

ESTRUCTURA GRANULAR Y TAMAÑO DEL GRANO

Por José María CORTES DIAZ
Perito Industrial Metalúrgico
Ingeniero Técnico en Mecánica

Todos sabemos cómo los átomos de los metales se agrupan de acuerdo con un tipo de red espacial característica de su estado cristalino. No obstante ser ello cierto, la red no ocupa todo su volumen de forma continua, sino que, por el contrario, existen fragmentos cristalinos, unidos entre sí para formar el metal, constituyendo los granos y dando lugar a su estructura granular.

En los metales, hay que distinguir, pues, dos tipos de estructura, la cristalina o íntima, determinada por su agrupación espacial característica y la granular, constituida por la agrupación de los granos. Si bien la primera es invariable en el metal, salvo en los casos de alotropía, la granular, al depender de múltiples factores, puede ser fácilmente modificada, y precisamente en ello radica la importancia de su estudio.

Si observamos la fractura de un metal o aleación podremos apreciar la existencia de su estructura granular, fácilmente diferenciable según el tipo de tratamiento a que ha sido sometido. No obstante, este método no puede constituir un sistema de análisis de su estructura, toda vez que los granos, después de haber sido sometidos a los esfuerzos que originaron la rotura, se encuentran deformados y fragmentados y, por consiguiente, darán lugar a conclusiones erróneas.

Para conocer, pues, la estructura granular hay que recurrir a la observación microscópica de una zona plana del metal previamente preparada. Esta observación nos pondrá de manifiesto la existencia de parcelas bien delimitadas, más o menos poligonales que constituyen los granos.

Hay que señalar a este respecto, que si bien los granos ofrecen formas poliédricas de caras más o menos curvas, al ser observada al microscopio una superficie, se comprende que mientras algunos granos han sido cortados por su plano ecuatorial, otros no han corrido la misma suerte, e incluso en algunos casos, es posible que el plano de corte se encuentre muy distante del plano ecuatorial. Por este motivo, si queremos expresar correctamente el tamaño real del grano tendremos que efectuarlo estadísticamente, es decir, determinando el área media de las secciones de los granos observados directamente al microscopio o mediante microfotografía. Estas secciones pueden considerarse proporcionales a los valores de los granos.

TAMAÑO DEL GRANO

Hemos visto cómo los granos de un metal o aleación vienen determinados por las intersecciones de éstos con una superficie de corte. Su principal característica es el tamaño y se expresa en mm (diámetro del grano), mm² (superficie media del grano) o por su índice.

Según que el grano corresponda a la primitiva estructura, que vuelve a presentarse cuando se repite el calentamiento y enfriamiento en las mismas condiciones, o por el contrario, a la de los constituyentes estructurales existentes a temperatura ambiente, hay que distinguir entre grano «potencial» (austenítico en los aceros) y grano «actual» (ferrítico, perlítico o austenítico en los aceros de una sola fase o ferrítico-perlítico, austeníticos-ferríticos, etc., en los aceros de más de una fase.

Determinación del tamaño del grano

El tamaño de grano viene determinado por alguna de las siguientes características:

- a) Diámetro medio.
- b) Superficie media.
- c) Índice.

Cualquiera que sea el método elegido para determinar el tamaño de grano habrá que preparar una probeta metalográfica para su posterior análisis microscópico.

Según el tamaño de grano a determinar (potencial o actual), la probeta a analizar deberá ser previamente preparada y atacada de forma adecuada al tamaño de grano que queremos determinar.

Así, para determinar el tamaño de grano austenítico se utilizan los métodos de Béchet Beaujard, mediante ataque con ácido pícrico concentrado de McQuaid Ehn, para piezas cementadas y posteriormente atacadas con nital o de Kohn para probetas oxidadas y posterior ataque con reactivo de Vilella.

Cuando se quiere determinar el tamaño de grano actual, la preparación es más simple, reduciéndose a un simple pulido de la probeta y un posterior ataque con nital o picral.

a) Determinación del diámetro medio (método de Heyn).

Este método, consiste en realizar el recuento directo de los granos contenidos en una longitud determinada, y está particularmente indicado cuando se desea estudiar la influencia del proceso de conformación (estampado, embutido, estirado, etc.), en la estructura de un metal o aleación.

La determinación se realiza, como puede verse en la figura 1, sobre una microfotografía realizada con el aumento g más adecuado para que el recuento se pueda realizar con facilidad.

Sobre la microfotografía se trazan una serie de rectas paralelas y con una longitud suficiente para que se puedan contar más de 50 intersecciones, contando los granos extremos como medios granos.

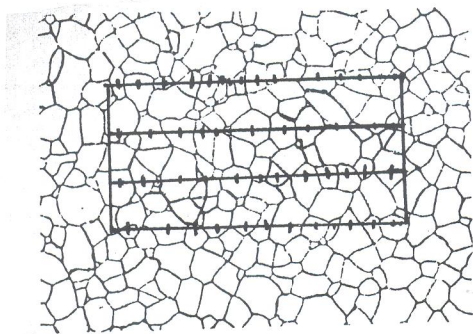


Fig. 1

Si denominamos Li a la longitud en milímetros de los segmentos y Ni , al número de granos cortados, el valor de la longitud media, o diámetro medio, Lm , vendrá dado por la expresión:

$$Lm = \frac{Li}{g \cdot Ni} \text{ mm}$$

y el número de granos cortados por milímetro, será:

$$Mi = \frac{g \cdot Ni}{Li} = \frac{1}{Lm}$$

b) Determinación de la superficie media.

Este método consiste en realizar el recuento directo de los granos contenidos en una superficie determinada, generalmente de 5.000 mm².

La determinación se realiza sobre una microfotografía, realizada con el aumento g más adecuado para que el recuento se pueda hacer con facilidad.

Sobre la microfotografía se traza una circunferencia de 79,8 milímetros, o un cuadrado de 70,7 milímetros de lado, debiendo contener un mínimo de 50 granos (Fig. 2). Los granos cortados por la circunferencia se contarán como medios granos.

Si denominamos n , al número de granos contados en el interior del círculo, siendo $n = n_1 + 1/2 n_2$ (n_1 = número de granos totalmente internos y n_2 = número de granos cortados), el número de granos por milímetro cuadrado de superficie real de la muestra m , será:

$$m = \frac{n \cdot g^2}{5000} = 2 n \left(\frac{g}{100} \right)^2$$

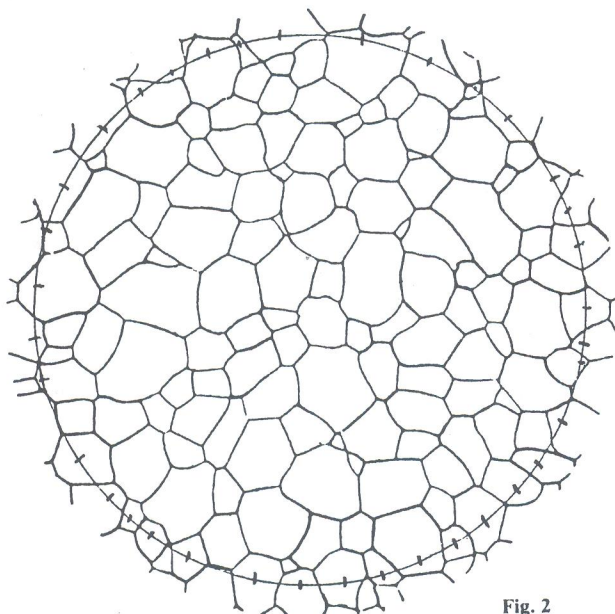


Fig. 2

y el valor real de la superficie media S vendrá dada por la expresión

$$S = \frac{5000}{n \cdot g^2} = \frac{1}{2} \text{ mm}^2$$

c) Determinación del índice del grano.

Como quiera que los métodos anteriores resultan muy laboriosos, se suele determinar con mayor frecuencia el índice del grano, consistente en establecer una comparación entre la muestra observada y una serie de imágenes tipo a 100 aumentos, numeradas del 1 al 8. El número de la imagen que coincida con la muestra constituye el índice del grano.

Estas imágenes tipo (Fig. 3) establecida en principio para los tamaños de grano existentes en los aceros, se suele aplicar también para otras estructuras.

La norma UNE 7280-72 define el índice de grano, como el número entero G , positivo, nulo o eventualmente negativo, que se deduce a partir del número medio, m , de granos que se pueden contar en un área de 1 mm² de la sección de la muestra. Por definición, $G = 1$ cuando $m = 16$.

Los valores de m y G están relacionados por la expresión

$$m = 8 \cdot 2^G$$

Si el aumento de la muestra observada fuese g , distinto de 100, el índice G se determinará a partir del número M , que corresponde a la imagen tipo que más se le aproxima.

Para determinar el índice correspondiente actuaremos de la siguiente forma:

Si en 1 mm² a 100 aumentos existen $8 \cdot 2^G \cdot 100^2$ granos, en la misma superficie a g aumentos existirán $8 \cdot 2^M \cdot g^2$ granos, de donde igualando y despejando G , obtendremos el valor de índice a partir del número M obtenido a un aumento distinto de 100.

$8 \cdot 2^G \cdot 100^2 = 8 \cdot 2^M \cdot g^2$, de donde simplificando y despejando el valor de G , resulta

$$2^{G-M} = \left(\frac{g}{100} \right)^2 \Rightarrow (G-M) \cdot \log 2 = 2 \cdot \log \frac{g}{100} \Rightarrow$$

$$G - M = \frac{2}{\log 2} \cdot \log \frac{g}{100} = 6,94 \log \frac{g}{100}$$

$$G = M + 6,64 \log \frac{g}{100}$$

La siguiente tabla I (tabla II de UNE 7280), establece los valores de G , para valores de M obtenidos con aumentos distintos de 100.

TABLA I

Valores de G para distintos aumentos y valores de M .

Aumento de la imagen	Índice de grano del metal (G) para una imagen identificada con la imagen tipo n.º							
	1	2	3	4	5	6	7	8
25	-3	-2	-1 ⁴	0	1	2	3	4
50	-1	0	1	2	3	4	5	6
100	1	2	3	4	5	6	7	8
200	3	4	5	6	7	8	9	10
400	5	6	7	8	9	10	11	12
800	7	8	9	10	11	12	13	14

Figura 3

Productos siderúrgicos
Determinación del tamaño de grano. Imágenes-tipo

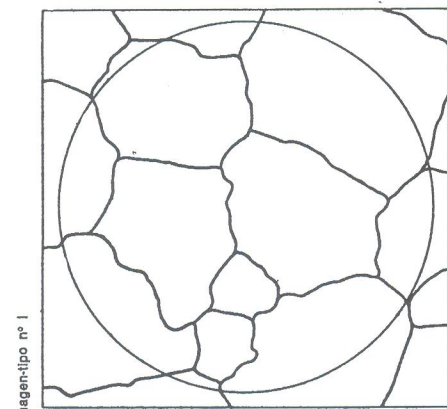


Imagen-tipo nº I

Índice de grano...	—3	—1	1	3	5	7
Aumento lineal ...	25	50	100	200	400	800

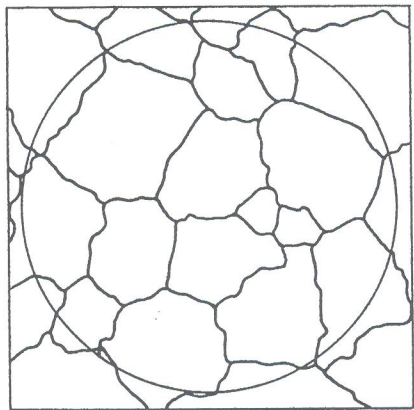


Imagen-tipo nº II

Índice de grano...	—2	0	2	4	6	8
Aumento lineal ...	25	50	100	200	400	800

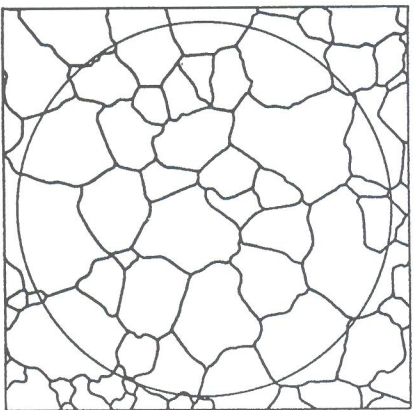


Imagen-tipo nº III

Índice de grano...	—1	1	3	5	7	9
Aumento lineal ...	25	50	100	200	400	800

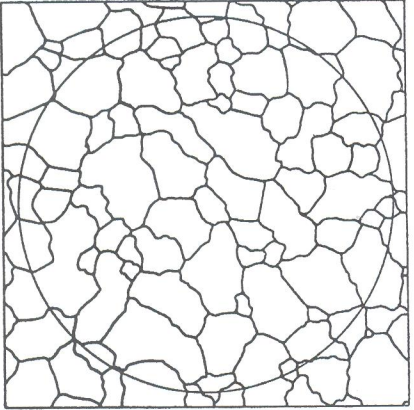


Imagen-tipo nº IV

Índice de grano...	0	2	4	6	8	10
Aumento lineal ...	25	50	100	200	400	800

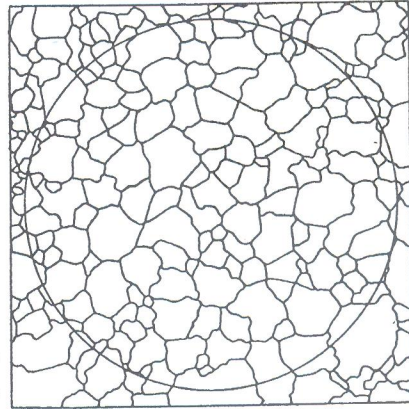


Imagen-tipo nº V

Índice de grano...	1	3	5	7	9	11
Aumento lineal ...	25	50	100	200	400	800

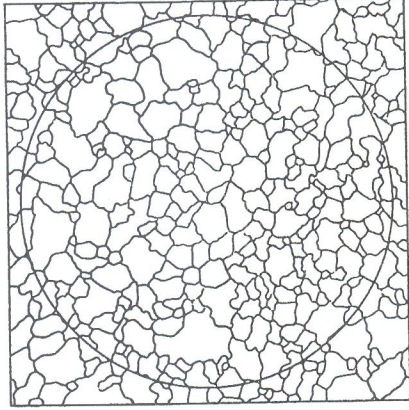


Imagen-tipo nº VI

Índice de grano...	2	4	6	8	10	12
Aumento lineal ...	25	50	100	200	400	800

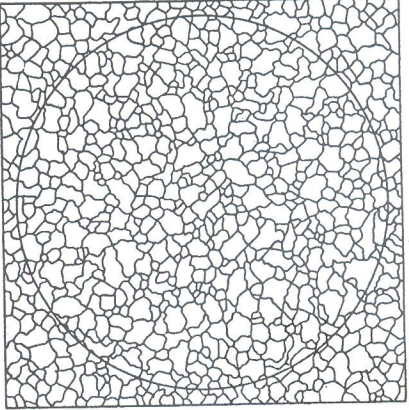


Imagen-tipo nº VII

Índice de grano...	3	5	7	9	11	13
Aumento lineal ...	25	50	100	200	400	800

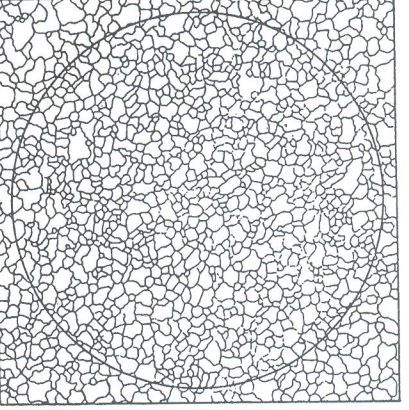


Imagen-tipo nº VIII

Índice de grano...	4	6	8	10	12	14
Aumento lineal ...	25	50	100	200	400	800

En el caso de 100 aumentos, el índice convencional G de tamaño de grano es igual al número de la imagen-tipo.

En el caso de un aumento diferente de 100, el índice es diferente. La tabla situada debajo de cada imagen-tipo establece la correspondencia entre el índice de tamaño de grano y los principales aumentos.

El valor del índice G puede igualmente obtenerse a partir de los valores obtenidos en los métodos descritos en los apartados a) y b).

— Determinación del índice de grano a partir del diámetro medio:

Como se vio en el apartado a), el valor del diámetro medio L_m se obtiene por la expresión $L_m = L_i/g \cdot N_i$ y a partir de este valor, consultando la tabla II (tabla III de la UNE 7280) se obtiene el valor del índice de grano G correspondiente.

— Determinación del índice de grano a partir de la superficie media:

Como se vio en el apartado b) el valor de la superficie media S , se obtiene a partir de la expresión $S = 5.000/n \cdot g^2$, de donde $m = 1/S$ (granos/mm²), que para $g = 100$, resultará ser $m = 2n$.

A partir del valor obtenido de m y consultando la tabla II anteriormente indicada, se puede obtener el valor de G correspondiente.

La norma ASTM (American Society for Texting Materials) establece las mismas imágenes tipo y para el mismo aumento que las normas ISO y UNE.

Si m es el número de granos por pulgada cuadrada de la sección de la muestra y G el índice de grano, estos valores se encuentran relacionados por la expresión

$$m = 2^{G-1}$$

Como quiera que una pulgada cuadrada equivale a

$25,4^2 = 645,14 \text{ mm}^2$, se deduce que, si en $645,14 \text{ mm}^2$ existen $2^{G-1} \cdot 100^2$ existirán m , siendo este valor

$$m = \frac{2^{G-1} \cdot 100^2}{645,14} = 15,5 \cdot 2^{G-1} \text{ granos/mm}^2$$

Convencionalmente el valor de 15,5 se ha redondeado a 16, resultando ser

$$m = 16 \cdot 2^{G-1} = 8 \cdot 2^G$$

La tabla III establece para los mismos índices los valores de m para el sistema ASTM y el sistema métrico.

TABLA III

Índice ASTM, ISO y UNE	m a 100 aumentos		S(μ²)
	Granos/pulgada²	Granos/mm²	
1	1	16	62.500
2	2	32	31.200
3	4	64	15.000
4	8	128	7.810
5	16	256	3.900
6	32	512	1.950
7	64	1.024	980
8	128	2.048	490

TABLA II

Valores de los índices de tamaño de grano G	m			Diámetro medio de un grano mm	Area media de un grano mm²	Número medio de granos por mm³	Longitud media de intersección (método Heyn) mm
	Valor nominal	Valores límite					
		De (excluido)	Hasta (excluido)				
— 7	0,0625	0,46	0,092	4	16	0,016	3,54
— 6	0,125	0,092	0,185	2,828	8	0,044	2,51
— 5	0,25	0,185	0,37	2	4	0,125	1,78
— 4	0,50	0,37	0,75	1,414	2	0,353	1,25
— 3	1	0,75	1,5	1	1	1,000	0,888
— 2	2	1,5	3	0,707	0,5	2,83	0,627
— 1	4	3	6	0,500	0,25	8,00	0,444
0	8	6	12	0,353	0,125	22,7	0,313
1	16	12	24	0,250	0,0625	64,1	0,222
2	32	24	48	0,176	0,0312	183	0,156
3	64	48	96	0,125	0,0156	512	0,111
4	128	96	192	0,0883	0,00781	1450	0,0784
5	256	192	384	0,0612	0,00390	4350	0,0543
6	512	384	768	0,0441	0,00195	11700	0,0391
7	1024	768	1536	0,0306	0,00098	34800	0,0271
8	2048	1536	3072	0,0224	0,00049	88500	0,0198
9	4096	3072	6144	0,0153	0,000244	279000	0,0135
10	8192	6144	12288	0,0112	0,000122	714000	0,00994
11	16384	12288	24576	0,0076	0,000061	$2,3 \cdot 10^6$	0,0067
12	32768	24576	49152	0,0056	0,000030	$5,7 \cdot 10^6$	0,0049
13	65536	49152	98304	0,0038	0,000015	$18 \cdot 10^6$	0,0033
14	131072	98304	196608	0,0028	0,0000075	$46 \cdot 10^6$	0,0024
15	262144	196608	393216	0,0019	0,0000037	$150 \cdot 10^6$	0,0016
16	524288	393216	786432	0,0014	0,0000019	$370 \cdot 10^6$	0,0012
17	1048576	786.432	1572864	0,0009	0,00000095	$1400 \cdot 10^6$	0,0007