

# Grafito especial

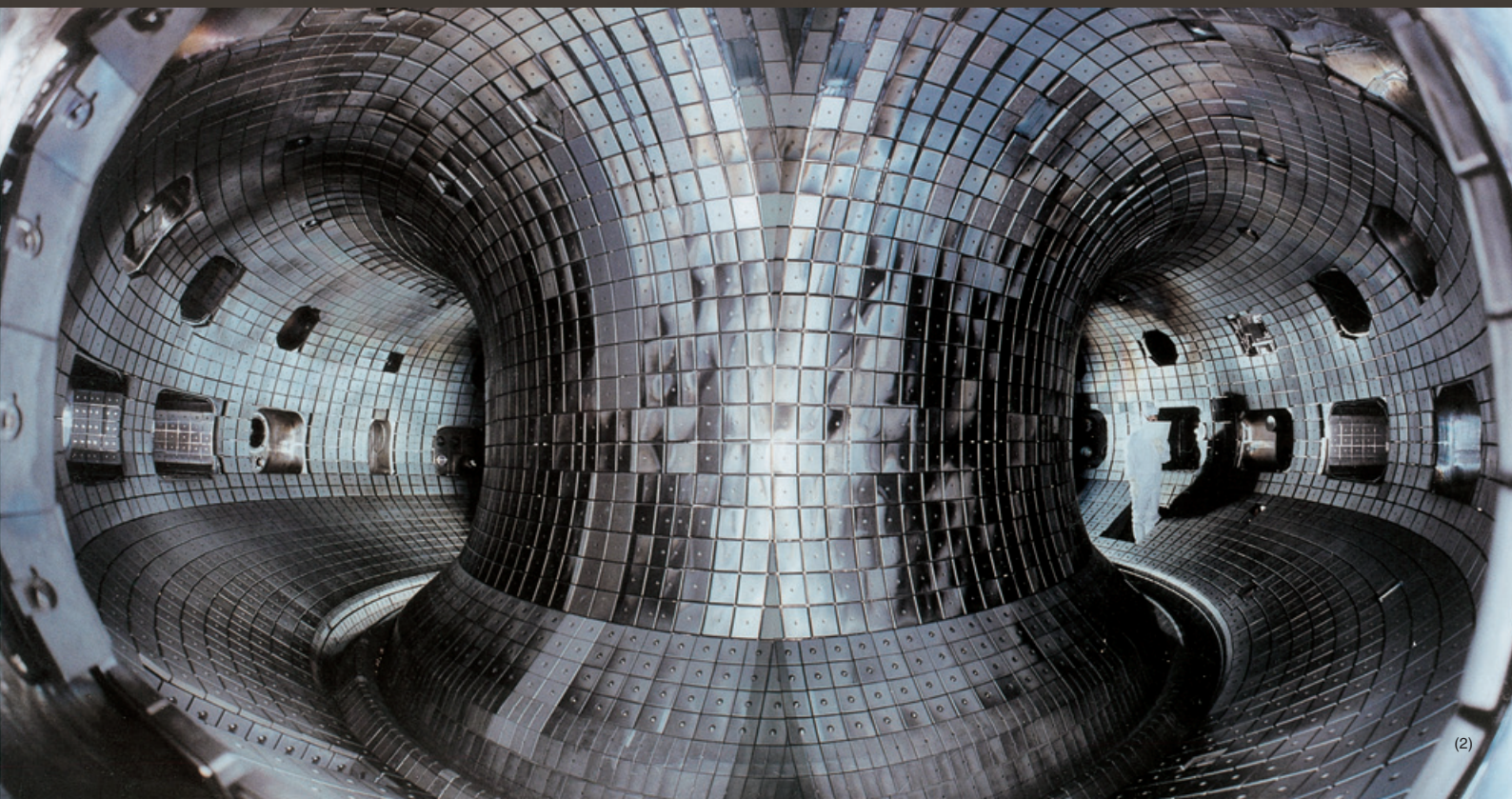


(1) Equipos de fabricación de silicio monocristalino

(2) Equipos de prueba de plasma crítico (JT-60)

\* Fotografías proporcionadas por la  
Agencia de Energía Atómica de Japón

(1)



(2)



# Características de los productos con grafito especial

La demanda de la industria a lo largo de los años se ha concentrado principalmente en el carbono, que tiene propiedades cada vez más estrictas y estables. En este contexto, Toyo Tanso fue el pionero en nuestro sector en el desarrollo de “grafito isotrópico”. Se trata de un material de grafito con micropartículas y una estructura isotrópica y propiedades que se crean por el prensado isostático en frío (CIP, por sus siglas en inglés). Nuestros productos de grafito isotrópico se utilizan en una gran variedad de industrias. Estas industrias incluyen las siguientes: la industria de los semiconductores, donde la innovación está avanzando rápidamente, la industria de la energía renovable y ecológica, la industria del molde, donde la precisión es una prioridad importante, y la industria de la energía atómica, donde la alta fiabilidad es esencial. Nuestra excelencia es reconocida por nuestros clientes, con los que crecemos en conjunto. El efecto sinérgico entre nuestra tecnología exclusiva de alta pureza y varias tecnologías de recubrimiento garantizan la excelencia también en el futuro, y utilizamos nuestra posición como empresa líder para liberar el potencial ilimitado del carbono.

Grafito especial

## ■ Grafito isotrópico

El grafito convencional era anisotrópico, lo que limitaba su uso en muchas aplicaciones. Sin embargo, el grafito isotrópico en la misma muestra representativa no tiene ninguna diferencia en sus propiedades, por lo que se trata de un material fácil de diseñar y usar.

## ■ Alta confiabilidad

El grafito isotrópico es más fuerte que el grafito convencional debido a su estructura de micropartículas. Esto produce un material altamente confiable con una pequeña variación característica.

## ■ Ultra resistencia al calor

En una atmósfera inerte, se puede realizar un uso estable incluso en temperaturas extremadamente altas de 2.000 °C o más. El material tiene una baja expansión térmica y un alto coeficiente de conductividad térmica, lo que le proporciona excelentes propiedades de resistencia al choque térmico y distribución de calor, con una baja deformación térmica. También tiene una característica especial que hace que aumente su fuerza a medida que aumenta la temperatura atmosférica 2.500 °C.

## ■ Excelente conductividad eléctrica

La alta y excelente resistencia al calor significa que el grafito es el material óptimo para aplicaciones como calentadores de alta temperatura.

## ■ Excelente resistencia química

Con la excepción de algunos oxidantes fuertes, es químicamente estable. El grafito puede ser utilizado de forma estable incluso en ambientes que causan corrosión en algunos metales.

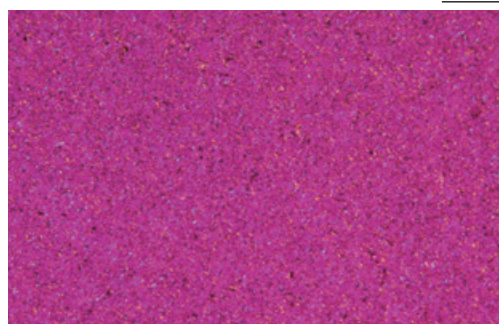
## ■ Liviano y fácil de operar

La densidad aparente es baja en comparación con los materiales metálicos, lo que permite un diseño liviano. Además, tiene excelentes propiedades de la maquinaria que facilitan los procesos de moldeo preciso.

## ■ Grafito isotrópico y grafito anisotrópico

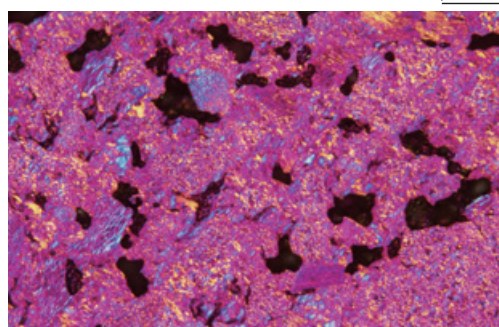
Grafito isotrópico de alta densidad

100 μm

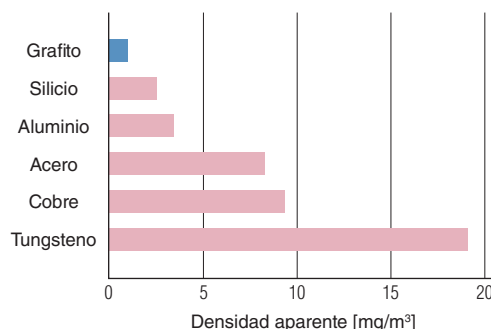


Grafito anisotrópico

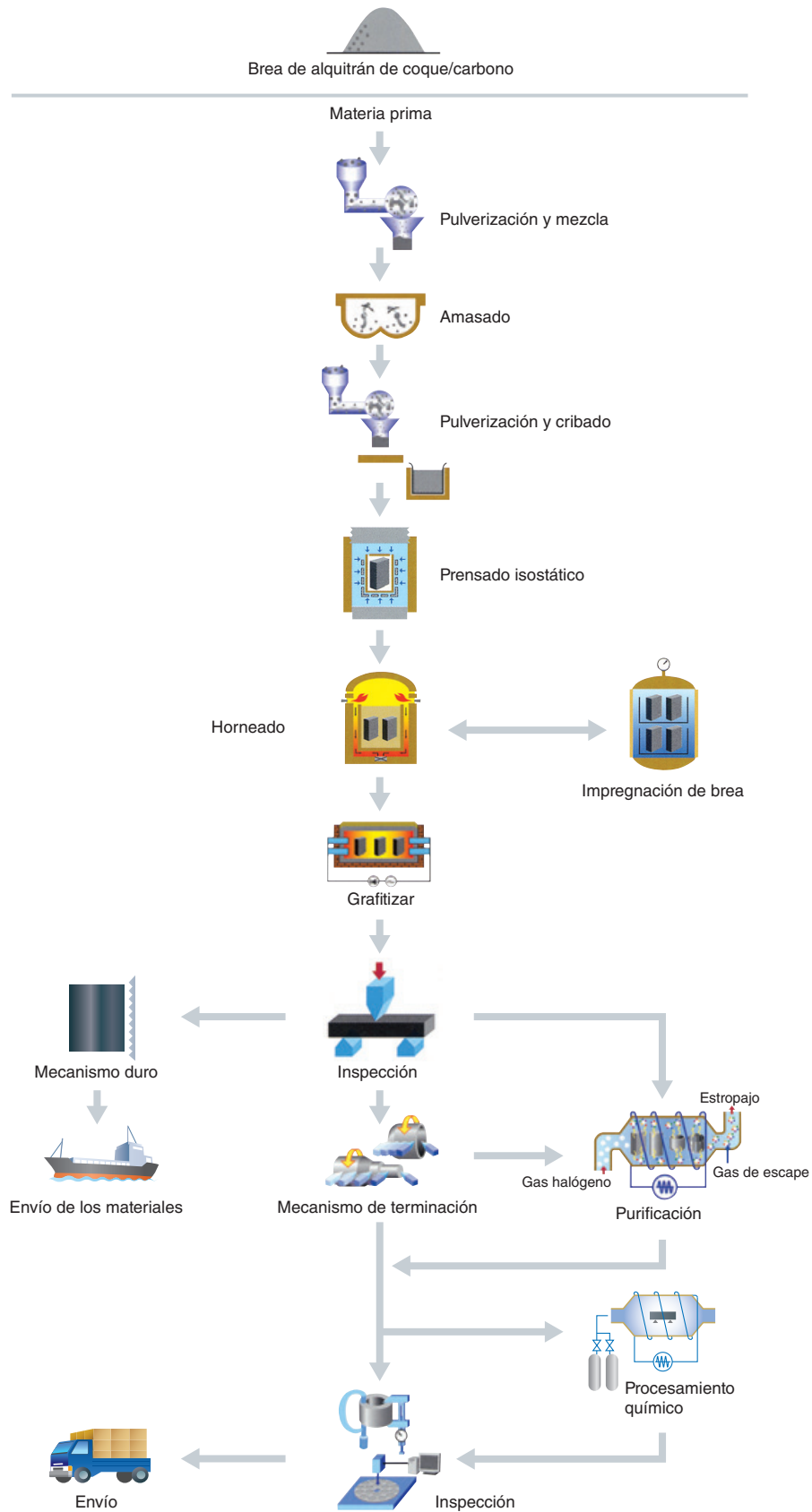
100 μm



El grafito isotrópico de alta densidad es diferente del grafito convencional en que es isotrópico y tiene una estructura de micropartículas, que crea un material muy resistente y muy fiable con una pequeña variación. Este material de grafito isotrópico resuelve el problema asociado con grafito anisotrópico convencional.



# Proceso de fabricación



Grafito especial

# Aplicación

Los productos de grafito especial de Toyo Tanso son muy apreciados por su excelente rendimiento y fiabilidad, y se utilizan en una gran variedad de campos que son esenciales en nuestra vida cotidiana. En la industria del medio ambiente y la energía, nuestros productos se utilizan para la fabricación de células solares, para la energía atómica y para aplicaciones aeroespaciales. En la industria de la electrónica, proporcionamos materiales para varios procesos de fabricación, como el silicio policristalino y el monocristalino, los LED blancos y el dispositivo de alta frecuencia. Entre las aplicaciones básicas de nuestros productos se incluyen los hornos industriales, los moldes de colada continua, como los que se utilizan para las aleaciones de cobre, la fibra óptica y los electrodos de electroerosión para la fabricación de moldes.

Grafito especial

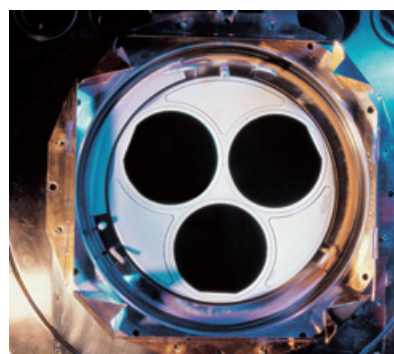
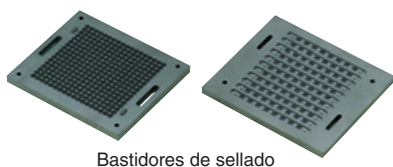
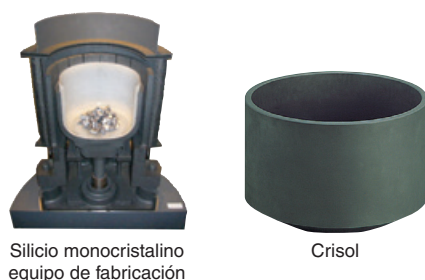
## ■ Medio ambiente y energía

- Fabricación de obleas y células solares
- Energía atómica: Reactor de alta temperatura refrigerado a gas, fusión nuclear
- Electrólisis de flúor
- Celdas de combustible
- Aeroespacial



## ■ Electrónica

- Aplicaciones de fabricación de silicio semiconductor
- Fabricación de silicio policristalino
- Equipos de fabricación de silicio monocristalino
- Susceptores de crecimiento epitaxial
- Electrodos de plasma CVD
- Implantación de iones
- Bastidores de sellado hermético



■ **Electrónica**

- Aplicaciones de fabricación de compuesto semiconductor  
Piezas del equipo de fabricación de cristal  
Susceptores MOCVD



Susceptor MOCVD

- Aplicaciones de fabricación de paneles LCD  
Paneles calentadores  
Electrodo para grabado por plasma



Susceptor plano

- Aplicaciones de fabricación de discos duros  
Objetivos de pulverización catódica



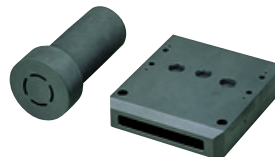
■ **Metalúrgico**

- Fundición continua  
Moldes  
Mandriles



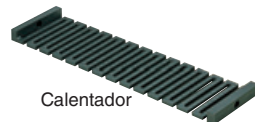
Molde para prensado en caliente (Modelo cortado)

- Prensado en caliente  
Moldes  
Punzón  
Mangas  
Espaciadores



Moldes de fundición continua

- Horno industrial  
Calentadores  
Bandejas



Calentador

- Crisoles de evaporación al vacío



Crisoles de evaporación al vacío

- Crisoles de análisis del gas

- Aplicaciones de fabricación de fibra óptica  
Calentadores  
Tubo tipo mufla



- Electrodo EDM



Electrodos EDM





# Información propietaria

## ■ Propiedades típicas

Grado	Densidad aparente	Dureza	Resistividad eléctrica	Fuerza flexional	Fuerza compresiva	Fuerza extensible	Módulo de Young	Coefficiente de expansión térmica	Conductividad térmica	Tamaño estándar	
	mg/m <sup>3</sup>	HSD	μΩ·m	MPa	MPa	MPa	GPa	10 <sup>-6</sup> /K	W/(m·K)	(mm)	
IG-11	1,77	51	11,0	39	78	25	9,8	4,5	120	305 x 620 x 1000 D585 x 1050	410 x 410 x 2040
IG-12	1,78	55	12,5	39	88	28	10,8	4,7	100	305 x 620 x 1000 D585 x 1050	
IG-15	1,90	60	9,5	54	103	29	11,8	4,8	140	230 x 620 x 1000	
IG-19	1,75	60	17,0	38	88	25	9,5	4,6	80	D585 x 1050 305 x 620 x 1000	
IG-43	1,82	55	9,2	54	90	37	10,8	4,8	140	300 x 540 x 850	
IG-45	1,88	55	9,0	60	110	40	12,0	4,9	140	300 x 540 x 850	
IG-56	1,77	57	12,2	43	88	27	10,3	4,7	100	190 x 620 x 1500	D1150 x 560
IG-70	1,83	58	10,0	47	103	31	11,8	4,6	130	305 x 620 x 1000 D460 x 1050	
ISEM-1	1,68	45	13,5	36	69	20	8,8	4,2	90	305 x 620 x 1000	
ISEM-2	1,78	55	11,0	41	83	25	9,8	4,6	120	305 x 620 x 1000	
ISEM-3	1,85	60	10,0	49	103	29	11,8	5,0	130	305 x 620 x 1000	
ISEM-8	1,78	63	13,4	52	106	34	10,1	5,6	90	305 x 620 x 1050 a 1200	
ISO-63	1,78	76	15,0	65	135	46	12,0	5,6	70	230 x 540 x 1000	
ISO-66	1,82	75	14,4	70	134	46	12,6	7,1	80	180 x 450 x 850	
ISO-68	1,82	80	15,5	76	172	54	13,2	5,6	70	230 x 540 x 1000	
TTK-50	1,80	70	13,0	60	130	40	11,5	5,1	100	305 x 620 x 1000	230 x 540 x 1000
TTK-4	1,78	72	14,0	73	135	49	10,9	5,0	90	210 x 510 x 950	
TTK-5	1,78	80	15,5	80	150	53	11,6	5,7	80	210 x 510 x 950	
TTK-8	1,77	78	15,0	80	155	55	12,0	5,3	80	150 x 400 x 700	
TTK-9	1,77	90	18,0	92	180	67	13,0	5,8	70	150 x 400 x 700	
SIC-6	1,85	60	10,0	49	103	29	11,8	5,0	130	305 x 620 x 1000	
SIC-12	1,77	65	14,1	47	93	29	10,8	5,0	80	305 x 620 x 1000	
HPG-51	1,78	73	14,3	75	140	50	11,0	5,1	90	210 x 510 x 950	
HPG-53	1,78	81	15,7	80	156	55	11,8	5,8	80	210 x 510 x 950	
HPG-59	1,91	88	13,5	100	210	74	12,7	5,7	95	100 x 500 x 950	
HPG-81	1,77	80	15,1	83	161	58	12,2	5,2	80	150 x 400 x 700	
HPG-83	1,77	92	18,2	96	187	70	13,3	5,9	70	150 x 400 x 700	

\* Las cifras anteriores son valores típicos y no están garantizados.

\* El intervalo de la temperatura de medición para el coeficiente de expansión térmica es entre 350 y 450 °C.

\* Conversión de unidades: μΩ·m=μΩ·cm × 0,01 MPa=kgf/cm<sup>2</sup> × 0,098 GPa=kgf/mm<sup>2</sup> × 0,0098 W/(m·K)=kcal/h·m·°C × 1,16

\* Existen otros tamaños de producto además de los que se describieron con anterioridad. Póngase en contacto con Toyo Tanso para obtener más detalles.

## ■ Ejemplo del análisis de impurezas

Unidad: ppm de masa

Elemento	Contenido			Método de medición
	Grafito de ultra alta pureza	Grafito de alta pureza	Grafito regular	
Li	<0,001	<0,001	<0,03	ICP-MS
B	0,10	0,15	3	ICP-MS
Na	<0,002	<0,002	<0,5	ICP-MS
Mg	<0,001	0,004	0,2	ICP-MS
Al	<0,001	0,012	14	ICP-MS
Si	<0,1	<0,1	2	UV
K	<0,03	0,04	2	FL-AAS
Ca	<0,01	0,08	6	FL-AAS
Ti	<0,001	<0,001	33	ICP-MS

Elemento	Contenido			Método de medición
	Grafito de ultra alta pureza	Grafito de alta pureza	Grafito regular	
V	<0,001	0,018	40	ICP-MS
Cr	<0,004	0,006	<0,3	ICP-MS
Mn	<0,001	<0,001	<0,2	ICP-MS
Fe	<0,02	0,06	26	ICP-MS
Co	<0,001	<0,001	<0,3	ICP-MS
Ni	<0,001	0,006	4	ICP-MS
Cu	<0,002	<0,002	<1	ICP-MS
Zn	<0,002	<0,002	<0,6	ICP-MS
Pb	<0,001	<0,001	<1	ICP-MS

\* Las cifras anteriores son ejemplos de medidas reales y no están garantizados.

\* ICP-MS: Espectrómetro de masa plasma acoplado inductivamente, FL-AAS: Espectrómetro de absorción atómica sin llama, UV: Espectrofotómetro de absorción.

\* El contenido de impurezas de grafito regular es de aproximadamente 400 ppm de masa, sin embargo, se requiere una mayor pureza para aplicaciones como en las industrias semiconductoras. En Toyo Tanso podemos utilizar un tratamiento de halógeno de alta temperatura para purificar el grafito hasta llegar a los niveles de ppm de masa solicitados por nuestros clientes.

## ■ Propiedades químicas

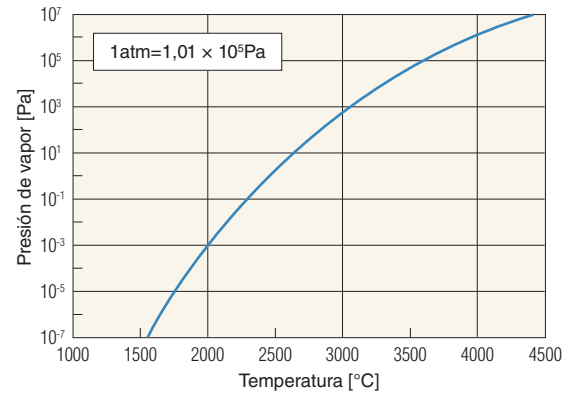
### ■ Temperaturas de reacción inicial con diferentes sustancias

\* Extraída de otras publicaciones

Reactant	Temperatura de reacción inicial	Compuesto de reacción
Aluminio	800 °C	Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub>
Boro	1600 °C	B <sub>4</sub> C
Hierro	600 a 800 °C	Fe <sub>3</sub> C
Sodio	400 a 450 °C	C <sub>24</sub> Na <small>Compuesto de intercalación (cuando hay O<sub>2</sub> presente)</small>
Cobalto	218 °C	CoC, Co <sub>3</sub> C
Molibdeno	700 °C	Mo <sub>2</sub> C
Níquel	1310 °C	Ni Carbonizado en Ni
Silicio	1150 °C	SiC
Cobre	—	
Magnesio	—	
Plomo	—	
Estaño	—	
Tungsteno	1400 °C	W <sub>2</sub> C, WC (en hidrógeno)
Potasio	300 °C	C <sub>8</sub> K <small>Otros compuestos de intercalación</small>
Litio	500 °C	Li <sub>2</sub> C <sub>2</sub>
Berilio	900 °C	Be <sub>2</sub> C (en un vacío o He)
Óxido de boro	1200 °C	CO, B
Óxido de vanadio (V)	438 °C	CO, V
Óxido de hierro (III)	485 °C	CO, Fe
Óxido de titanio (IV)	930 °C	CO, Ti, TiC
Dióxido de silicio	1250 °C	CO, Si, SiC
Alúmina	1280 °C	CO, Al, Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub>
Óxido de berilio	960 °C	CO, Be, Be <sub>2</sub> C
Óxido de magnesio	1350 °C	CO, Mg
Óxido de circonio (IV)	1300 °C	CO, Zr, ZrC

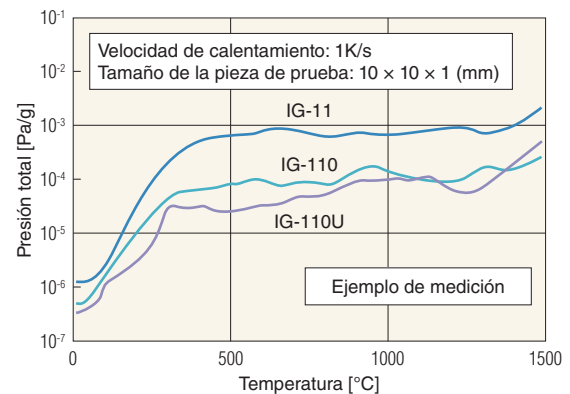
### ■ Presión de vapor

\* Extraída de otras publicaciones



El grafito es un material extremadamente estable en temperaturas por debajo de los 2.200 °C. Sin embargo, la presión de vapor aumenta en altas temperaturas y grandes vacíos, por lo que se debe tener cuidado con el desgaste acelerado del grafito.

### ■ Espectro de desorción térmica (TDS)



El grafito emite el gas absorbido cuando está sometido a altas temperaturas. Algunas aplicaciones como las industrias de semiconductores deben utilizar grafito altamente purificado o ultrapurificado, que emite menos gas.

### ■ Reactividad en diversos tipos de ambientes/gas

\* Extraída de otras publicaciones

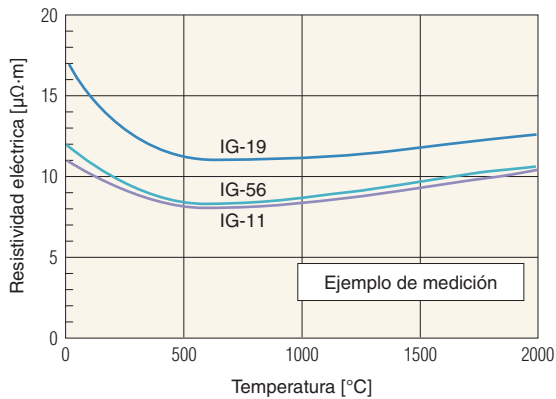
Tipos de entorno/ especies gaseosas	Temperaturas de reacción inicial/Temperaturas de reacción	Fenómeno de génesis o compuesto producido	Observaciones
Aire	420 a 460 °C	Oxidación/CO, CO <sub>2</sub>	Aprox. 100 °C más alto en caso de grafito de alta pureza
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	420 a 460 °C	Oxidación/CO, CO <sub>2</sub>	Reacciona con el oxígeno atómico en la temperatura normal
Vapor (H <sub>2</sub> O)	Aprox. 650 °C	Oxidación/CO, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub>	
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Aprox. 900 °C	Oxidación/CO	
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	Aprox. 700 °C	Metanización/CH <sub>4</sub>	Produce C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> o similar a una temperatura mayor
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	Inertar a una temperatura mayor a la temperatura ambiente	Sublimación	Produce cianógeno C <sub>2</sub> N <sub>2</sub> durante la descarga y con un entorno con una presión alta de 2700 °C N <sub>2</sub>
Cloro (Cl <sub>2</sub> )	Inertar a una temperatura mayor a la temperatura ambiente	Sublimación	Produce un compuesto de intercalación en una temperatura más baja que 0 °C
Flúor (F <sub>2</sub> )	420 a 1900 °C	Fluoración/CF	Produce CF <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> o algo así hasta la temperatura
Argón (Ar)	Inerte a cualquier temperatura	Sublimación	
Vacío	—	Sublimación	En un entorno de mayor temperatura y vacío, el sublimado más fácil

En una atmósfera oxidante, el grafito reacciona con oxígeno a una temperatura relativamente baja. Sin embargo, en un entorno no oxidante, el grafito es químicamente un material extremadamente estable, lo que permite una amplia gama de aplicaciones.

# Información propietaria

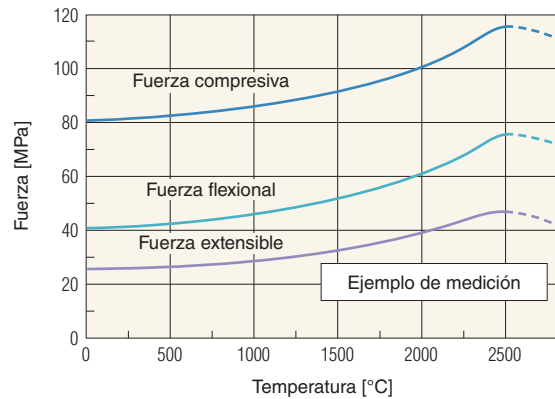
## ■ Propiedades de alta temperatura

### ■ Resistividad eléctrica



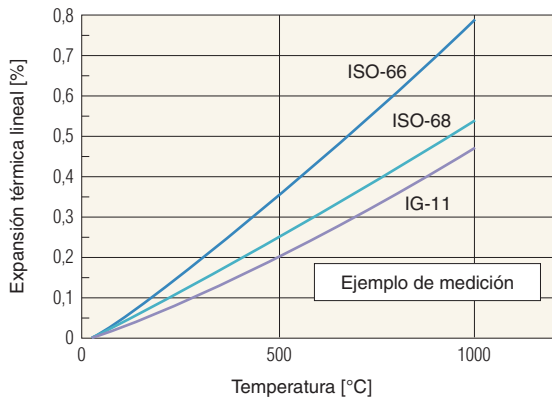
Dado que las características térmicas difieren de un grado a otro, el coeficiente de resistividad eléctrica debe ser estudiado cuidadosamente al seleccionar el grado para un elemento de calefacción.

### ■ Fuerzas (IG-11)

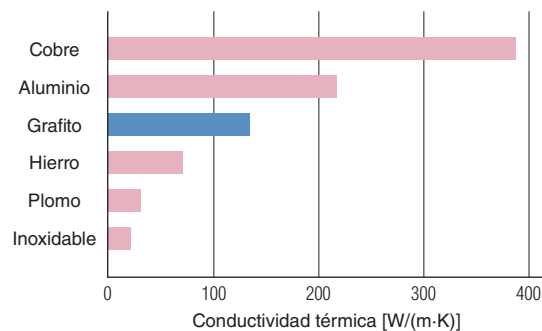
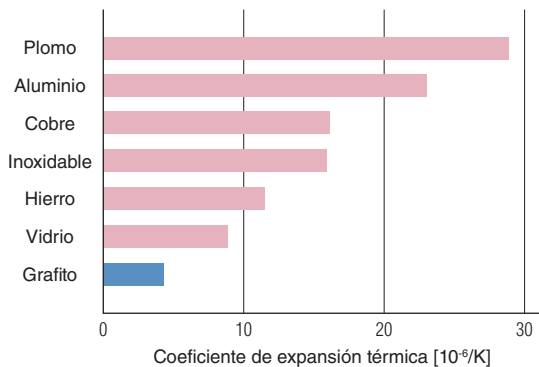
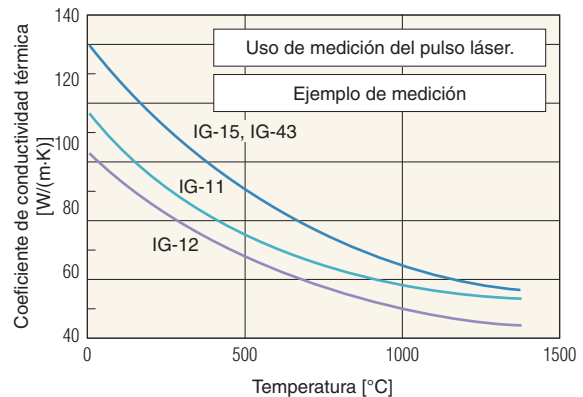


Una característica inigualable de grafito, que lo hace indispensable en aplicaciones de alta temperatura, es que a medida que aumenta la temperatura (hasta 2.500 °C), la resistencia también aumenta. La fuerza alcanza niveles aproximadamente el doble de aquellos a temperatura ambiente.

### ■ Expansión térmica lineal



### ■ Conductividad térmica



En comparación con los metales generales, el coeficiente de expansión térmica para el grafito es extremadamente bajo. Como resultado, cuando se usa en aplicaciones de alta temperatura, la precisión dimensional es muy estable.

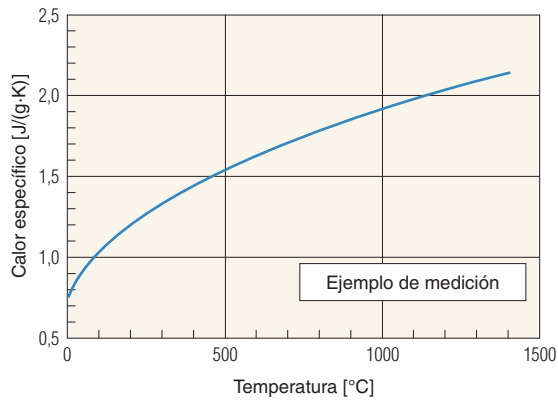
La conductividad térmica del grafito es bastante alta, mientras que el coeficiente de expansión térmica es muy bajo. Estas características contribuyen a su resistencia superior al choque térmico. La relación entre la conductividad térmica y la resistividad eléctrica del grafito a temperatura ambiente se indica a continuación.

$$\text{Referencia:} \quad \text{Coeficiente de expansión térmica de } (10^{-6}/K) = \frac{\text{Expansión térmica lineal } (\%) \times 10^{-2}}{\text{Diferencia de temperatura } (^\circ C)}$$

$$\text{Conductividad térmica [W/(m·K)]} = \frac{0,13 \times 10^4}{\text{Resistividad eléctrica } (\mu\Omega\text{-m})}$$

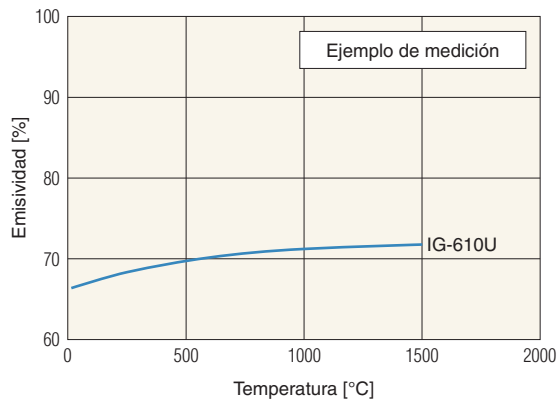


■ Calor específico



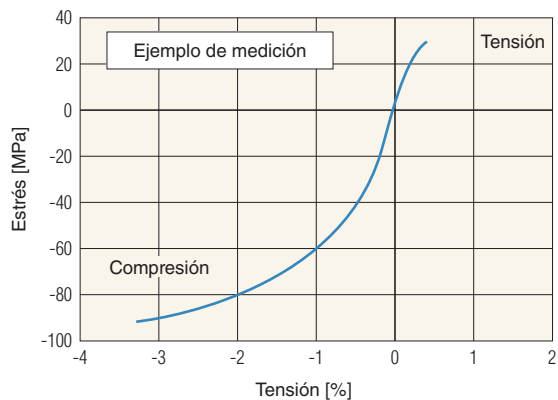
Debido a la naturaleza anisotrópica de sus cristales, el calor específico del grafito a temperatura ambiente se mantiene a un tercio de la de los sólidos generales. El valor del calor específico es esencial para diversas funciones termodinámicas. A altas temperaturas, los valores de calor específico son similares sin importar los grados del grafito.

■ Emisividad



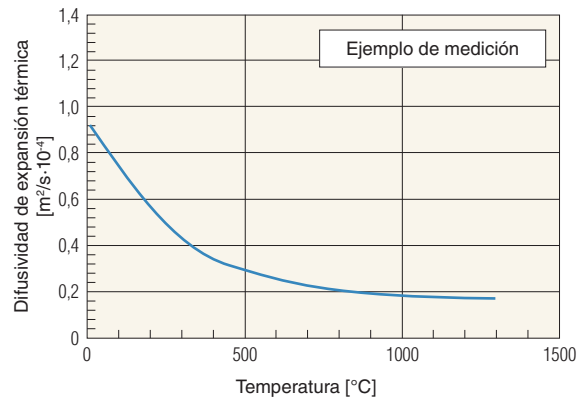
■ Propiedades físicas

■ Curva de tensión-deformación (IG-12)



El grafito generalmente muestra la deformación elástica-plástica. El comportamiento de la fractura es diferente bajo tensión y en compresión, por lo que se debe tener cuidado.

■ Difusividad de expansión térmica

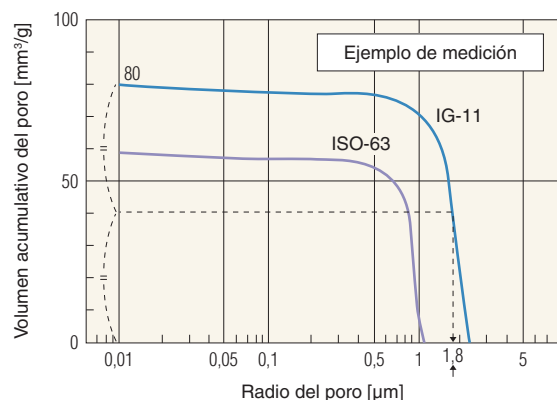


Este gráfico muestra que a medida que la temperatura aumenta, más rápido se transmite el calor. La difusividad térmica de grafito es superior a otros materiales.

$$\text{Referencia: Difusividad de expansión térmica} = \frac{\text{Conductividad térmica}}{\text{Calor específico} \times \text{Densidad}}$$

■ Propiedades físicas

■ Curva de distribución de los poros



Esto muestra la distribución de los poros a través del método de penetración de mercurio. La distribución de poros tiene una estrecha relación con la permeabilidad del gas y otras propiedades únicas del grafito. La posición a medio camino del volumen de poros acumulativo indica el radio medio de los poros.

Ejemplo: Para IG-11 80/2 = 40 mm³/g → 1,8 µm

# Mecanismo

## ■ Estándares de rugosidad de la superficie

Dado que los productos de carbono son porosos, es difícil obtener un acabado de superficie equivalente al metal. La tabla de la derecha muestra la correspondencia del "Símbolo de terminación de superficie" y las normas de dureza de la superficie, Ry & Ra & Rz.

## ■ Estándares de rugosidad de la superficie

Símbolo de finalización (para referencia)	La rugosidad de la superficie del mecanismo de carbono			Método de terminación	La rugosidad de la superficie del mecanismo de metal		
	Ry	Ra	Rz		Ry	Ra	Rz
▽▽▽▽	√Ry3	0,75/√	√Rz3	Rectificado lapeado	√Ry0,8	0,2/√	√Rz0,8
▽▽▽	√Ry12	3,0/√	√Rz12	Triturador, Torno fresador	√Ry6,3	1,6/√	√Rz6,3
▽▽	√Ry35	8,75/√	√Rz35	Torno fresador	√Ry25	6,3/√	√Rz25
▽	√Ry100	25/√	√Rz100	Torno fresador	√Ry100	25/√	√Rz100
~	Sin norma en particular			Sierra	Sin norma en particular		

\* 3,0/√ significa que el máximo es de Ra 3,0 micro ingleses.

## ■ Tolerancia de dimensión del mecanismo

Si no se especifica la tolerancia en el plano del cliente, aplicar el grado intermedio de JIS B 0405.

## ■ Normas de tolerancia de la dimensión

Unidad: mm

Categoría de dimensión nominal		Tolerancia
0,5 o más	6 o menos	±0,1
Superior a 6	30 o menos	±0,2
Superior a 30	120 o menos	±0,3
Superior a 120	400 o menos	±0,5
Superior a 400	1000 o menos	±0,8
Superior a 1000	2000 o menos	±1,2

\* La información anterior se puede aplicar cuando el grafito es mecanizado por Toyo Tanso en Japón.

Toyo Tanso tiene una amplia gama de grados de carbono y grafito disponibles para satisfacer sus necesidades. Antes de utilizar uno de nuestros productos, asegúrese de contactar a nuestro departamento de ventas para consultar sobre la selección del grado más adecuado.