

CIENCIA DE LOS MATERIALES: PROPIEDADES, PROCESOS Y CICLOS

**Materiales cerámicos:
propiedades, tipos y
aplicaciones**

Clase 8

INTRODUCCIÓN DE LA CLASE

Los materiales cerámicos constituyen un grupo fundamental dentro de la ciencia de los materiales, destacados por sus propiedades únicas y su amplia gama de aplicaciones en diversos campos de la ingeniería. Esta clase se enfoca en el estudio detallado de estos materiales, abordando sus características distintivas, clasificación, estructura cristalina y propiedades específicas, que los convierten en elementos indispensables en numerosos procesos industriales y tecnológicos.

El análisis de los materiales cerámicos no se limita únicamente a sus aspectos técnicos, sino que también abarca consideraciones cruciales sobre su ciclo de vida, implicaciones de uso y huella de carbono. Estos elementos son esenciales en el contexto actual de desarrollo sostenible y responsabilidad ambiental en la ingeniería. Asimismo, se explorarán las normativas y estándares que rigen la producción y aplicación de estos materiales, con especial énfasis en las normas ASTM (American Society for Testing and Materials), fundamentales para garantizar la calidad y consistencia en la fabricación y uso de cerámicos en aplicaciones de ingeniería

Clase 8: Materiales cerámicos: propiedades, tipos y aplicaciones

RA: Aplicar conocimientos básicos de materiales y sus análisis para predecir su comportamiento respecto a condiciones físicas y químicas a las que se exponen.

Reto # 2

Materiales cerámicos: propiedades, tipos y aplicaciones, Ciclo de vida e implicaciones de uso, Huella de Carbono, Desarrollo de muestras de acuerdo con normas ASTM

Los materiales cerámicos son compuestos inorgánicos no metálicos, caracterizados por su alta resistencia térmica y química. Se clasifican en tradicionales y avanzados, abarcando desde la alfarería hasta componentes electrónicos sofisticados. Sus propiedades únicas incluyen dureza, fragilidad y baja conductividad eléctrica. El ciclo de vida de estos materiales implica la extracción, procesamiento, uso y disposición final, con implicaciones ambientales significativas. La huella de carbono asociada varía según el tipo y proceso de fabricación. Las normas ASTM proporcionan metodologías estandarizadas para el desarrollo y evaluación de muestras cerámicas, asegurando la calidad y consistencia en la industria.

Propiedades y clasificación de cerámicos

Los materiales cerámicos constituyen una clase diversa de compuestos inorgánicos no metálicos, caracterizados por su naturaleza refractaria y su resistencia a altas temperaturas. Estos materiales se distinguen por su composición química, que generalmente incluye elementos metálicos y no metálicos unidos mediante enlaces iónicos o covalentes. La clasificación de los cerámicos se basa principalmente en su estructura atómica, propiedades físicas y aplicaciones industriales. Esta categorización permite una comprensión sistemática de sus características y facilita la selección de materiales para aplicaciones específicas en ingeniería.

Tipos de cerámicos

Los cerámicos se clasifican en dos categorías principales: tradicionales y avanzados, (Gracis et al., 2016; Sciencedoze, 2019).

Cerámicos tradicionales:

- Arcillas: Utilizadas en alfarería y construcción. Compuestas principalmente por silicatos de aluminio hidratados.
- Vidrios: Materiales amorfos basados en sílice (SiO_2), con aplicaciones en óptica y construcción.
- Refractarios: Diseñados para resistir altas temperaturas, como ladrillos para hornos industriales.

Cerámicos avanzados:

- Óxidos: Incluyen alúmina (Al_2O_3), zirconia (ZrO_2) y titania (TiO_2), utilizados en aplicaciones de alta tecnología.
- No óxidos: Carburo de silicio (SiC), nitruro de silicio (Si_3N_4), utilizados en componentes de motores y herramientas de corte.
- Compuestos cerámicos: Combinaciones de cerámicos con otros materiales para mejorar propiedades específicas.

Para revisar mas definiciones de este tipo de materiales se sugiere revisar el siguiente video:

<https://www.youtube.com/watch?v=wGvgSF1i9pw>

Los cerámicos avanzados se caracterizan por su pureza química, microestructura controlada y propiedades superiores en comparación con los cerámicos tradicionales. Estos materiales encuentran aplicaciones en electrónica, medicina y aeroespacial.



Figura 1. Cerámicos, aplicaciones
Tomado de (Revista Creces, 2001)

Estructura cristalina

La estructura cristalina de los cerámicos determina en gran medida sus propiedades físicas y químicas. Los cerámicos presentan diversos tipos de estructuras cristalinas, dependiendo de la composición y el proceso de fabricación:

a) Estructuras iónicas:

- Cloruro de sodio (NaCl): Estructura cúbica centrada en las caras (FCC).
- Cloruro de cesio (CsCl): Estructura cúbica simple.
- Fluorita (CaF_2): Estructura cúbica con iones de calcio en FCC y flúor en tetraedros.

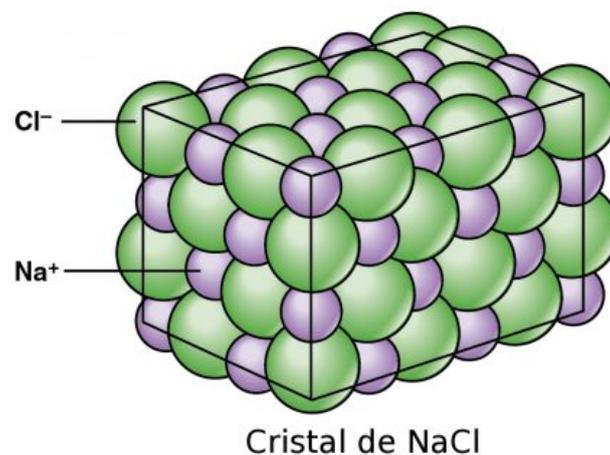


Figura 2. Estructura cristalina de NaCl

Tomado de (Quevedo, 2016)

b) Estructuras covalentes:

- Diamante: Red tridimensional de átomos de carbono con enlaces covalentes.
- Grafito: Estructura laminar con enlaces covalentes fuertes en el plano y débiles entre capas.

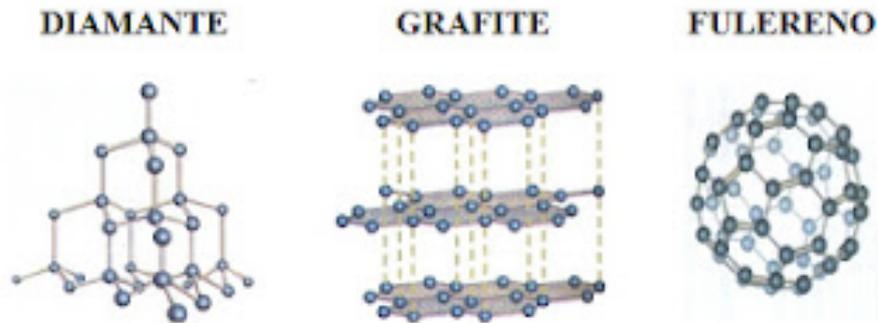


Figura 3. Ejemplos de estructuras covalentes

Tomado de (Universo da Química, 2013)

c) Estructuras complejas:

- Perovskita (CaTiO_3): Estructura cúbica con cationes en los vértices y oxígeno en las caras.
- Espinela (MgAl_2O_4): Estructura cúbica con cationes en sitios tetraédricos y octaédricos.

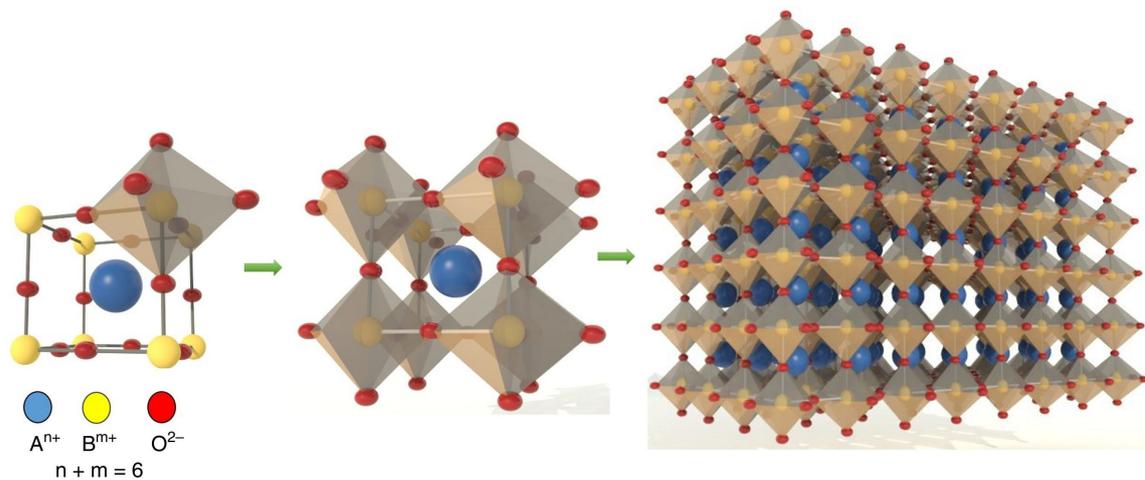


Figura 4. Estructura cúbica de la Perovskita

Tomado de (Alvarado Flores, 2017)

La disposición atómica en estas estructuras se puede describir mediante índices de Miller, que definen los planos cristalográficos. Por ejemplo, en una estructura cúbica, el plano (100) es perpendicular al eje x, mientras que el plano (111) intersecta los tres ejes por igual.

Para entender mejor los índices de Miller se recomienda ver el siguiente video:
<https://www.youtube.com/watch?v=uhaeDuRBC7c>

Propiedades características

Las propiedades características de los materiales cerámicos son resultado directo de su estructura cristalina y enlaces químicos (Hench, 1991):

a) Propiedades mecánicas:

- Alta dureza: Los cerámicos son resistentes a la deformación y al rayado.
- Fragilidad: Tienden a fracturarse sin deformación plástica significativa.
- Resistencia a la compresión: Generalmente superior a la resistencia a la tracción.

b) Propiedades térmicas:

- Alta resistencia al calor: Punto de fusión elevado, típicamente superior a 2000°C.
- Baja conductividad térmica: Excelentes aislantes térmicos.
- Coeficiente de expansión térmica variable: Desde muy bajo (como en el caso de la sílice fundida) hasta moderado.

c) Propiedades eléctricas y magnéticas:

- Aislantes eléctricos: La mayoría de los cerámicos tienen alta resistividad eléctrica.
- Semiconductores: Algunos óxidos cerámicos exhiben propiedades semiconductoras.
- Ferroelectricidad: Ciertos cerámicos, como el titanato de bario (BaTiO_3), muestran polarización eléctrica espontánea.
- Piezoelectricidad: Capacidad de generar voltaje bajo estrés mecánico, como en el cuarzo.

d) Propiedades químicas:

- Resistencia a la corrosión: Alta estabilidad química en diversos ambientes.
- Inercia química: Baja reactividad con otros materiales a temperatura ambiente.

e) Propiedades ópticas:

- Transparencia: Algunos cerámicos, como el óxido de aluminio (Al_2O_3), pueden ser transparentes.
- Índice de refracción: Variable, permitiendo aplicaciones en óptica y fotónica.

La relación entre la estructura y las propiedades se puede cuantificar mediante ecuaciones. Por ejemplo, el módulo de Young (E) en cerámicos iónicos se puede estimar usando la ecuación de Makishima-Mackenzie:

$$E = 0.0152V_t \sum_i n_i G_i$$

Donde V_t es el volumen molar, n_i es la fracción molar del componente i , y G_i es su contribución al módulo.

Estas propiedades hacen que los cerámicos sean indispensables en una amplia gama de aplicaciones, desde utensilios de cocina hasta componentes avanzados en la industria aeroespacial y electrónica.

Aplicaciones y ciclo de vida

Los materiales cerámicos desempeñan un papel crucial en numerosos sectores industriales y aplicaciones cotidianas, gracias a sus propiedades únicas y versatilidad. Su ciclo de vida abarca desde la extracción de materias primas hasta su disposición final, pasando por procesos de fabricación, uso y, en algunos casos, reciclaje. La comprensión de este ciclo es fundamental para evaluar el impacto ambiental y económico de estos materiales. Las aplicaciones de los cerámicos se extienden desde la construcción y la electrónica hasta la medicina y la aeroespacial, aprovechando sus características de resistencia térmica, dureza y estabilidad química. La durabilidad de los cerámicos varía según su composición y aplicación, influyendo directamente en su vida útil y en las estrategias de gestión de residuos al final de su uso.

Usos industriales

Los materiales cerámicos encuentran aplicaciones en una amplia gama de industrias, aprovechando sus propiedades únicas (studysmarter, 2022; Vaiani et al., 2023):

a) Construcción:

- Ladrillos y tejas: Utilizados en edificaciones por su resistencia al fuego y durabilidad.
- Sanitarios: Inodoros, lavabos y bañeras fabricados con porcelana vitrificada.
- Revestimientos: Azulejos y baldosas para pisos y paredes.

b) Electrónica:

- Sustratos: Alúmina (Al_2O_3) y nitruro de aluminio (AlN) como base para circuitos integrados.
- Capacitores: Titanato de bario (BaTiO_3) en componentes electrónicos.
- Aislantes: Cerámicas dieléctricas en dispositivos de alta frecuencia.

c) Industria automotriz y aeroespacial:

- Catalizadores: Cordierita ($\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$) en convertidores catalíticos.
- Componentes de motores: Turbinas de cerámica para mayor eficiencia térmica.
- Recubrimientos térmicos: Zirconia estabilizada con itria (YSZ) en cámaras de combustión.

d) Medicina:

- Implantes dentales: Zirconia (ZrO_2) por su biocompatibilidad y resistencia.
- Prótesis óseas: Hidroxiapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) para reemplazo de huesos.
- Instrumentos quirúrgicos: Alúmina de alta pureza para bisturís y pinzas.

e) Energía:

- Celdas solares: Silicio policristalino en paneles fotovoltaicos.
- Pilas de combustible: Zirconia estabilizada como electrolito sólido.
- Aislamiento térmico: Fibras cerámicas en hornos industriales y reactores nucleares.



Figura 5. Paneles fotovoltaicos de silicio empleados en la producción de electricidad a partir de energía solar

Tomado de (Mijangos & Moya, 2007)

f) Óptica y comunicaciones:

- Fibras ópticas: Sílice dopada para transmisión de datos.
- Lentes: Vidrios cerámicos en instrumentos ópticos de precisión.
- Láseres: Cerámicas de granate de itrio y aluminio (YAG) como medio activo.

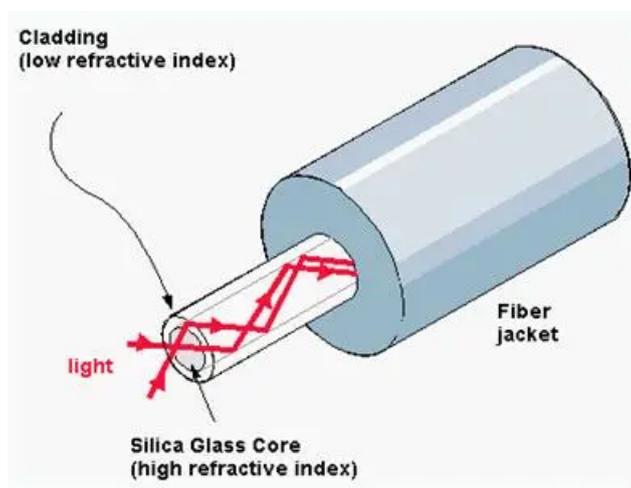


Figura 6. La fibra óptica como medio de transmisión
Tomado de (Efagundes, 2021)

Estas aplicaciones ilustran la versatilidad de los materiales cerámicos y su importancia en el desarrollo tecnológico e industrial moderno.

Durabilidad

La durabilidad de los materiales cerámicos es una de sus características más destacadas, influyendo directamente en su ciclo de vida y aplicaciones, (Chouhan et al., 2024):

a) Factores que afectan la durabilidad:

- Composición química: Determina la resistencia a la corrosión y degradación.
- Microestructura: El tamaño de grano y la porosidad afectan la resistencia mecánica.
- Condiciones de uso: Exposición a temperaturas extremas, estrés mecánico y ambientes químicos.

b) Mecanismos de degradación:

- Corrosión: Ataque químico en ambientes ácidos o alcalinos.
- Desgaste: Abrasión y erosión en aplicaciones de alta fricción.
- Fatiga: Formación y propagación de grietas bajo cargas cíclicas.

c) Evaluación de la durabilidad:

- Pruebas aceleradas: Simulación de condiciones de uso extremas.
- Análisis de falla: Identificación de mecanismos de degradación mediante microscopía y espectroscopía.

d) Estrategias para mejorar la durabilidad:

- Recubrimientos: Aplicación de capas protectoras contra la corrosión y el desgaste.
- Diseño microestructural: Control del tamaño de grano y distribución de fases.
- Composición optimizada: Adición de dopantes para mejorar propiedades específicas.

La durabilidad de los cerámicos varía ampliamente según su aplicación, desde décadas en componentes estructurales hasta siglos en artefactos arqueológicos.

Gestión de residuos

La gestión de residuos cerámicos es un aspecto crucial del ciclo de vida de estos materiales, con implicaciones ambientales y económicas significativas:

a) Clasificación de residuos cerámicos:

- Residuos de producción: Desechos generados durante la fabricación.
- Residuos de demolición: Provenientes de la construcción y renovación de edificios.
- Residuos de productos al final de su vida útil: Electrodomésticos, componentes electrónicos, etc.

b) Estrategias de gestión:

- Reciclaje: Trituración y reutilización como agregados en construcción.
- Reutilización: Aplicación directa en nuevos productos sin procesamiento significativo.
- Disposición en vertederos: Última opción para materiales no reciclables o contaminados.

c) Desafíos en la gestión de residuos cerámicos:

- Heterogeneidad: Variedad de composiciones que dificultan el reciclaje uniforme.
- Contaminación: Presencia de elementos tóxicos en algunos cerámicos avanzados.
- Costos de procesamiento: Energía requerida para triturar y reprocesar materiales duros.

d) Innovaciones en reciclaje:

- Tecnologías de separación avanzada: Uso de sensores ópticos para clasificar residuos.
- Procesos de vitrificación: Conversión de residuos cerámicos en vidrios útiles.
- Incorporación en geopolímeros: Uso de residuos cerámicos como precursores de nuevos materiales.

e) Normativas y regulaciones:

- Directivas de la UE sobre residuos de construcción y demolición.
- Estándares ISO para la gestión de residuos industriales.

La gestión eficiente de residuos cerámicos es esencial para minimizar el impacto ambiental y maximizar la recuperación de recursos valiosos, contribuyendo a una economía circular más sostenible.

Normativa y huella de carbono

La industria de los materiales cerámicos está sujeta a una serie de normativas y estándares que regulan su producción, calidad e impacto ambiental. Estas regulaciones son fundamentales para garantizar la seguridad, eficiencia y sostenibilidad de los productos cerámicos en diversas aplicaciones. La huella de carbono asociada a la producción y uso de cerámicos es un aspecto crítico que se aborda mediante normativas específicas y estrategias de mitigación. La evaluación y certificación de estos materiales implica considerar todo su ciclo de vida, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final.

Estándares de calidad

Los estándares de calidad para materiales cerámicos son establecidos por organizaciones internacionales y nacionales, asegurando la consistencia y confiabilidad de los productos (ASTM, 2020; intouch, 2023):

a) ASTM International:

- ASTM C373: Método de prueba para la absorción de agua y densidad aparente de cerámica cocida.
- ASTM C1161: Método de prueba para la resistencia a la flexión de cerámica avanzada a temperatura ambiente.

b) ISO (Organización Internacional de Normalización):

- ISO 10545: Serie de normas para baldosas cerámicas, abarcando métodos de prueba y especificaciones.
- ISO 13006: Definiciones, clasificación, características y marcado de baldosas cerámicas.

c) EN (Normas Europeas):

- EN 14411: Especificaciones para baldosas cerámicas, complementando las normas ISO.

Estos estándares definen métodos de prueba, especificaciones de rendimiento y criterios de aceptación para diversos tipos de cerámicos, asegurando la calidad y seguridad en aplicaciones industriales y de consumo.

Impacto ambiental

El impacto ambiental de los materiales cerámicos se evalúa considerando todo su ciclo de vida (Caldas et al., 2017; Muthukannan & Chithambar Ganesh, 2019):

a) Extracción de materias primas:

- Impacto en ecosistemas locales y biodiversidad.
- Consumo de agua y energía en operaciones mineras.

b) Producción:

- Emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero durante la cocción.
- Generación de residuos y subproductos.

c) Uso:

- Eficiencia energética en aplicaciones como aislamiento térmico.
- Durabilidad y necesidad de reemplazo.

d) Fin de vida:

- Potencial de reciclaje o reutilización.
- Impacto en vertederos si no se recicla.

La evaluación del impacto ambiental se realiza mediante Análisis de Ciclo de Vida (ACV), cuantificando indicadores como:

- Potencial de Calentamiento Global (GWP): Medido en kg CO₂ equivalente.
- Agotamiento de recursos abióticos.
- Acidificación y eutrofización.

La huella de carbono se calcula sumando las emisiones de GEI en cada etapa del ciclo de vida:

$$HC = \sum_{i=1}^n (A_i \times FE_i)$$

Donde:

HC = Huella de Carbono

A_i = Actividad i (ej. consumo de energía)

FE_i = Factor de emisión para la actividad i



Figura 7. Efectos y evaluación de impacto ambiental de un proyecto
Tomado de (Escudier, 2022)

Certificaciones específicas

Las certificaciones específicas para materiales cerámicos validan su calidad, sostenibilidad y cumplimiento normativo:

a) CE Marking (Unión Europea):

- Obligatorio para productos cerámicos comercializados en la UE.
- Certifica cumplimiento con requisitos esenciales de salud, seguridad y protección ambiental.

b) LEED (Leadership in Energy and Environmental Design):

- Reconoce materiales cerámicos con bajo impacto ambiental y alta eficiencia energética.
- Otorga puntos para la certificación de edificios sostenibles.

c) EPD (Environmental Product Declaration):

- Proporciona información transparente sobre el impacto ambiental del producto.
- Basada en normas ISO 14025 y EN 15804.

d) Cradle to Cradle Certified™:

- Evalúa la sostenibilidad del producto en cinco categorías: salud material, reutilización de materiales, energía renovable, gestión del agua y responsabilidad social.

Estas certificaciones son cruciales para demostrar el compromiso con la calidad y la sostenibilidad en la industria cerámica.

Referencias citadas en la Clase 8.

- Alvarado Flores, J. J. (2017). Análisis de la estructura perovskita $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{Cr}$ y $\text{Mn}_{1-y}\text{O}_{3-\delta}$ con potencial aplicación como ánodo para celdas de combustible de óxido sólido. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 56(2), 73–82.
<https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2016.09.003>
- ASTM. (2020). Test Methods for Vitrified Ceramic Materials for Electrical Applications. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D0116-86R20>
- Caldas, L. R., Lira, J. S. de M. M., Melo, P. C. de, & Sposto, R. M. (2017). Life cycle carbon emissions inventory of brick masonry and light steel framing houses in Brasilia: proposal of design guidelines for low-carbon social housing. *Ambiente Construído*, 17(3), 71–85. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000300163>
- Chouhan, M. K., Meena, N., Agrawal, J., & Gupta, T. (2024). Enhancing Durability of Concrete and Mortar with Ceramic Waste: A Comprehensive Review. *Journal of Scientific Research and Reports*, 30(8), 485–502.
<https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i82272>
- Efagundes. (2021). Fibras Ópticas (I). [efagundes.com](https://efagundes.com/networking/fibra-optica-2/fibras-opticas/).
<https://efagundes.com/networking/fibra-optica-2/fibras-opticas/>
- Escudier, B. M. (2022). ¿Por qué se necesitan evaluaciones de impacto ambiental? [cursosfemxa.es](https://www.cursosfemxa.es). <https://www.cursosfemxa.es/blog/evaluaciones-impacto-ambiental>
- Gracis, S., Thompson, V., Ferencz, J., Silva, N., & Bonfante, E. (2016). A New Classification System for All-Ceramic and Ceramic-like Restorative Materials. *The International Journal of Prosthodontics*, 28(3), 227–235.
<https://doi.org/10.11607/ijp.4244>
- Hench, L. L. (1991). Bioceramics: From Concept to Clinic. *Journal of the American Ceramic Society*, 74(7), 1487–1510. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1991.tb07132.x>
- intouch. (2023). Quality of ceramic products: grade A, B, C. www.intouch-quality.com.
<https://www.intouch-quality.com/blog/quality-of-ceramic-products-grade-a-b-c>
- Mijangos, C., & Moya, J. S. (2007). Nuevos materiales en la sociedad del siglo XXI. CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS.
- Muthukannan, M., & Chithambar Ganesh, A. S. (2019). THE ENVIRONMENTAL IMPACT CAUSED BY THE CERAMIC INDUSTRIES AND ASSESSMENT METHODOLOGIES. *International Journal for Quality Research*, 13(2), 315–334.
<https://doi.org/10.24874/IJQR13.02-05>
- Quevedo, R. T. (2016). Ligação iônica. infoescola.com.
<https://www.infoescola.com/quimica/ligacao-ionica-eletrovalente/>
- Revista Creces. (2001). Objetos cerámicos resistentes. *CRECES ciencia y tecnología*.
<http://www.creces.cl/Contenido?art=1129>
- Sciencedoze. (2019). Ceramics: Properties, Application and Classification of Ceramics. *Sciencedoze: Science, Education and Technology*.
<https://www.sciencedoze.com/2021/02/ceramics-properties-application-classification.html>
- studysmarter. (2022). Applications of Ceramics. www.studysmarter.co.uk.
<https://www.studysmarter.co.uk/explanations/engineering/materials-engineering/applications-of-ceramics/>

Universo da Química. (2013). LIGAÇÕES QUÍMICAS. universechemistry.
<https://universechemistry.blogspot.com/2013/06/ligacoes-quimicas-parte-4.html>
Vaiani, L., Boccaccio, A., Uva, A. E., Palumbo, G., Piccininni, A., Guglielmi, P.,
Cantore, S., Santacroce, L., Charitos, I. A., & Ballini, A. (2023). Ceramic Materials
for Biomedical Applications: An Overview on Properties and Fabrication Processes.
Journal of Functional Biomaterials, 14(3), 146. <https://doi.org/10.3390/jfb14030146>



La excelencia no se improvisa

síguenos

