



Las cerámicas técnicas como material para ingeniería Datos técnicos, ejemplos y aplicaciones para la elección de materiales cerámicos técnicos

Por el ingeniero (FH) Klaus Wolf, FRIATEC AG, Mannheim

Las exigencias relacionadas con el rendimiento y con la resistencia al desgaste y a la corrosión sobrepasan cada vez más los límites de los materiales convencionales. Las excelentes propiedades de los materiales cerámicos y la creciente oferta de los mismos ofrecen al ingeniero nuevas perspectivas para resolver problemas.

Los materiales cerámicos requieren de una notable amplitud de miras por parte del ingeniero. Hasta el momento de la producción de un componente cerámico en su forma definitiva se hace necesaria una estrecha colaboración entre el diseñador de la aplicación y el suministrador de componentes cerámicos, ya que en el análisis de la solución de ingeniería más idónea habrá que introducir un nuevo factor: el modo más rentable disponible para producir el componente cerámico.

Las cerámicas de alta pureza de bases oxídicas y no oxídicas están ya muy lejos de la aún muy extendida definición según la cual la cerámica "tiene una bonita apariencia, es dura al tacto y, al caerse, se deshace en mil pedazos". Con respecto a la clásica y conocida cerámica de silicato únicamente tienen en común los métodos de fabricación.

En lo tocante a sus propiedades, estos materiales se hallan mucho más próximos al sinterizado de piezas metálicas. Los estudios de mercado más recientes referidos al uso industrial de estas cerámicas arrojan el siguiente resultado en las cuotas de mercado:

Óxido de aluminio (Al_2O_3)	80%
Óxido de circonio (ZrO_2)	7%
Carburo de silicio (SiC)	5%
Nitruro de silicio (Si_3N_4)	5%
Otros	3%

Nivel de precios: $\text{Al}_2\text{O}_3 = 1$, $\text{ZrO}_2 = 5-20$, $\text{SiC} = 1-3$, $\text{Si}_3\text{N}_4 = 20$.

Razones de las diferentes cuotas de mercado

Históricas: El inicio de la producción industrial. La evolución histórica de los diferentes materiales es la siguiente:

Óxido de aluminio	hace 60 – 70 años
Óxido de circonio	hace 20 – 25 años
Carburo de silicio	hace 10 – 15 años
Nitruro de silicio	hace 10 – 15 años

Ámbitos de aplicación: Aproximadamente el 90% de todos los componentes cerámicos fabricados hoy en día se emplean en la electrotecnia. Con una cifra de ventas a nivel mundial de 6.400 millones de Euros de productos con cerámicas técnicas, esto supone unos 5.700 millones de Euros en componentes para electrotecnia. Aquí ha alcanzado el óxido de aluminio su mayor relevancia, gracias a sus excelentes propiedades, como son la alta resistencia eléctrica, la mayor resistencia dieléctrica, así como una capacidad para la metalización y la soldadura. El 10% restante de los componentes fabricados se reparten todos los materiales cerámicos, en función de sus propiedades, en los ámbitos de aplicación tales como el de la fabricación de maquinaria, el de la industria química, el de las altas temperaturas, el de los suministros de laboratorio, el de la tecnología farmacéutica, el de la óptica, el de la fabricación de reactores y otros.

Materia prima: En el precio de la materia prima influyen los siguientes factores:

La disponibilidad del material de partida, el lugar y la situación de la zona de explotación, el proceso de depuración, la pureza exigida del material base, la composición química del material en polvo de partida y muchos más. El precio de la materia prima depurada y preparada para su procesamiento oscila en función de la pureza y la finura del grano. Incluso dentro de un grupo de materiales las diferencias de precio son enormes. Estos costes de la materia prima, sobre todo en caso de materiales de partida extremadamente caros, resultan decisivos para lograr una utilización económica del producto final.

Conformado, sinterizado y postprocesado: Estos procedimientos de fabricación tan diversos para los diferentes materiales cerámicos siguen ejerciendo aún hoy en día una influencia decisiva sobre los costes, y por lo tanto, sobre la utilización en la industria de las cualidades de la cerámica. Debido a la experiencia de muchos años en la producción y en el procesamiento, el óxido de aluminio aún lleva una enorme ventaja hoy en día a los demás materiales cerámicos.

Propiedades: Las posibilidades de utilización de las cerámicas en los diferentes ámbitos de aplicación se ven condicionadas por las propiedades requeridas en cada caso. Raro es el caso en el que resulta posible dar un servicio razonable en el ámbito de utilización de la cerámica Al_2O_3 , ya probada y acreditada desde hace décadas, con otras cerámicas, ya que las propiedades térmicas, químicas, eléctricas y químicas de los materiales cerámicos son totalmente diferentes. De los muchos ejemplos existentes, bastará citar el de una bujía de ZrO_2 o de SiC en comparación con la de hoy en día de Al_2O_3 , la cual además de tener un precio considerablemente más alto, únicamente presenta desventajas frente a esta última, o que ni siquiera funciona. Para que se incremente la cuota de mercado de las "nuevas" cerámicas también habrá que encontrar nuevos ámbitos de aplicación para las mismas. En este punto a los usuarios y a los fabricantes de cerámicas se les exige que creen el perfil de propiedades requerido para la aplicación y que elijan la cerámica apropiada a tal efecto. Desde la posterior fase de pruebas hasta su fabricación en serie suele transcurrir a un largo tiempo.

La *Tabla 1* muestra, a modo de ejemplo, el perfil de demanda del Al_2O_3 en los diferentes ámbitos de aplicación.

Aplicaciones y sectores industriales	propiedades requeridas									demandas especiales		estructura del material				
	térmicas			mecánicas			eléctricas		químico-ópticas		Acabado superficial	Adherencia de una metalización	Pureza	Densidad	Tamaño del grano	
	Resist. a temp. elevadas	Resist. al cambio de temp.	Conductibilidad térmica	Resistencia a la rotura	Resistencia al desgaste	Resistencia a la fluencia	Resistencia eléctrica	Propiedades dieléctricas	Resist. a la corrosión	Transparencia						
++ demandas muy elevadas + demandas elevadas () en aplicaciones especiales																
Bujías para la industria del motor		+	++	+			++		+						+	
Guiahilos, industria textil				(+)	++						+		(+)	+	(+)	
Guiado de alambre, industria del transformado de metales		++		+	++									+	+	
Cerámica de corte, industria del transformado de metales	+	++	+	++	++	+							++	++	++	
Componentes de bombas, industria química		+	+	+	++				++		++		(+)	+	(+)	
Industria electrónica			++	+			+	++		+	++		(+)	+	+	
Componentes de tuberías, industria electrónica		+	++	+			++	++			++		(+)	+		
Tubos de lámpara, industria óptica	++	+		+			++		++	++		+	++	++		
Componentes para hornos, industria cerámica	++	++	+			++	++						+	+	++	
Termoelementos-tubos protectores, industria cerámica, química, metalúrgica y del vidrio	++	+	+	+		++	++		++				+	+	(+)	
Biocerámica, medicina humana				++	++				++		++		++	++	++	

Tabla 1

Puntos esenciales de los componentes cerámicos en la fabricación de bombas:

Componente (Cerámica)	Arandela deslizante	Eje	Cápsula protectora	Rodamiento	Arandela de tope	Cazoleta	Pistón	Émbolo	Tubo de cilindro	Asiento de válvula / de bolas	Tobera
Tipo de bomba											
Bomba según normativa química											
Agitadores											
Bomba de agua para vehículos											
Bomba para la lejía – hogar											
Bomba de circuito – calefacción											
Bomba con motor de diafragma											
Bomba magnética											
Bomba sumergida											
Bomba de trasiego											
Bomba de engranajes											
Bomba dosificadora											
Bomba de alta presión											
Bomba de central eléctrica											
Bomba de aguas residuales											

La cerámica de ingeniería hoy: ejemplos de aplicación

Las extraordinarias propiedades de la cerámica, como p. ej.

- la elevada estabilidad mecánica, incluso a altas temperaturas
- la excepcional resistencia química a los ácidos y a las lejías
- la gran dureza y resistencia al desgaste
- el bajo peso específico
- la buena resistencia a los cambios de temperatura
- la alta resistencia eléctrica

son aprovechadas en la actualidad por la industria en los ámbitos de aplicación más diversos. Sin la cerámica, muchos productos no podrían funcionar o sólo lo harían con un mantenimiento intenso. Hoy en día, a diario, todos nosotros entramos en contacto, directa o indirectamente, con componentes de cerámicas técnicas, al usar diferentes dispositivos. A menudo lo hacemos sin percatarnos de ello.

¿En qué lugares de nuestro entorno se encuentran estos componentes cerámicos? Aquí van unos cuantos ejemplos:

En el automóvil: en forma de bujías de Al_2O_3 , como arandela deslizante en la bomba de agua para la estanqueidad del eje, en componentes de las válvulas de la bomba de inyección (altas presiones), como sonda Lambda del sistema de escape de gases para regular las proporciones óptimas de la mezcla, en el turbo como eje y cojinete, en el silenciador como soporte del catalizador, en la parte eléctrica del automóvil como soporte de microchips, y otras variadas aplicaciones.

En el hogar: como arandela de estanqueidad del grifo, como eje y cojinete en la bomba del circuito de agua de la calefacción, para el aislamiento de instalaciones eléctricas, como elemento conductor en aparatos de audio y video, como arandela de estanqueidad en las bombas de las lavadoras y de los lavavajillas, como soporte para microchips en los aparatos electrónicos de entretenimiento, y en muchos lugares más.

Estos ejemplos se pueden ampliar con aplicaciones del ámbito profesional, de los hobbies, del ocio, del deporte, etc.

A menudo se requieren nuevas soluciones

Los ámbitos de aplicación de las cerámicas técnicas expuestos a continuación muestran aplicaciones ya satisfactorias de las mismas. La pregunta “dónde se aplica la cerámica” sólo ilustra un aspecto parcial, si no se aborda también el “por qué” (cuestión referida a los requerimientos de la aplicación concreta). Además, también se responde a la cuestión de “cómo implanto la cerámica de forma razonable” (sistemas, refuerzos, etc.) a base de ejemplos. Los ejemplos expuestos no deben incitar al ingeniero a implantarlos idénticamente, ya que

cada problema precisa de su propia solución. Deberían servir más bien de estímulo para la reflexión y mostrarle otras soluciones posibles hoy en día para los problemas planteados. La contestación sistemática de las tres siguientes cuestiones

- Dónde me puede ayudar la cerámica en la fabricación de mis productos (análisis de los puntos débiles)
- Por qué me aporta ventajas la cerámica (elaboración de un perfil de exigencias)
- Cómo debe ser el componente cerámico capaz de resolver la aplicación (elaboración de una solución del sistema)

lleva la mayoría de las veces a un resultado satisfactorio. Ya que únicamente si se elige el material correcto y se lleva a cabo una construcción sujeta a los procedimientos específicos de las cerámicas técnicas podrá funcionar el componente cerámico de forma óptima. El mero intercambio o sustitución de un componente de metal, plástico o similar por otro constructivamente idéntico, pero de cerámica, lleva la mayor parte de las veces a resultados técnica y/o económicamente no satisfactorios. A menudo también resulta razonable seguir vías de solución totalmente nuevas para sacar partido de las extraordinarias propiedades y ventajas de la cerámica.

Como ejemplo basta con citar únicamente el conocido grifo monomando. La primera generación de éstos iba equipada con un pistón de latón y con una junta tórica de estanqueidad. No obstante, este tipo de estanqueidad tenía mucho desgaste y el grifo goteaba al poco tiempo. Este sistema de grifería, por lo que se refiere a la comodidad de uso es netamente superior al sistema de grifería de doble mando. Por ello resultaba necesario desarrollar elementos de estanqueidad de mayor vida útil. Una solución la aportó, entre otras, la cerámica Al_2O_3 , de casi la misma dureza que el diamante. La sustitución de los componentes móviles de goma y de metal por otros similares de cerámica habría proporcionado una alternativa cara y con pocas perspectivas de éxito. Estimulados por las arandelas de estanqueidad deslizantes se desarrollaron las juntas planas estancas, en las que dos discos planos de 0,6 μm que se deslizan uno sobre el otro, se encargan de la estanqueidad dinámica y de la regulación de la temperatura y del caudal.



Componentes para bombas de FRIALIT-DEGUSSIT F99,7



Cazoletas de FRIALIT-DEGUSSIT FZM para una estanqueidad sin fugas en las bombas centrífugas de acople magnético para la industria química.

Propiedad	Unidad	Al_2O_3		ZrO_2		SiC	Si_3N_4
		F96	F99,7	FZM	FZM/K	SiC 198	HP 79
Densidad	g/cm^3	3,7 – 3,8	3,9 – 3,95	5,7	6	3,1	3,2
Dureza	N/mm^2	20 000	23 000	17 000	18 000	21 000	17 000
Resist. a la presión	N/mm^2	3000	3500	2000	2200	1200	3000
Resist. a la rotura por flexión	N/mm^2	300	350	450	800	350	750
Módulo de elasticidad	$105 N/mm^2$	3,5	3,8	2	2	3,3	3,2
Módulo WEIBULL	m	>10	>10	>20	>15	>10	>20
Número Poisson	-	0,22	0,22	0,3	0,3	0,2	0,26
Porosidad abierta	%	0	0	0	0	>1	0
Temp. máx. de funcionamiento	$^{\circ}C$	1700	1950	900	1200	1400	1400
Coefficiente de dilatación	10-6/K	8,5	8,5	10	11	4,4	3,2
Calor específico	J/kgK	900	900	400	400	900	800
Conductibilidad térmica	W/mK	25	30	2,5	1,8	90	40
Resistencia específica	Ohm cm	10 14	10 14	10 10	10 10	10 -1	10 14
Color		blanco	blanco	amarillo	blanco	negro	negro

Todos los valores de esta tabla se refieren a una temperatura de 20°C.

F96 = Óxido de aluminio del 96% (*)

F99,7 = Óxido de aluminio del 99,7%

FZM = Óxido de circonio, ZrO_2 -PSZ

FZM/K = Óxido de circonio, ZrO_2 TZP

SiC = Carburo de silicio, 8-12% de Si

HP79=Nitruro de silicio prensado en caliente

(*) Actualmente en desuso. Sustituido por F95

Tabla 2

Comparación de los datos físicos de los diferentes materiales cerámicos. Los datos aquí expuestos son válidos para modelos de prueba; por ello sólo puede efectuarse una traslación a otros componentes en determinadas condiciones.

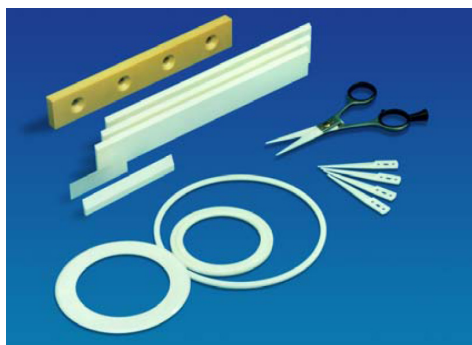
Muchas aplicaciones en el ámbito de las altas temperaturas

El ámbito de aplicación más antiguo de la cerámica es el de las altas temperaturas. La utilización de Al_2O_3 como tubo de protección de elementos térmicos se basa en que este material presenta, incluso a temperaturas superiores a 1900°C , unos valores de rigidez suficientes y en que es resistente a las influencias corrosivas que aparecen en el horno o las generadas por las fundiciones.

Las propiedades, como son una buena conductibilidad térmica, un buen aislamiento eléctrico y una alta resistencia al cambio de temperaturas, convierten a la cerámica en el material óptimo para este tipo de aplicaciones. También los crisoles, las barquetas, los moldes incandescentes, los tubos capilares y los componentes de horno para hornos de altas temperaturas son sometidos a estas exigencias extremadamente altas de temperatura y corrosión. El Al_2O_3 , el MgO y el ZrO en su formato puro cumplen estos requisitos a la perfección. En la electrotecnia, por el contrario, la alta resistencia eléctrica y la alta rigidez dieléctrica del Al_2O_3 ha merecido gran atención. También la buena conductibilidad térmica de esta cerámica supone una ventaja en este ámbito de aplicación.

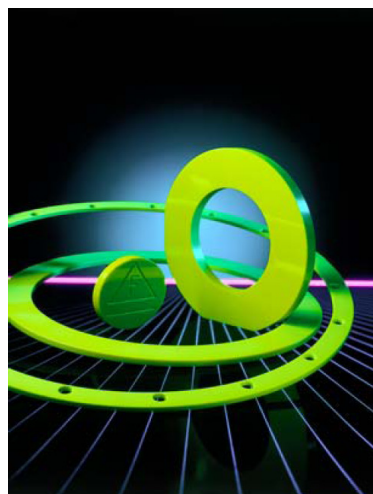
Para la fijación de un metal a la cerámica se han desarrollado procedimientos especiales: La cerámica es metalizada con MoMn y esta capa es quemada por temperatura. Sobre esta capa metálica ahora únicamente se pueden soldar metales específicos muy finos (como p. ej. el NiFe) mediante una soldadura fuerte especial ("brazing"). Este tipo de uniones de cerámica con metal se utilizan como cajas de tiristores, de transistores y de diodos. Aunque en este material también se fabrican aislantes eléctricos y otros productos eléctricos. El mayor ámbito de aplicación dentro de este grupo de aplicación lo representan los soportes para microchips en la microelectrónica.

La dureza y resistencia al desgaste de la cerámica es aprovechada en la industria textil y en la de producción de cable y alambre. Los ámbitos de implantación son los útiles de doblado, los elementos de guiado, así como los conos de bobinado de alambre. Los materiales existentes hasta la fecha tienen una vida útil limitada, sobre todo si se les somete a grandes velocidades de bobinado. Aquí el Al_2O_3 y el ZrO_2 han demostrado ser unos materiales empleables. La mayor parte de las veces son más económicos que el metal duro que se ha utilizado en ocasiones.



Las herramientas de corte de FRIALIT-DEGUSSIT FZM y FZM/K son extremadamente resistentes al desgaste.

Debido a su Módulo E, similar al del acero, este material es más elástico que el metal duro y por ello puede "amoldarse" a la contracuchilla.



Componente de motor de FRIALIT-DEGUSSIT FZM y FZM/K. Se emplean como bridas termoaislantes en turbinas de combustión, así como en guías, válvulas, segmentos de pistones y en rodamientos de motores de combustión.

(Fotografías: FRIATEC AG, Mannheim-Friedrichsfeld)

Grupo principal	Subgrupo	Grupo de productos
Cerámica de poros		Tubos de drenaje, filtros, diafragmas
Cerámica resist. al fuego	Cerámica resist. al fuego para construcción	Ladrillos, masas, accesorios para el horneado, tubos de protección, cambiadores de calor
	Cerámica aislante resist. al fuego	Ladrillos, masas, fibras aislantes
Cerámica química	Cerámica de tecnología química	Productos para la técnica procedimental química, filtros
	Cerámica química activa	Catalizadores, sensores
Cerámica mecánica (Cerámica de ingeniería)	Cerámica de constr. de máquinas	Vestimenta para cámaras de combustión, piezas de protección de desgastes, útiles de prensa, boquillas de estirado, conos de estirado, guíahilos, laminados de papel, revestimientos de máquinas de papel, discos de estanqueidad para griferías, arandelas de estanqueidad, componentes de bombas y válvulas, dosificadores y boquillas
	Cerámica de constr. de bombas	
	Cerámica del corte	Discos giratorios de corte
	Cerámica para abrasión	Herramientas de pulido, discos de rectificado fino
Cerámica de reactores		Combustibles nucleares, material absorbente
Cerámica eléctrica	Cerámica eléctrica pasiva	Asiladores, bujías, carcasas, substratos
	Cerámica eléctrica activa	Condensadores, varistores, resistencias dependientes de la temperatura, transductores electro-mecánicos, conductores/resistencias de calentamiento, electrodos, electrolitos sólidos
Cerámica magnética	Imanes blandos	Núcleos de bobina, acumuladores
	Imanes permanentes	Imanes para motores, altavoces
Cerámica óptica	Cerámica óptica activa	Material láser, transductores electro-ópticos
	Cerámica óptica pasiva	Portalámparas, ventanas ópticas, sensores
Cerámica biológica	Cerámica de implantes	Implantes
	Cerámica dental	Coronas dentales

Tabla 3

Clasificación de los materiales cerámicos en función de su aplicación

La abrasión con cerámica

Para el rectificado de materiales duros (cristal, metal duro, acero templado y similares) se ha desarrollado un tipo específico de cerámica con óxido de cromo como aditivo. Este material, conocido como *rubí sinterizado*, tiene una estabilidad dimensional frente a la abrasión mucho mayor que las herramientas de abrasión tradicionales (sus caras cortantes permanecen más tiempo inalteradas). El rubí sinterizado está formado por cristales de corindón que, mediante sinterización, se han unido fuertemente unos a otros. En las herramientas tradicionales, el grano abrasivo va intercalado en solitario en una estructura de un material "aglutinante" de menor dureza,

razón por la cual los granos abrasivos se sueltan con facilidad del lugar donde iban alojados. El rubí sinterizado, no obstante, únicamente está indicado para realizar desbastes menores, aunque bien es cierto que puede desgastar materiales que otros abrasivos ya no pueden atacar. La calidad de la superficie que se puede lograr es extraordinariamente alta.

En la *industria de la maquinaria* y en la *industria química* la cerámica ha alcanzado su mayor relevancia, sobre todo como material para bombas resistente al desgaste y a la corrosión. En las estanqueidades de arandelas deslizantes para el sellado de ejes rotantes se prefiere usar las contraarandelas de Al_2O_3 y de SiC. Aquí resulta importante el especial tratamiento de las superficies de estanqueidad (planitud de 0,6 μm , acabado superficial R_a 0,2 μm) así como la resistencia química de estos materiales contra casi todas las demás sustancias químicas de tipo orgánico o inorgánico.

Aunque también las bolas de precisión para las válvulas de aspiración y de presión, los pistones y los émbolos de las bombas de alta presión y dosificadoras, los ejes así como las cápsulas de protección y los rodamientos se implantan en las bombas para el trasiego de fluidos agresivos. Mediante superficies con un acabado más fino se logran aún mejoras sustanciales en la vida útil de los componentes. La fijación de los pistones se lleva a cabo, cuando se trata de un diámetro grande, mediante el pegado o enmasillado a un soporte metálico. En caso de un diámetro más reducido se prefiere la cerámica vaya ajustada por interferencia en el soporte metálico. También resulta posible un apriete radial o axial aprovechando la alta resistencia y para evitar la entrada de la junta de estanqueidad. El sellado del eje metálico se realiza mediante juntas planas y pre-tensión axial.

Los cojinetes deslizantes, preferentemente, se encajan a presión o por interferencia. También es posible una protección antigiro adicional por medio de un pasador. En muchos ámbitos de aplicación el ajuste por interferencia de la cerámica (por ejemplo con un ajuste H7 / r6) también constituye una forma de fijación muy extendida hoy en día para la cerámica. En el método de ajuste por interferencia se aprovecha, sobre todo, la alta resistencia a la compresión de la cerámica.

En la actualidad, para la fijación de la cerámica a otro elemento se pueden utilizar prácticamente todos los elementos de unión, a excepción de la soldadura sin aportación, eso sí con un procedimiento de ejecución modificado.

A la ingente gama de componentes cerámicos de la industria de la maquinaria y de la industria química también pertenecen las boquillas y los dosificadores que se emplean en los más diversos campos, los elementos para guiado de partículas en aplicaciones de imagen, los discos de estanqueidad para grifos sanitarios e industriales, los elementos de válvulas para las válvulas de mando y de escape, los recubrimientos de aspiración para las cajas de aspiración para la extracción del agua de la pasta de papel en la industria papelera, los tubos de medida para los caudalímetros magnético-inductivos, los discos giratorios de corte para herramientas de torno y fresado, así como gran cantidad de aplicaciones individuales, que son difíciles de clasificar bajo un término genérico.

La cerámica también ha hecho su entrada en la *medicina*. Como articulación de cadera, implante dental, huesecillos del oído medio o como lentes oculares, el óxido de aluminio se ha hecho imprescindible como material para implantes gracias a sus propiedades (su ausencia de rechazo por parte del cuerpo humano, su resistencia al desgaste y su gran pureza).

Popularidad debida a la fabricación de motores

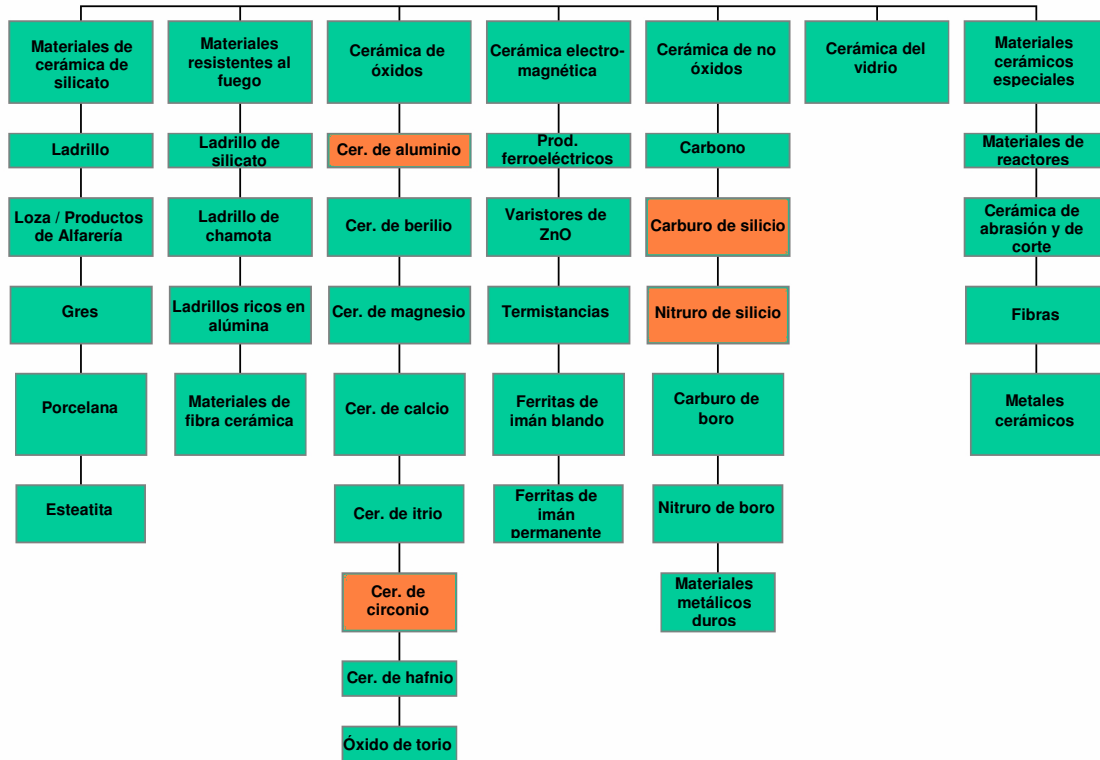
El material más antiguo fabricado por el hombre está hoy en boca de todos. Esta popularidad se debe sobre todo a la experimentación llevada a cabo en la fabricación de motores. Prácticamente todos los fabricantes de automóviles están probando en la actualidad la cerámica para los motores y las turbinas del futuro.

La cabeza del pistón, la válvula, el asiento de válvula, la camisa del cilindro, las levas, la camisa y los protectores de desgaste de cerámica tienen todos un mismo objetivo: el motor de combustión económicamente rentable (o turbina de combustión).

A pesar de los positivos resultados obtenidos en los ensayos, la utilización en serie de este tipo de componentes cerámicos, hoy por hoy, aún se topa con el obstáculo de su relativamente alto precio. No obstante, los resultados de estos ensayos son la mejor publicidad de las prestaciones que ofrece la cerámica.

Visión general de los materiales cerámicos:

CERÁMICA



Información en España y Portugal:
Glynwed Pipe Systems Ibérica S.L.U.
Jesús Resa Uceda
 Jefe Producto Cerámica Técnica FRIALIT® - DEGUSSIT®
 Plaza Castilla nº 3, 10º A
 E- 28046 Madrid
 Tel. ☎ +34 913 449 800
 Fax. ☎ +34 914 045 824
 Móvil. ☎ +34 609 781538
 Email: ✉ jesus.resa@glynwed.es