



Composites grafito-metal para aplicaciones de gestión de energía

J. Piñuela-Noval*, M. Suárez, D. Fernández-González L. A. Díaz, R. Torrecillas, L. F. Verdeja, A. Borrell, A. Fernández

[*j.pinuela@cinn.es](mailto:j.pinuela@cinn.es)

Mayo de 2022

Índice

1. Introducción

2. Objetivo

3. Metodología

4. Resultados

5. Conclusiones

1. Introducción

Actualidad

¿Qué se investiga?

Búsqueda y desarrollo de nuevos
DISIPADORES DE CALOR

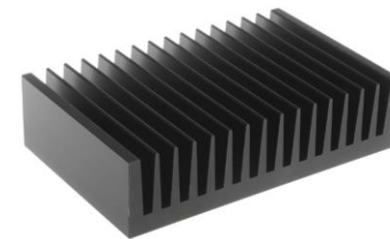
¿Cómo deben ser?

Ligeros, seguros, muy eficientes y resistentes a grandes evacuaciones de energía y al choque térmico.

¿Qué se quiere conseguir?

Satisfacer las necesidades de las nuevas tecnologías y evitar ser un impedimento (baja eficiencia) pudiendo causar daños por un aumento de T^a

Dispositivos electrónicos

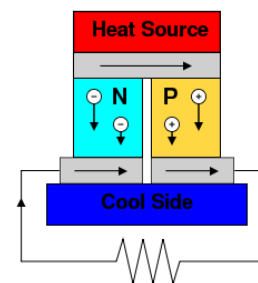


Aeronáutica

Transportes



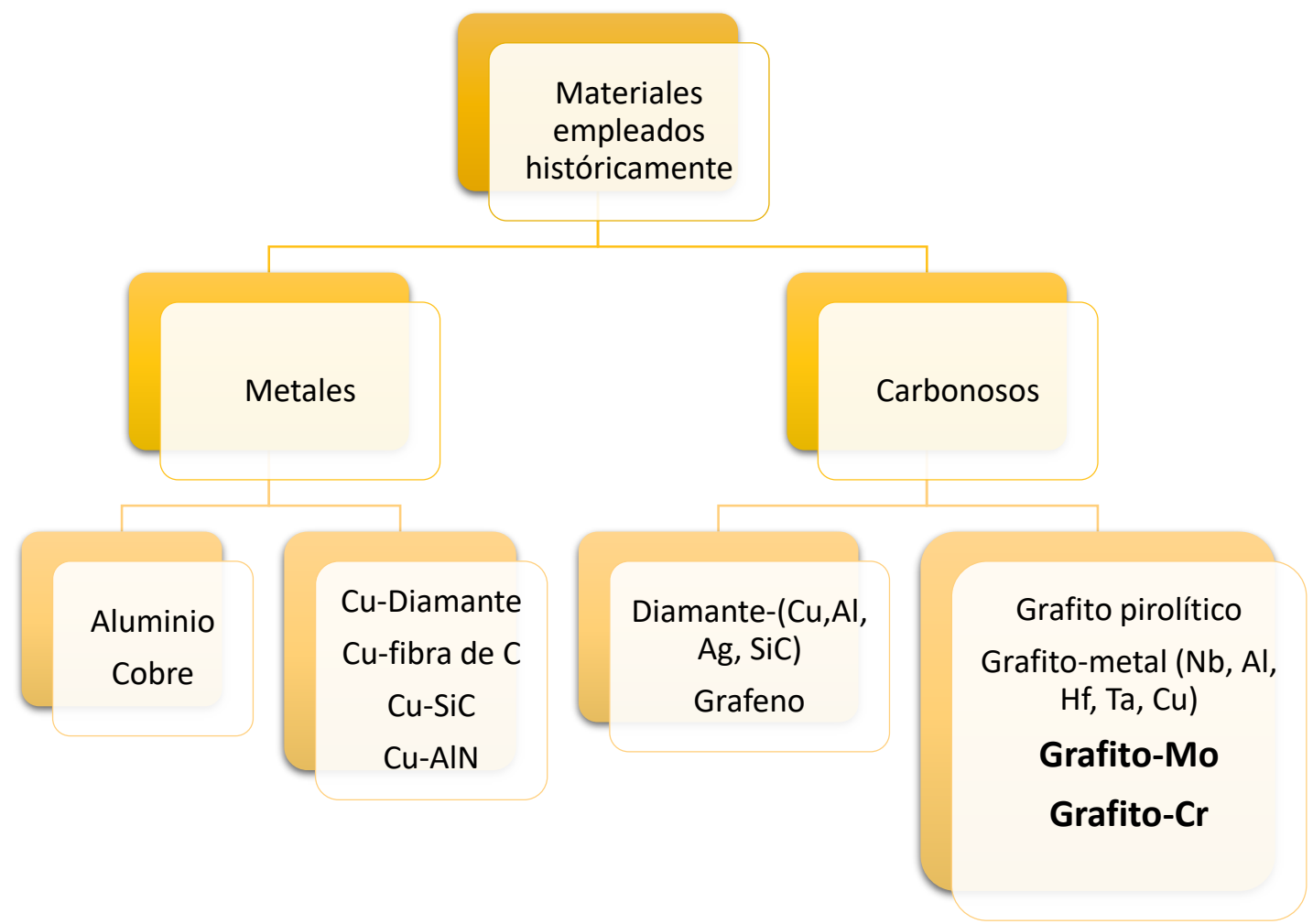
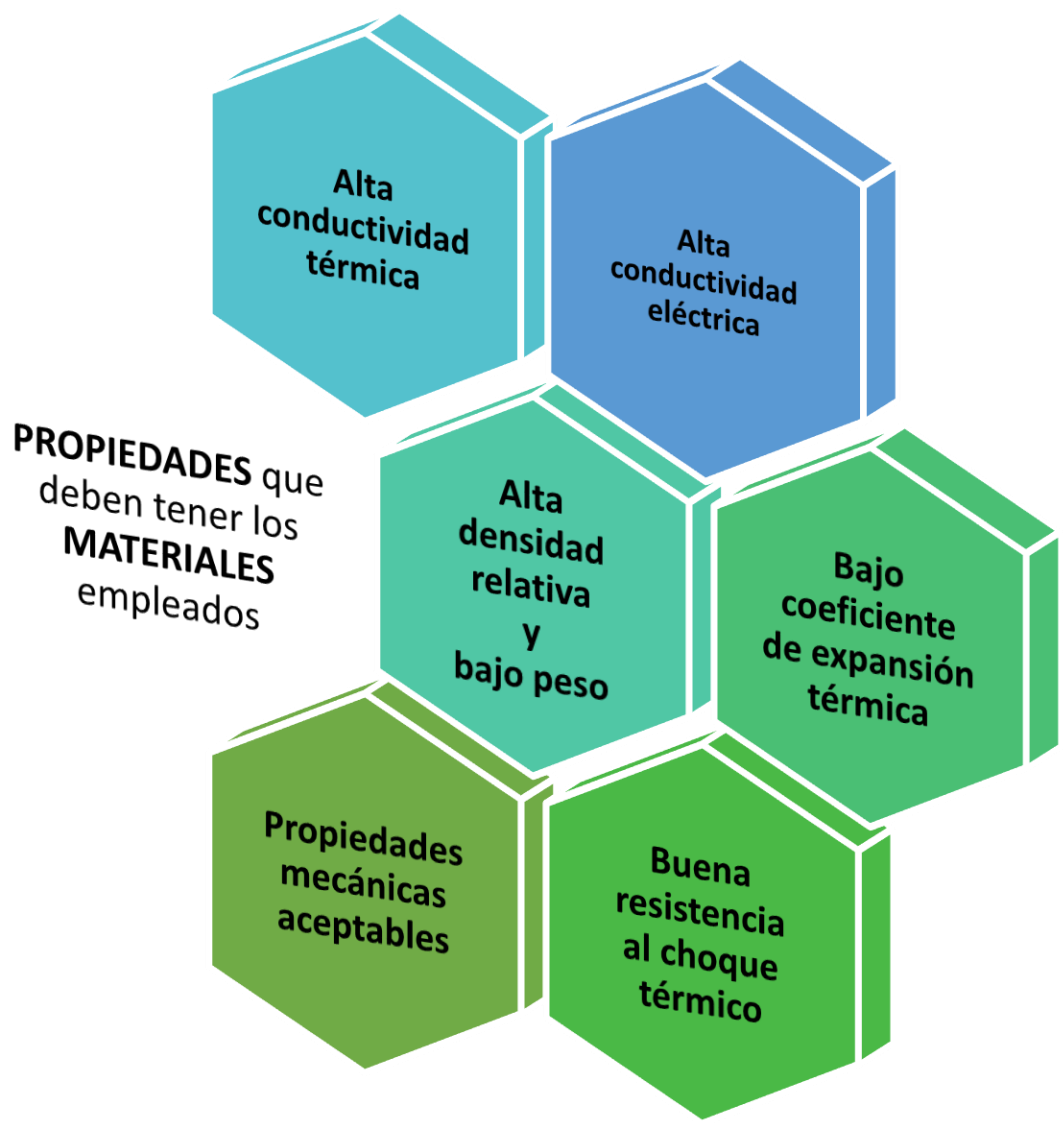
¿En qué campos se aplica?



Generación de energía

Acelerador de partículas (colimadores)





2. Objetivo

El **OBJETIVO** de la presente investigación versa sobre el estudio de las mejores condiciones para fabricar composites nanoestructurados **grafito-carburo de metal (Mo, Cr)** mediante la tecnología Spark Plasma Sintering partiendo del procesamiento de polvos mediante *mezcla mecánica* de polvos en molinos de atrición de alta energía o la técnica de *síntesis coloidal* a partir de precursores en disolución.

3. Metodología

Procesado de Polvos

Mezcla Mecánica en molino de atricción



Polvos	Vol. %
Grafito	75 - 100
Mo/Cr	0 - 15
3ª fase	0 - 10

Preparación de la composición



Mezclado en molinos de atricción de alta energía

En propanol. 3 h. 45 Hz.

Secado y Tamizado

120 °C: Estufa

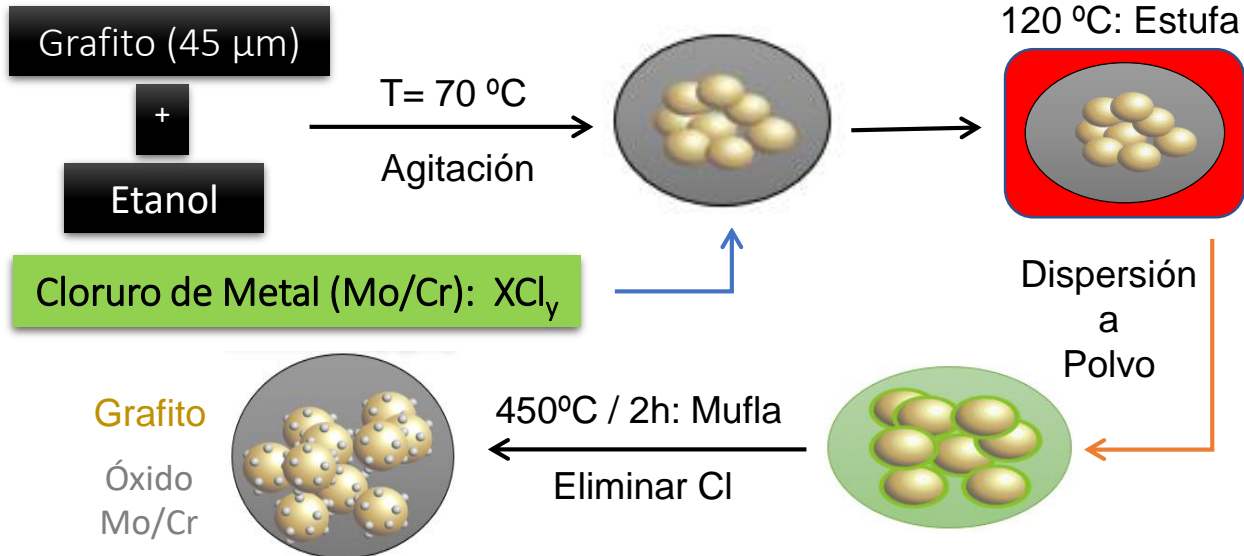
< 180 µm



Conformado del cuerpo en verde



Síntesis Coloidal



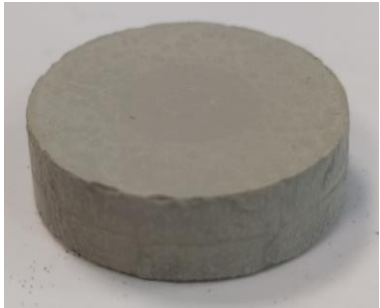
Tamizado

< 180 µm



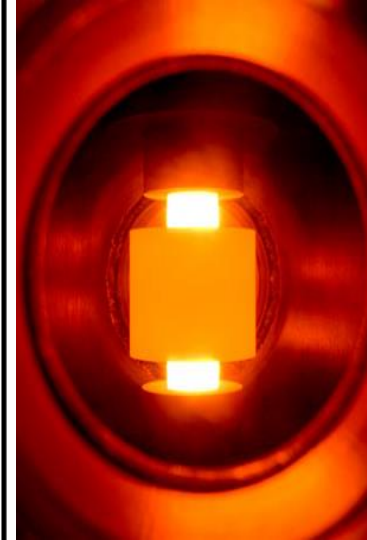
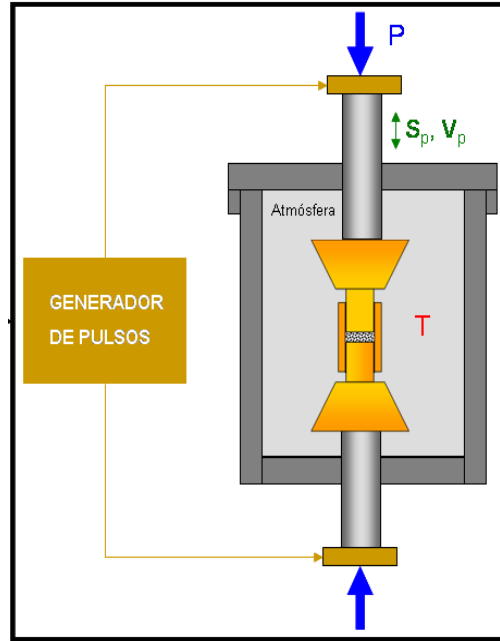
Sinterización: Spark Plasma Sintering (SPS)

Preparación del cuerpo en verde

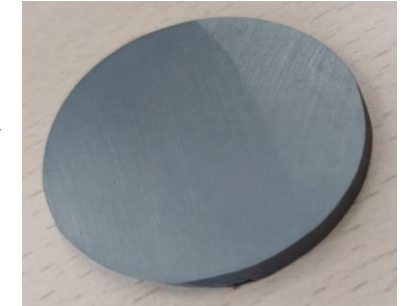


Diámetro: 20/40 mm
Espesor: 3 mm

SPS →



Producto Sinterizado



Grafito
+
Carburos de Mo/Cr

La aplicación simultánea de **presión uniaxial** y **calentamiento** mediante paso de corriente eléctrica a través del material.

Para cada material es necesario establecer distintas variables:

- ✓ Temperatura de sinterización
- ✓ Velocidad de calentamiento
- ✓ Tiempo de estancia
- ✓ Presión aplicada

↓
Caracterización de las propiedades del material

4. Resultados

Composición:

Grafito (89% vol) + Mo
(10% vol) + Ti (1% vol)

Producto final:

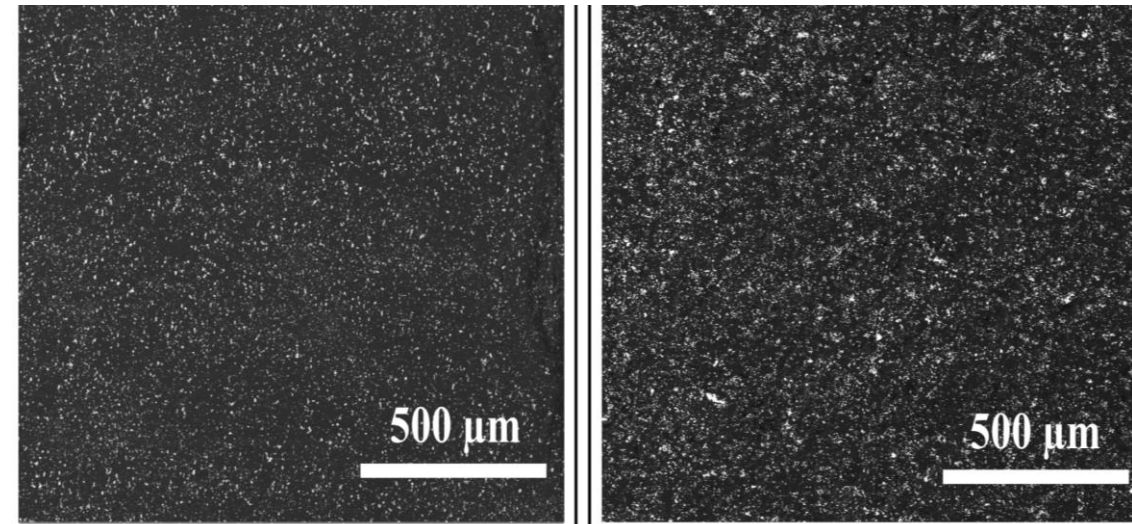
Grafito + Carburo de Mo

Propiedades	Mezcla Mecánica	Síntesis Coloidal
Densidad en verde (g/cm ³)	1,54	1,59
Densidad relativa SPS (%)	92,1	95,2
Resistencia a flexión (MPa)	48,09	135,54
Módulo de Young (GPa)	79,57	134,68
Conductividad Eléctrica (MS/m)	0,32	0,99
Conductividad Térmica (W/mK)	17,54	136,68

Grafito + Mo + Ti

Mezcla Mecánica VS Síntesis Coloidal

Condiciones SPS (Vacío)	Diámetro (mm)	40
	Espesor (mm)	3
	Presión Verde (MPa)	15



a) Mezcla mecánica en molino de atricción

b) Grafito dopado con Mo por Síntesis Coloidal

Tamaño de Partícula medio:

4-6 μm 2-4 μm

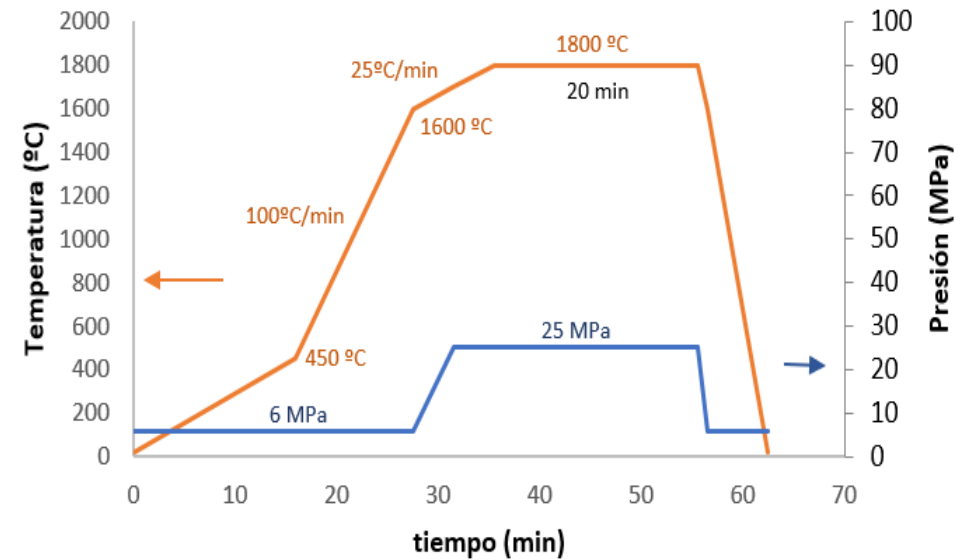
Grafito + Cr Mezcla Mecánica

Composición:

Grafito + Cr (0, 1, 2, 5, 7, 10 %vol)

Condiciones SPS (Vacío)	Diámetro (mm)	40
	Espesor (mm)	3
	Presión Verde (MPa)	60

Programa SPS Grafito-Cr



Producto final:

Grafito + Cr₃C₂

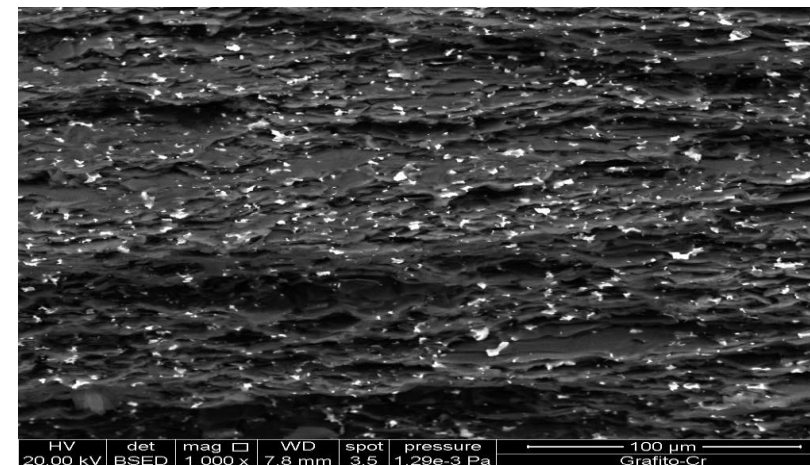
Propiedades	Grafito + X %vol Cr					
	0	1	2	5	7	10
Densidad relativa SPS (%)	86,21	86,56	89,67	91,25	92,05	89,41
Resistencia a flexión (MPa)	22,98	18,19	20,51	29,64	37,41	41,01
Módulo de Young (GPa)	22,53	23,34	27,09	45,50	52,73	46,39
Conductividad Eléctrica (MS/m)	0,038	0,061	0,1196	0,2031	0,7854	0,4539
Conductividad Térmica (W/mK)	13,78	15,72	22,05	58,94	264,13	131,90

Grafito + Cr + Fibras de Carbono (CF) Mezcla Mecánica

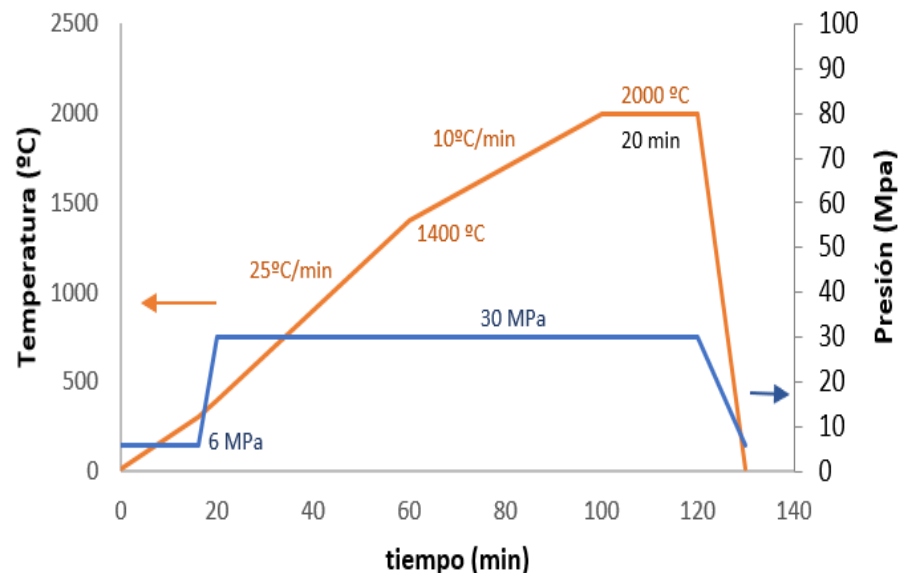
Composición:

Grafito + Cr₃C₂ (15 %vol) + CF (2,5, 5, 10 %vol) → CF: < 150 μm

Condiciones SPS (Vacío)	Diámetro (mm)	40
	Espesor (mm)	3
	Presión Verde (MPa)	60



Programa SPS Grafito + Cr₃C₂ + CF



Producto final:

Grafito + Cr₃C₂ + CF

Propiedades	Grafito + X %vol Cr ₃ C ₂ + Y %vol CF					
	0 + 0	0 + 10	15 + 0	15 + 2,5	15 + 5	15 + 10
Densidad relativa SPS (%)	83,14	82,94	83,05	90,36	89,36	89,18
Resistencia a flexión (MPa)	22,98	18,99	113,30	117,45	106,46	112,58
Módulo de Young (GPa)	22,53	23,11	45,09	50,09	84,23	50,55
Conductividad Eléctrica (MS/m)	0,036	0,025	1,08	1,08	1,09	0,84
Conductividad Térmica (W/mK)	13,78	14,09	215,4	322,6	360,3	256,8

5. Conclusiones

Grafito – Mo - Ti:

- La **Síntesis Coloidal** respecto al molino de atricción: Conductividad eléctrica x3, Propiedades térmicas x8 y Resistencia a flexión x4.
- El producto se puede obtener a 2000 °C para disipadores de calor. 600 °C por debajo de lo expuesto en otros estudios.

Grafito - Cr:

- La mejor composición es la del **7 %vol Cr**.
- Adecuado material como disipador de calor. Propiedades aceptables pero más bajas que en el caso anterior, a excepción de la conductividad térmica.
- Ventajas por la Tª de sinterización: 1800 °C.

Grafito - Cr₃C₂ - CF:

- Las propiedades mecánicas y eléctricas mejoran con el Cr₃C₂, salvo con el 10% CF.
- Las **CF** mejoran las conductividad térmica hasta el **5 %vol**.
- El material más adecuado para esta aplicación es: **Grafito – 15 %vol Cr₃C₂ – 5 %vol CF**.

Gracias por su Atención

Agradecimientos:

Juan Piñuela Noval agradece al Programa “Severo Ochoa” de Ayudas para la investigación y docencia del Principado de Asturias la financiación para la realización de las Tesis Doctoral (Ref: BP20 041).

Estos estudios también han sido apoyados por el Programa “Juan de la Cierva” del Ministerio de Ciencia e Innovación para Daniel Fernández González (FJC2019-041139-I).

La investigación ha sido financiada por el Ministerio de Ciencia e Innovación mediante el Programa Estatal de I+D+I Orientada a los Retos de la Sociedad [RTI2018-102269-B-100].