



RECOLECCIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LOS CARBUROS DE Mo_2C Y ZrC

Cristhian Raúl Maldonado Monroy, José Miguel Castiblanco Castelblanco, Sergio Augusto Monroy Toro, Sully Segura Peña

**Universidad Santo Tomás
Tunja, Colombia**

Resumen

A través de la recolección bibliográfica que se presenta en este artículo, se pretende mostrar los avances en la ingeniería de materiales, haciendo énfasis en la cristalografía de los materiales superduros, como el carburo de zirconio (ZrC) y carburo de molibdeno (Mo_2C), los cuales han incursionado en diferentes campos de la ingeniería. En este artículo, se utilizan diferentes referencias bibliográficas e informáticas, para hacer una relación y análisis de los materiales a estudiar, con el fin de interpretar sus diferentes características, propiedades y usos, permitiendo conocer los avances en este campo; por medio de consultas virtuales en revistas, artículos y base de datos que divulgan los adelantos en investigación y experimentación de estos materiales; además fue posible analizar los trabajos realizados por los autores investigados, los cuales aportan importantes datos cristalográficos, y procesos experimentales, por tanto, ellos presenta los comportamientos y las reacciones que tienen estos material, en una gran variedad de condiciones. También se citarán los diferentes impactos de los carburos en áreas afines a las ingenierías, los avances y el desarrollo de diferentes dispositivos, como en los procesos, representando un amplio campo de investigación para el desarrollo de diferentes disciplinas.

Palabras claves: propiedades macroscópicas; carburos; celda cristalina; ciencia de los materiales

Abstract

In this article, we intend to show the advances in materials engineering, emphasizing the crystallography of super-hard materials such as zirconium carbide (ZrC) and molybdenum carbide (Mo_2C), which have dabbled in different fields engineering. Different bibliographic references and computer are used to make a relationship and

analysis of materials to study, in order to interpret their different characteristics, properties and uses, allowing knowledge on advances in this field; through virtual consultations in magazines, articles and databases that report advances in research and testing of these materials; It was also possible to analyze the work done by the authors investigated, which provide important crystallographic data, and experimental processes, therefore, they presented the behaviors and reactions that have these materials, in a variety of conditions. The different impacts of carbides in areas related to engineering, progress and development of different devices and processes, representing a broad field of research for development of different disciplines is also cited.

Keywords: *macroscopic properties; carbides; crystalline cell; materials science*

1. Introducción

Teniendo en cuenta la importancia que tienen los materiales en el desarrollo de la vida cotidiana, esta investigación nos permite implementar nuevas tecnologías, con las cuales se puedan aplicar estos carburos en el medio ingenieril a nivel Colombia, ya que en nuestro país los avances o las investigaciones acerca de estos materiales ha sido muy poca o nula; por tanto, esta consulta bibliográfica nos ayudara a poner en aplicación las diferentes propiedades y ventajas que tienen los materiales superduros, entre los cuales nos vamos a centrar en el carburo de molibdeno (Mo₂C) (3) y el carburo de zirconio (ZrC), los cuales se explicaran a continuación.

1.1. Carburo de Molibdeno (Mo₂C)

En el desarrollo de los materiales superduros, podemos encontrar diferentes avances en una gran variedad de carburos, entre ellos está el carburo de molibdeno (Mo₂C), el cual tiene una amplia gama de usos en las ingenierías, ya que sus propiedades son muy variadas; las propiedades más destacables son:

- Altísima temperatura de fusión.
- Extremadamente duros y mantienen su dureza a altas temperaturas.
- Baja reactividad química.
- Resistencia a la corrosión aún a altas temperaturas.
- Alta resistencia a la deformación.
- Alta resistencia a los shocks térmicos.
- Alta conductividad térmica, mucho mejor que la de los materiales refractarios.

Como referencia de estas ventajas, podemos ver que las propiedades del carburo de molibdeno, representan un avance importante para la ingeniería y las ciencias en general (3,7), las cuales se muestran en el diagrama 1.

CARBUROS DE METALES DE TRANSICIÓN: PROPIEDADES

Metal	Temperatura de fusión del metal (°C)	Propiedades de los Carburos			
		Temperatura de fusión del carburo del metal (°C)	Módulo de Young GPa	Microdureza [kg/mm ²]	Coefficiente de expansión térmica x 10 ⁻⁶ (1/K)
Ti	1677	3067	269-462	2900	7,4
Nb	2487	3600	338-510	2400	6,6
Cr	1900	1810	386	1300	10,3
Mo	2610	2600	228	1500	4,9
W	3380	2776	669	2100	5,0

Figura 1 – Fuente: “Propiedades, aplicaciones y mercado del Molibdeno” (3).

El carburo de Molibdeno tiene aplicaciones en aceros (aceros estructurales, aceros inoxidables y aceros de herramientas), herramientas de corte (fresas, discos y brocas de taladro), superaleaciones (el molibdeno otorga a los materiales resistencia a la abrasión, además de agregar resistencia a ambientes ácido y a la corrosión por picadura), pulvimetalurgia de piezas y partes de equipos que deben resistir al desgaste, electrodos, y en los últimos años está siendo utilizado como catalizador (8). Estos catalizadores presentan una alta actividad y son estables a elevadas temperaturas.

1.2. Carburo de Zirconio (ZrC)

Otro de los materiales investigados es el Carburo de Zirconio, el cual es un material cerámico refractario muy duro, que cuenta con propiedades muy importantes, aplicables a diferentes campos de la ingeniería y la medicina. Las propiedades (2, 11, 19, 22) son las siguientes:

- Alta resistencia a la corrosión
- Alta resistencia a ultra altas temperaturas
- Alta conductividad térmica
- Alta conductividad eléctrica
- Absorción de la luz visible
- Reflectancia en el infrarrojo
- Almacenamiento de energía

El carburo de zirconio es aplicable a las ciencias biomédicas, y por ende representa un gran avance en los campos de estudio de cada una de ellas. A continuación se mostrarán las principales aplicaciones de este material.

- Es utilizado como material refractario y abrasivo en la fabricación de productos de la industria química y de la industria automovilística entre otras (5, 19).
- En la industria textil es empleado en prendas interiores y prendas especializadas para el gimnasio, estas prendas tiene la característica de almacenar energía y calor (19).
- En la industria farmacéutica es utilizado en la elaboración de chalecos especiales para la protección de la caja torácica, debido al desprendimiento de calor que él genera que se inyecta al chaleco especial en forma de vapor (11).

- En la industria de guerra y defensa es usado para la fabricación de blindajes debido a su dureza (5).
- Es utilizado en recubrimientos, debido a sus propiedades aislantes y a su resistencia a la corrosión, por ejemplo: en la industria nuclear, se aprovechan estas propiedades para recubrir piezas de almacenamiento de material reactivo y en la industria espacial, es utilizado para recubrir los tanques de almacenamiento de combustible de los transbordadores espaciales (5,19).
- Debido a su alta conductividad eléctrica, es utilizado para la fabricación de radiadores termofotovoltaicos (22).

2. Marco Teórico

La cristalografía prevé un impacto importante en el desarrollo de nuevos materiales que generaran un gran impacto en el avance de diferentes procesos industrializados en los cuales repercuten las diferentes aplicaciones de los materiales (17). Esta ciencia se empezó a considerar en el momento en el que Stensen empieza el estudio de las caras del cristal de cuarzo, el cual posteriormente da nacimiento a la cristalografía; después de esto el descubrimiento y la posibilidad del análisis químico de los elementos de la naturaleza generó una gran controversia para el desarrollo de la cristalografía como ciencia (1,12).

La cristalografía tiene grandes e importantes progresos en la ciencia rusa, personalmente a Federov, por su obra "Simetría de los sistemas regulares de las figuras" (1890), además tuvo otra gran aporte a la ciencia ya que fue precursor del estudio microscópico de los minerales. Otro gran avance para el estudio de los cristales fue el descubrimiento del físico M. Laue, en 1912, sobre la difracción de los rayos x, investigaciones posteriores en este campo realizados por los físicos rusos G. Wulff, los Bragg (padre e hijo), Pauling y otros, demostraron con claridad la relación que existe entre la estructura cristalina, la composición química y las propiedades físicas de los minerales y de esta manera se creó la cristalografía, la cual se encarga de estudiar las leyes de la disposición espacial de los átomos o iones en los cristales con la relación que existe entre las propiedades físicas y químicas con la estructura cristalina de los minerales (1,12).

El estudio de diferentes materiales por medio de la cristalografía nos permitiría establecer propiedades de: dureza, maleabilidad, ductilidad, conductividad térmica y eléctrica, estabilidad química entre otras, de esta manera generar y demostrar la importancia de la cristalografía en el desarrollo de tecnologías accesibles con propósitos de las aplicaciones de los materiales a utilizar (1,17).

Para estudiar las propiedades de cualquier material en estado sólido, es necesario aplicar la cristalografía la cual se encarga de mostrar su distribución atómica, ya que ella definirá sus propiedades y son los sólidos cristalinos los más fáciles de estudiar, porque mantienen una sola forma y un orden, la unidad fundamental de un sólido cristalino, es una celda cristalina. Estas celdas cristalinas se han distribuido en siete sistemas y si se le distribuye los motivos, originaran las 14 redes de Bravais (1,15,17).

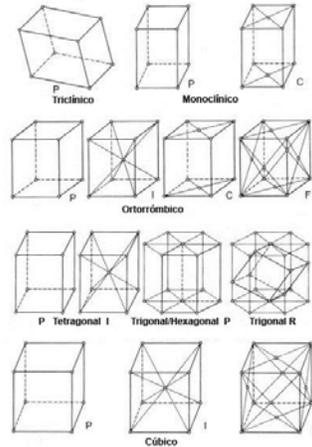


Figura 2. Retículos de Bravais.

Fuente: "Propiedades Estructurales del MgB₂ en el volumen" (15).

El motivo puede ser un átomo o molécula, que corresponden a su vez a cada punto de la red. Además de la geometría y el motivo de las redes de Bravais, se tiene en cuenta la mínima región dada por los vectores de translación y tres ángulos que determinan un paralelogramo, denominado: Red Unitaria; cuando se aplica el operador translación a la red aparecen dos nuevas celdas: unitaria y primitiva.

La celda unitaria es un volumen del espacio que trasladado a todos los puntos llena todo el espacio sin vacíos, ni solapamientos y genera el cristal completo; la celda unitaria, es generalmente mayor que la celda primitiva (15,17).

En la presente investigación se utilizara la cristalografía como herramienta de caracterización de carburos, los cuales son usados en diferentes dispositivos ya que estos presentan propiedades tanto de metales como cerámicos, son materiales superduros, los cuales presentan una buena resistencia a la corrosión, tienen la capacidad de almacenar el calor, tienen una gran dureza, también sirven para aislar el calor, además tienen una alta estabilidad química, etc., a la vez, estas se han implementado en áreas como: recubrimientos de materiales, en ferroaleaciones, fabricación de herramientas, la industria textil, entre otros.

3. Análisis Bibliográfico

Por medio de esta recolección bibliográfica, fue posible encontrar las diferentes propiedades y características de cada material, estos datos se mostraran de acuerdo al aporte dado por cada autor investigado, en donde se mostrara información respecto a las estructuras cristalinas y datos de red; ya que las investigaciones hechas son muy escasas, es necesario hacer una comparación de los datos obtenidos por los autores, de tal forma, que podamos llegar a una conclusión, teniendo en cuenta esta información.

3.1. Carburo de Molibdeno (Mo₂C)

Teniendo en cuenta las fuentes de la información encontrada, podemos ver que el carburo de molibdeno, nos arrojan diferentes datos de acuerdo a las pruebas experimentales y investigaciones de los autores; los cuales mostraremos a continuación:

3.1.1. CHINA TUNGSTEN ONLINE (XIAMEN) MANU & SALES CORP.

Según esta fuente, el carburo de molibdeno (Mo₂C) puede ocurrir en muchas formas cristalinas, la más comunes son la fase α -Mo₂C y la fase β -Mo₂C. La última fase cristalina es estable a bajas temperaturas y se produce en los aceros (β -Mo₂C), tiene un primer plano lleno de estructura cristalina hexagonal, con los átomos de carbono situado en la mitad de los intersticios octaédricos disponibles. Los parámetros de red son **a = 0.3007 nm** y **c = 0.4729 nm**.

3.1.2. HAILIANG Liu, JINGCHUAN Zhu, ZHONGHONG Lai, RONGDA Zhao, DONG He.

De acuerdo con estos autores, ellos realizaron un proceso de investigación en los cuales pudieron encontrar las propiedades estructurales, electrónicas y elásticas de la fase ortorrómbica y hexagonal Mo₂C del carburo de molibdeno, los cuales fueron investigadas utilizando los principios básicos de un método de onda plana pseudopotencial. Los resultados para la entalpía de formación de estos compuestos indican que la fase cristalina Ortho-Mo₂C puede formarse más fácilmente que la fase cristalina Hexa-Mo₂C. La estructura electrónica calculada indica que los enlaces de Mo₂C tienen propiedades tanto covalentes y metálicos. La estabilidad de diferentes componentes múltiples de los carburos (Mo, M)₂C - (M = Cr, Nb), tanto en forma ortorrómbica y hexagonal también fueron investigados (9, 13).

Los autores nos presentan diferentes datos obtenidos por medio de los cálculos del (DFT), los cuales son mostrados en las siguientes tablas:

Table 1. Calculated and experimental lattice constants (Å), and volumes of Ortho-Mo₂C and Hexa-Mo₂C.

	a (Å)	b (Å)	c (Å)	Equilibrium volume (Å ³)	Mo-site	C-site
<i>Ortho-Mo₂C</i>						
Calculation	4.738	6.038	5.210	149.09	0.254, 0.122, 0.080	0.500, 0.377, 0.249
Experimental [9]	4.725	6.022	5.195	-	0.250, 0.125, 0.083	0.500, 0.375, 0.250
<i>Hexa-Mo₂C</i>						
Calculation	6.098	6.098	4.663	150.17	0.333, 0.667, 0.250	0, 0, 0
Experimental [10]	6.004	6.004	4.724	-	0.333, 0.667, 0.250	0, 0, 0

Tabla 1. Constantes de red calculados y experimentales (Å^o), y los volúmenes de la fase Ortho-Mo₂C y la fase Hexa-Mo₂C del carburo de molibdeno.

Table 2. Calculated energy of Ortho-Mo₂C and Hexa-Mo₂C

	E_{00} crystal cell (eV/unit cell)	E_{total}^{00} (eV)	E_{total}^c (eV)	H (eV/unit cell)
Ortho-Mo ₂ C ₄	-16119.54	-1936.85	-155.83	-2.28
Hexa-Mo ₂ C ₄	-16120.46			-1.36

Tabla 2. Energía calculada de la fase Ortho-Mo₂C y la fase Hexa-Mo₂C del carburo de molibdeno.

Table 3. Calculated elastic constants C_{ij} and B of Ortho-Mo₂C and Hexa-Mo₂C.

	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₂₂	C ₂₃	C ₃₃	C ₄₄	C ₅₅	C ₆₆	B
Ortho-Mo ₂ C ₄	460.49	210.88	205.78	482.74	166.95	489.39	148.19	174.67	182.44	238.80
Hexa-Mo ₂ C ₄	484.39	126.74	164.09	-	-	479.35	155.95	-	-	261.58

Tabla 3. Constantes elásticas calculadas de C_{ij} y B de la fase Ortho-Mo₂C y la fase Hexa-Mo₂C del carburo de molibdeno.

Table 4. Calculated lattice constants and energy for (Mo,M)C (M = Cr, Nb) with orthorhombic and hexagonal structures.

	a (Å)	b (Å)	c (Å)	Equilibrium volume (Å ³)	E _{tot} crystal cell (eV/unit cell)	H (eV/unit cell)
<i>Ortho-Mo₂C</i>						
Mo ₂ C	4.738	6.038	5.210	149.09	-16119.54	-2.28
Mo ₂ CrC ₄	4.536	5.809	5.054	133.19	-16652.39	-2.12
Mo ₂ NbC ₄	4.840	6.148	5.296	157.59	-15736.02	-3.05
<i>Hexa-Mo₂C</i>						
Mo ₂ C	3.054	3.054	4.652	37.58	-4029.89	-0.34
MoCrC	2.946	2.946	4.459	33.51	-4561.87	-0.25
MoNbC	3.102	3.102	4.774	39.77	-3645.42	-1.1

Tabla 4. Constantes de red calculados y la energía de (Mo, M) C₂ (M = Cr, Nb) con estructuras ortorrómbicos y hexagonal en el carburo de molibdeno.

3.1.3. REDDY. K. Madhav, RAO. T.N., REVATHI. J., JOARDAR. J.

Según estos autores, ellos nos muestran que las constantes de red, la formación de energía, la densidad total del estados (DOS) y las constantes elásticas de las fases Ortho-Mo₂C y Hexa-Mo₂C se calcularon utilizando los principios fundamentales, además se hizo la relación entre estas formas estructurales (10). Se muestra la importancia de los elementos aleantes, tales como el Cr y Nb, en la estabilidad estructural de las fases Ortho-Mo₂C y hexa-Mo₂C del carburo. La fase Ortho-Mo₂C cristaliza en el espacio ortorrómbica en el grupo P $63/mmc$ (SG N ° 60) con cuatro unidades de fórmula (Z = 4) por celda unitaria. La fase Hexa-Mo₂C tiene una estructura hexagonal compacta, que tiene una ACB con forma de embalaje en la cual el carbón está situado en medio del espacio intermedio octaedro regular. La fase Hexa-Mo₂C cristaliza en el grupo espacial hexagonal P $63/mmc$ (SG N ° 194) con una unidad de fórmula (Z = 1) por celda unitaria (13). Los cálculos se realizaron de acuerdo a principios basados en la onda plana pseudopotencial dentro de la teoría funcional de la densidad (DFT) utilizando la serie Cambridge Paquete de Energía Total (CASTEP). El software Ultrasoft pseudopotentials se utiliza para describir la interacción de electrones. El intercambio y términos de correlación se describen con la aproximación del gradiente generalizado (GGA) del Perdew-Burke-Ernzerhof, que fue parametrizado por Perdew (10). Después de una serie de pruebas, las energías de corte fueron ajustadas todas a 320 eV para estos compuestos. Por tanto las fases Ortho-Mo₂C y Hexa-Mo₂C, presentaron un número de k-puntos que fueron $5 \times 4 \times 5$ y $5 \times 5 \times 5$, respectivamente. Cada cálculo se consideró convergente cuando la fuerza máxima en el átomo estaba por debajo de 0,01 eV Å⁻¹ y el desplazamiento máximo entre los ciclos estaba por debajo de $5,0 \times 10^{-4}$ Å.

Con el fin de realizar una comparación con la fase Ortho-Mo₂C, se tomó un modelo de supercélula con cuatro unidades de fórmula (Z = 4) por celda unidad para la fase Hexa-Mo₂C que fue tomada. Las constantes de red de la fase Ortho-Mo₂C y la fase Hexa-Mo₂C se calcularon mediante la optimización geométrica, y los resultados se muestran en la Tabla 1. Cada uno de los parámetros de red se sobrestimó en un 2%. Podemos ver que la fase Ortho-Mo₂C tiene un volumen de equilibrio menor que la fase Hexa-Mo₂C del carburo. Los datos presentes contenidos en la celosía coinciden bastante con los datos correspondientes a las pruebas experimentales a temperatura ambiente. Si se consideran los efectos termodinámicos en la estructura cristalina, los resultados de los cálculos deben estar en acuerdo con los resultados experimentales (8,13). Teniendo en cuenta estos factores, aunque hay pocos datos experimentales sobre la ocupación del sitio por la fase Ortho-Mo₂C y la fase Hexa-Mo₂C, se puede concluir que los parámetros de cálculo y las condiciones seleccionadas en este documento deben ser adecuados (8), los cuales se muestran en la tabla 5.

Constantes de Red calculada y experimental (Å), y los volúmenes de Ortho-Mo ₂ C y Hexa-Mo ₂ C						
	Un (a)	b (Å)	c(Å)	Volumen Equilibrium (Å ³)	Sitio - Mo	Sitio - C
Ortho-Mo ₈ C ₄						
Cálculo	4.738	6.038	5.210	149.09	0.254, 0.122, 0.080	0.500, 0.377, 0.249
Experimental	4.725	6.022	5.195	_____	0.250, 0.125, 0.083	0.500, 0.375, 0.250
Hexa-Mo ₈ C ₄						
Cálculo	6.098	6.098	4.663	150.17	0.333, 0.667, 0.250	0, 0, 0
Experimental	6.004	6.004	4.724	_____	0.333, 0.667, 0.250	0, 0, 0

Tabla 5 – Fuente: "A first-principles study on structural and electronic properties of Mo₂C" (9).

3.2. Carburo de Zirconio (ZrC)

El carburo de zirconio es un material cerámico refractario muy duro (20, 21,11), que tiene la apariencia de un polvo gris metálico con estructura cristalina cúbica FCC- cF8, con coordinación geométrica octaedral y ubicado en el grupo espacial Fm3m, No.225, que cristaliza solamente en la estructura cúbica NaCl, de acuerdo al ingeniero físico Andrés Felipe Zapata (22).

El carburo de zirconio es un material altamente resistente a la corrosión, con alta conductividad térmica y eléctrica, absorbe la luz visible, refleja en el infrarrojo, almacena energía y tiene un alto punto de fusión y por ende resiste a ultra altas temperaturas (2, 11,19, 22); en concordancia con Anubhav Jain se afirma que estas propiedades dependen de una serie de factores como: la composición química, defectos en la estructura, tamaño de grano y porosidad, entre otras (10).

Las propiedades nombradas anteriormente son aplicables en los campos de las ciencias biomédicas. A continuación se muestran algunas propiedades físicas y mecánicas con su respectivo valor y unidades del carburo de zirconio.

Propiedades mecánicas y físicas del carburo de zirconio	
Densidad (g/cm ³)	6,59
Temperatura de fusión (°C)	3420
Dureza	25,5 GPa- 2600 Kg/mm ²
Conductividad térmica	20,5 W/m °C
Resistividad eléctrica (microhm- cm)	45+-10
Módulo de elasticidad	350- 440 Gpa

Tabla 6. Propiedades mecánicas y físicas del Carburo de zirconio

El carburo de zirconio es un carburo intersticial, es decir, el átomo del carbón tiene un tamaño mucho más pequeño en comparación con el de los otros átomos, lo cual permite intersticios en la red cristalina (22), y debido a esta estructura intersticial, existe una combinación de enlaces metálicos, covalentes e iónicos entre los átomos de los elementos que lo conforman que son principalmente zirconio (Zr) y carbono (C). De acuerdo a la Real Academia Española el zirconio es un elemento químico de número atómico 40, $Z = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^2 5s^2$, situado en el grupo IV B en los metales de transición. Es un metal brillante, blanco grisáceo con alta dureza, resistente a la corrosión y similar al acero. Los minerales más importantes en los que se encuentra son el circón ($ZrSiO_4$) y la badeleyita (ZrO_2), este último mineral siendo uno de los reactivos en la síntesis del carburo de zirconio mediante la reducción carbotérmica, según varias fuentes científicas. El carbono es un elemento químico de número atómico 6, $Z = 1s^2 2s^2 2p^6$, situado en el grupo IV A en los no metales. De acuerdo a William F. Smith, el carbono puede encontrarse en distintas formas alotrópicas, como: grafito, diamante, fullerenos, nanotubos y carbinos, además de la forma amorfa (17).

Como ya se había mencionado anteriormente el carburo de zirconio solamente cristaliza en la estructura cúbica NaCl, que se considera una combinación de dos redes cúbica centrada en las caras (FCC), una de ellas con una base de un átomo metálico por sitio de red y la otra con un átomo por sitio de red (22). Según la densidad de empaquetamiento la estructura cúbica NaCl es descrita por una codificación de letras, así: AcBaCbAcBaCb, donde la letra mayúscula denota los sitios de red metálicos y la letra minúscula denota los sitios de red no metálicos. A continuación se muestra la estructura cúbica NaCl.

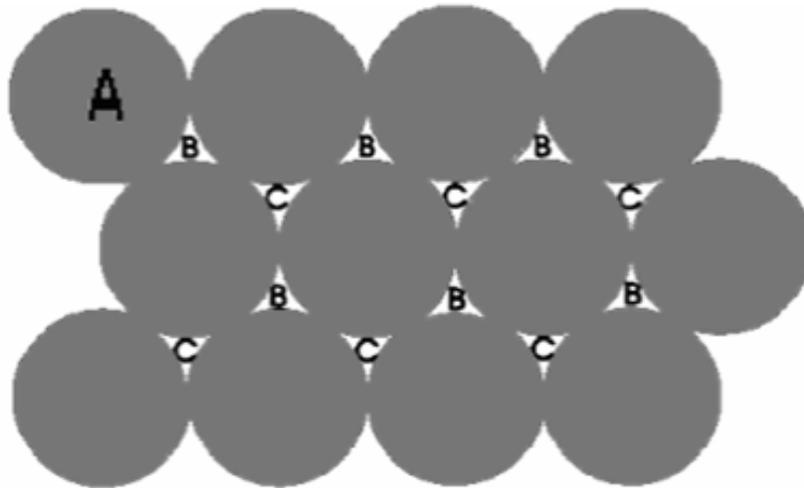


Figura 3. Estructura cúbica NaCl.

Fuente: "Producción y caracterización de monocapas de carburo de zirconio variando la temperatura del sustrato" (22).

De acuerdo a Becker K. y Ebert F. (23), y a ciento de fuentes científicas, el carburo de zirconio tiene estructura cúbica FCC-cF8, con un valor de volumen de celda igual a 107.9 \AA^3 , con los siguientes parámetros de red:

a	4.76 Å
b	4.76 Å
c	4.76 Å
α	90°
β	90°
γ	90°

Tabla 7. Parámetros de red del carburo de zirconio.

4. Conclusión

En la actualidad se está presentando un gran desarrollo en la implementación de nuevos materiales, los cuales compiten entre sí, en donde se produce la sustitución de un material por otro de acuerdo a las aplicaciones y las necesidades.

La disponibilidad de materias primas, el costo de fabricación y métodos de elaboración de productos, son factores importantes que causan cambios en el empleo de los materiales, y es ahí en donde la implementación de nuevos materiales representa un avance en prestaciones y eficiencia en las diferentes aplicaciones que se le den.

El desarrollo de esta investigación permite informar al público de interés, la importancia que presenta el desarrollo y avance de los materiales superduros, los cuales presentan unas características muy importantes, las cuales se puede aplicar en diferentes campos de la ingeniería y la vida cotidiana en general, ya que estos materiales, en especial los carburos de molibdeno (Mo₂C) y zirconio (ZrC), se pueden fabricar e implementar en nuestra región Latinoamérica, solamente que el desarrollo de la ingeniería de materiales, no está al nivel del desarrollo global de la innovación de materiales, que presentan otras regiones del mundo, tal como lo hace China, que en este momento, es una gran fuente de investigación y visión en el campo de los materiales.

5. Referencias

- (1) ACPC©. (2013). Historia de la Cristalografía. Consultado en: (<http://www4.uva.es/goya/Intranet/Pages/programas/sintesis/2012-2013/Historia%20de%20la%20Cristalograf%C3%ADa.pdf>).
- (2) American Elements – The World’s Manufacturer of Engineered y Advanced materials. (2005). Zirconium Carbide Sponge. Consultado en: (<http://www.americanelements.com/zirconium-carbide-sponge.html>).
- (3) Amestica, Luis. Quijada, Raúl. Villaseca, David. Propiedades, aplicaciones y mercado del Molibdeno. Difusión de tecnologías, aplicaciones y desafíos del molibdeno para la industria e investigadores a nivel nacional. Innova Chile Código 208-7374.

- (4) Bulyche, V.P. Andrievski, R.A. Nezhevenko, L.B. Theory and technology of sintering, thermal, and chemicothermal treatment processes. The sintering of zirconium carbide. Rusia- Moscow. 1976. Pág. 273- 274.
- (5) Ceram research. Aplicaciones del carburo de zirconio. Carburo de zirconio. Consultado en: (<http://www.azom.com/work/i37V23VadkO8Bkrb9ku8.htm>).
- (6) China tungsten online (xiamen) manu & sales corp. Carburo de Molibdeno. Consultado en: (<http://www.molybdenum.com.cn/spanish/Molybdenum-Carbide.html>).
- (7) China tungsten online (xiamen) manu & sales corp. Molibdeno Aleación. Consultado en: (http://www.molybdenum.com.cn/spanish/molybdenum_alloy.htm).
- (8) García, Elizabeth. González, Yolanda. Díaz, Yraida. Albornoz, Alberto. Brito, Joaquín L. (2009). Síntesis de catalizadores a base de nitruros y carburos de Nb y Mo para la hidrodeshulfuración de tiofeno. Revista. Facultad. Ingeniería. Universidad Central de Venezuela v.24 n.1 Caracas.
- (9) Hailiang liu. Jjingchuan zhu. Zhonghong lai. Rongda zhao. Dong he. A first-principles study on structural and electronic properties of Mo₂C. School of Materials Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, Heilongjiang, China. Base de Datos SciVerse - ScienceDirect. Consultado en: (<http://bdatos.usantotomas.edu.co:2156/science/article/pii/S1359646209001079>).
- (10) Jain, anubhav. (2004). Synthesis and processing of nanocrystalline zirconium carbide formed by carbothermal reduction. Georgia Institute of Technology, Unites States of America. Páginas 31- 38.
- (11) Kalpakjian, Serope. Schmid, Steven R. Manufactura, ingeniería y tecnología. Características y propiedades de los cerámicos. Cuarta edición. Prentice Hall. México. 2012. Pág. 206- 211.
- (12) Pascual, Celia Marcos. Cristalografía y mineralogía, Tema 1 - Introducción a la Cristalografía y Mineralogía. Consultado en: (http://ocw.uniovi.es/file.php/39/1C_C11812_A/contenidos%20en%20pdf%20para%20descargar/1.pdf).
- (13) Reddy. K. Madhav, Rao. T.N., Revathi. J., Joardar. J. Structural stability of α / β -Mo₂C during thermochemical processing. Center for Nanomaterials, International Advanced Research Center for Powder Metallurgy and New Materials (ARCI), PO Balapur, Hyderabad 500005, AP, India.
- (14) Sacks. Michael D, Cochram. Joe K, Speyer. Robert F. (2004). Synthesis and processing of nanocrystalline zirconium carbide formed by carbothermal reduction. Georgia. Pág. 8- 24.
- (15) Segura. Sully Peña. Propiedades Estructurales del MgB₂ en el volumen. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Maestría en Ciencias Físicas Seminario II.
- (16) Sacks. Michael, Wang. Chang- an, Yang. Zhaohui. Jain, Anubhav. Journal of materials science. Carbothermal reduction synthesis of nanocrystalline zirconium carbide and hafnium carbide powders using solution- derived precursors. United States of America- Georgia. Pág. 6057- 6058.
- (17) Smith, William F. Estructura atómica y enlace. (1998). Fundamentos de la ciencia e ingeniería de Materiales, University of Central Florida, Mc Graw Hill Tercera edición, Pág. 15.
- (18) Tamborenea, S. Mazzonil, A. D. Aglietti. E. F. Preparación y sinterizado de fases Zr (C, N, O). (2003) Argentina. Pág. 750- 753.

(19) US research nanomaterials, inc- the advanced nanomaterials provider. Zirconium carbide nanopowder/ nanoparticles. Nanopartículas de carburo de zirconio para uso textile. Consultado en: (<http://www.us-nano.com/inc/sdetail/203>).

(20) Your higher technology specialty chemicals resource. Zirconium carbide (ZrC) Powder from reade. Características y propiedades del carburo de zirconio. Consultado en: (<http://www.reade.com/products/111-hardmetal-materials-carbide-cemented-carbide-tungsten-carbide-cobalt-widia-powders/840-zirconium-carbide-zrc-zrc-a-zrc-ax-zrc-b-zirconium-carbide-micron-black-powder-zirconium-carbide-powder-zirconium-iv-carbide-zrc-a->).

(21) Schwab. G. M, Krebs. A, Measurement and theory of the hardness of transition-metal carbides, especially tantalum carbide, (1971). Muenchen University, Munich-Alemania, Páginas 91- 110.

(22) Zapata. Andrés Felipe, "Producción y caracterización de monocapas de carburo de zirconio variando la temperatura del sustrato". Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales, Manizales- Colombia, Páginas 12- 21.

(23) Becker. K, Ebert. F, Die Kristallstrukturen einiger binärer Carbide und Nitride, (1925). England, Páginas 268- 272.

6. Autores

- **Cristhian Raúl Maldonado Monroy**. Estudiante de 8° Semestre de Ingeniería Mecánica de la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, perteneciente al semillero de Ciencias Básicas en la línea de trabajo Nuevo Materiales. Contacto: cristhian.maldonado@usantoto.edu.co.
- **Sergio Augusto Monroy Toro**. Estudiante de 8° Semestre de Ingeniería Mecánica de la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, perteneciente al semillero de Ciencias Básicas, en la línea de trabajo Nuevo Materiales. Contacto: yeyo.monroy@hotmail.com.
- **José Miguel Castiblanco Castelblanco**. Estudiante de 8° Semestre de Ingeniería Mecánica de la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, perteneciente al semillero de Ciencias Básicas, en la línea de trabajo Nuevo Materiales. Contacto: mecjose93@gmail.com.
- **Sully Segura Peña**. Docente Investigadora área de Física, perteneciente a la División de Ciencias Básicas de la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja; Coordinadora del Semillero de Ciencias Básicas, directora de la Línea de Nuevos Materiales. Contacto: sully.segura01@usantoto.edu.co.

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2015 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)