$R_t$ ( $R_{m\acute{a}x}$ )		$R_p$		( $T_R$ ) <sub>c</sub>	$A_R$		NF 05-15-1972
Finlandia	$R_a$	$R_{m\acute{a}x}$	$R_z$						SFS 2038-1969
Polonia	$R_a$	$R_{m\acute{a}x}$	$R_z$			$N_L$			PN-73/M-04250-1974, /M-04251-1974
ISO	$R_a$	$R_y$	$R_z$			$t_p$	S	$S_m$	R 468-1966

\* Antes indicado como "AA" o "CLA".

## Definición de $R_z$

El promedio de las alturas de pico a valle se denomina  $R_z$ , y las normas JIS/ISO lo definen, con base en la curva  $P$ , 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 (Vázquez, 1999). 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 interseca al perfil (figura 6).

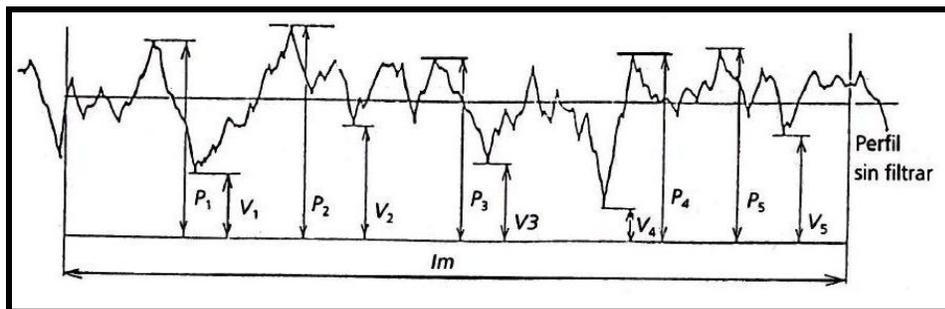


Figura 6

Se aplican las siguientes definiciones:

Perfil de picos: proyección de una porción de perfil conectando dos puntos adyacentes de la intersección del perfil con la línea media.

Pico más alto: pico más alto de un perfil de picos.

Perfil de valles: porción descendente del perfil conectando dos puntos adyacentes de la intersección del perfil con la línea media.

Valle más profundo: punto más profundo de un perfil de valles.

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

Al promedio de alturas de pico a valle, denominado  $R_z$ , la norma DIN lo define, con la base en la curva  $R$ , como el valor promedio de la diferencia ( $Z_j$ ) entre el pico más alto y el valle más bajo de cinco sucesivas longitudes de muestreo ( $le$ ) dentro de la longitud de evaluación ( $lm$ ), medida en la dirección de la línea media. La longitud de muestreo ( $le$ ) debe ser la misma que el valor de *cut-off* utilizado. En general,  $lm$  debería ser  $5xle$ , sin embargo  $lm$  puede ser  $3xle$  cuando la longitud suficiente de recorrido no está disponible (figura 6.13).

$$R_z \cdot \text{DIN} = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5}{5}$$

### **Definición de $R_y$**

A la máxima altura del perfil, denominada  $R_y$ , las normas JIS/ISO la definen como la distancia entre las líneas de perfil de picos y de valles. A la máxima altura del perfil, medida en la dirección de la amplificación vertical dentro de la longitud de evaluación ( $lm$ ) de la curva  $P$  (figura 7), la norma DIN la define como el máximo valor de  $Z$  determinado para  $R_z$  DIN. En otros países  $R_y$  se denomina  $R_{max}$ ; este método de evaluación ocupa el segundo lugar en cuanto a su adopción por diferentes países industriales, mientras que el tercer lugar lo ocupa  $R_z$ .

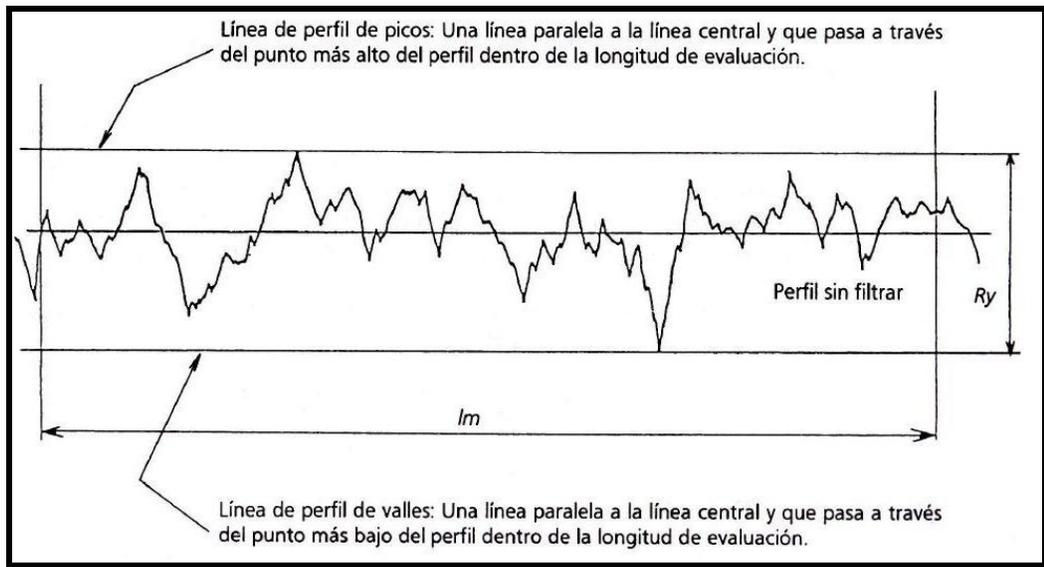


Figura 7

## SIMBOLOS PARA LA DIRECCION DE MARCADO

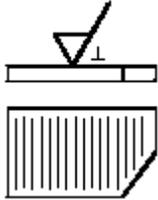
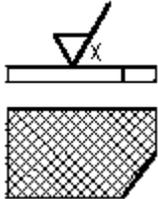
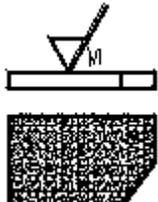
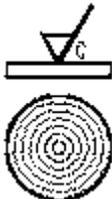
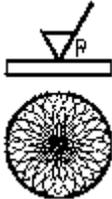
Símbolo	Interpretación	
=	<i>Huellas paralelas al plano de proyección de la vista sobre la que se aplica el símbolo.</i>	
⊥	<i>Huellas perpendiculares al plano de proyección de la vista sobre la que se aplica el símbolo.</i>	
X	<i>Huellas que se cruzan en dos direcciones oblicuas respecto al plano de proyección de la vista sobre la que se aplica el símbolo.</i>	
M	<i>Huellas sin orientación definida. Multidireccionales</i>	
C	<i>Huellas de forma aproximadamente circular respecto al centro de la superficie a la que se aplica el símbolo</i>	
R	<i>Huellas de dirección aproximadamente radial respecto al centro de la superficie a la que se aplica el símbolo</i>	

Figura 8

La figura 8 muestra los símbolos de la norma ISO 1302-1978 que se utilizan para indicar en los dibujos las direcciones de las marcas producidas por el proceso de maquinado. Las figuras 9 y 10 muestran, sinópticamente, el método de indicar el acabado superficial con dibujos tomados de la misma norma.

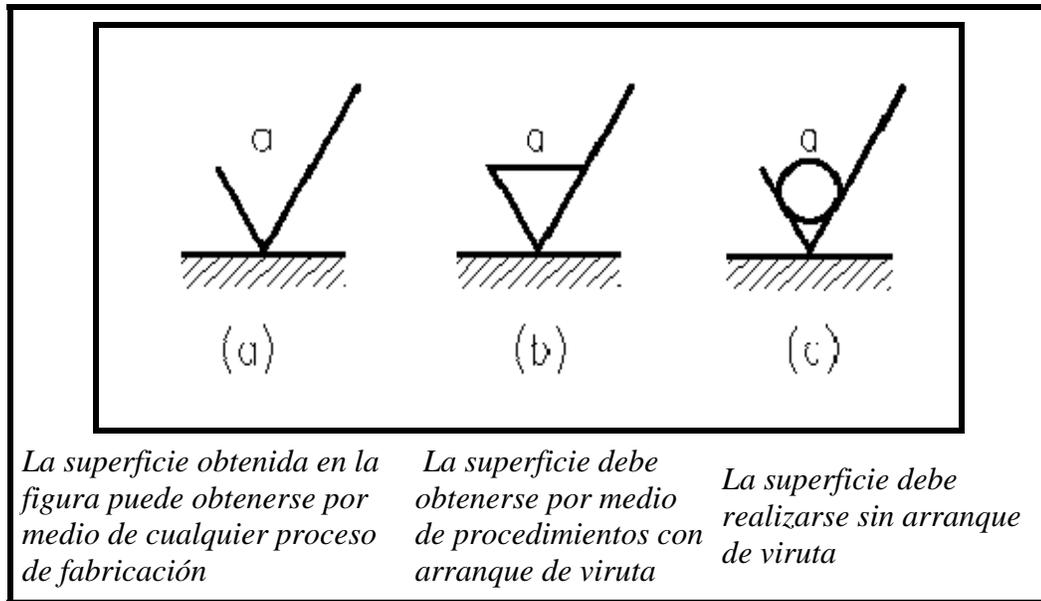


Figura 9

Rugosidad $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	Clase de rugosidad
50	N 12
25	N 11
12.5	N 10
6.3	N 9
3.2	N 8
1.6	N 7
0.8	N 6
0.4	N 5
0.2	N 4
0.1	N 3
0.05	N 2
0.025	N 1

Figura 10

Como ya se menciono anteriormente, existen varios tipos de rugosímetros que evalúan la calidad superficial de un área. A continuación, se describe el rugosímetro SJ-210. Este procedimiento va desde las partes que lo componen, hasta las normas, utilizadas como referencias para los parámetros y ajustes.