

Material-ES

REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MATERIALES

DÍA MUNDIAL DE LOS MATERIALES 2020



socie  mat sociedad española de materiales



Imagen de Portada:

Fotos presentadas al Concurso concurso de fotografía #MaterialProtagonistaSOCIEMAT con motivo del Día Mundial de los Materiales

Editor

Rodrigo Moreno. *Instituto de Cerámica y Vidrio, CSIC. Madrid. España.*

Secretaría

Anna Muesmann. *SOCIEMAT. Madrid. España.*

Junta Directiva de SOCIEMAT

Presidente:

Juan José de Damborenea González

Vicepresidente:

Rodrigo Moreno Botella

Secretaria:

Gloria Patricia Rodríguez Donoso

Tesorera:

Anna M^a Muesmann Torres

Presidente Saliente:

Paloma Fernández Sánchez

Vocales:

M^a Victoria Biezma Moraleda

Jose Ygnacio Pastor Caño

M^a Teresa Pérez Prado

José Luis Plaza Canga-Argüelles

Daniel Sola Martínez

URL: <http://sociemat.es>

Correo electrónico: info@sociemat.es / sociemat1996@gmail.com

Tel.: 618 170 493

Sociedad Española de Materiales SOCIEMAT

Entidad inscrita en el R^o Nacional de Asociaciones del

Ministerio del Interior, Grupo 1, Sección 1, Número Nacional 161428

ÍNDICE

ARTÍCULOS

ARTÍCULO INVITADO

Construcción sostenible. El papel de los materiales

F. Puertas; M.M. Alonso; M. Palacios 54

Lectura crítica, como estrategia para el aprendizaje. Caso: pérdida de volumen pin on disk con método de sólidos de revolución

M. Moreno-Amado 62

Óxidos de wolframio y de níquel cromogénicos depositados en lámina delgada mediante pulverización catódica reactiva

C. Guillén; J. Herrero 66

Oxidative degradation of polypropylene in sanitary hot water associated with legionella prevention maintenance

B. Garrido; A. Millán; N. Merayo; C.Negro 70

I+D+i EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES

Hace mucho tiempo...breve historia de las sociedades científicas

P. Fernández 74

EDITORIAL

Como en años anteriores, SOCIEMAT se ha unido a las actividades de la Federación Europea de Sociedades de Materiales, FEMS, para celebrar el Día Mundial de los Materiales. Por una parte, se ha organizado un concurso de fotografía #MaterialProtagonistaSOCIEMAT en nuestras redes sociales Twitter e Instagram. Por otra parte, y siguiendo con la tradición de los últimos años, se ha celebrado la jornada del Día Mundial de Los Materiales 2020, organizada por SOCIEMAT y la Universidad Politécnica de Madrid. Por supuesto, dadas las restricciones impuestas por la situación sanitaria, el evento se realizó en forma virtual con el lanzamiento de un video de la jornada en el canal de Youtube de SOCIEMAT, disponible en el enlace: https://www.youtube.com/channel/UCW3sr5luSj8V2Y1GaV_RQPw.

En la jornada de este año se ha impartido una conferencia a cargo de nuestro Presidente, Prof. J.J. de Damborenea, titulada “La Ciencia y Tecnología de Materiales en los tiempos de la COVID”, seguida de la presentación del Premio SOCIEMAT Caja de Ingenieros Mejor Trabajo Fin de Grado en Ingeniería en Materiales concedido a Claudia Vázquez Sanz, ingeniera de Materiales por la Universidad Politécnica de Madrid. Posteriormente, tuvieron lugar las presentaciones de los finalistas al Premio SOCIEMAT Mejor Trabajo Fin de Máster en Ciencia de Materiales, que este año fueron Antonio del Bosque García, Máster en Tecnologías de Procesado de Materiales de la Universidad Rey Juan Carlos, Xabier García Casas, Máster en Ciencia y Tecnología de Nuevos Materiales de la Universidad de Sevilla, Juan Ivorra Martínez, Máster en Ingeniería, Procesado y Caracterización de Materiales de la Universidad Politécnica de Valencia y Ligia Luque Álvarez, Máster en Ciencia y Tecnología de Nuevos Materiales de la Universidad de Sevilla. El ganador de esta edición fue Xabier García Casas, de la Universidad de Sevilla. Tras la intervención de los trabajos de Máster, Elena M^a Tejado Garrido, de la UPM, presentó la conferencia titulada “Materiales compuestos W – Cu para los futuros reactores de fusión”. Finalmente, Jordi Díaz Marcos, de la Universidad de Barcelona y ganador del Premio SOCIEMAT a la Difusión y Educación Científica en Materiales 2020, impartió la conferencia titulada “Comunicando ciencia de los materiales: Desde el proyecto educativo al meme científico”. Nuestra más sincera enhorabuena a los ganadores de los distintos premios.

ARTÍCULO INVITADO**CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE. EL PAPEL DE LOS MATERIALES****F. Puertas, M.M. Alonso, M. Palacios**

Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC)- Madrid-Spain

Autora de correspondencia. Prof. Francisca Puertas. puertasf@ietcc.csic.es

Resumen: En este artículo se aborda, de manera resumida, la necesidad de alcanzar una construcción sostenible y el papel que juegan los materiales (cemento y hormigón) para lógralo. Se describen algunas de las investigaciones que se están realizando para la obtención de cementos más eco-eficientes (cementos con bajos contenidos en clínker y cementos alcalinos). Las materias primas de gran parte de estos cementos y hormigones eco-eficientes son residuos o subproductos industriales. Se resalta la necesidad de tener controles químicos, físicos, mineralógicos y radiológicos de estos residuos antes y después de su utilización en la preparación de los materiales de construcción. Se describen brevemente los aspectos (prestacionales y medioambientales) positivos de estos cementos y las líneas de investigación abiertas en torno a la mejora de sus propiedades y comportamiento.

Con esa misma finalidad de alcanzar el “Hormigón Verde” se presentan resultados de la reutilización de residuos de construcción y demolición en la producción de hormigón. Se hace también referencia a otros tipos de hormigones de altas prestaciones (resistentes y durables) y propiedades y características especiales (auto-sellantes, auto-limpiables, impresión 3D, etc.).

Palabras Clave: Construcción sostenible, Sostenibilidad, Cemento, Hormigón, áridos, adiciones minerales, comportamiento, durabilidad, residuos y subproductos industriales.

1. INTRODUCCIÓN.

Se entiende por “Construcción Sostenible” a ese modo de construcción basado en el respeto al entorno y al medio ambiente, que implica el uso eficiente de la energía, el agua, los recursos y de los materiales no perjudiciales para el medio ambiente. En definitiva, es una construcción más saludable y con reducción de impactos ambientales [1]. Este concepto se imbrica con el de “Sostenibilidad”, que, de una manera sencilla, se puede definir como aquellas actuaciones que permiten satisfacer las necesidades del presente sin comprometer las del futuro y sus generaciones.

Las previsiones de la ONU son que en el año 2060 la población mundial se habrá multiplicado por 4 con respecto a la que había en 1950 (ver Figura 1). Esto supone que se necesitarán muchas y mejores infraestructuras, viviendas y demás construcciones para satisfacer las necesidades de esa población, lo que a su vez significa que se precisarán volúmenes elevados de materiales de construcción.

Dependiendo de donde estén situados, los edificios contruidos consumen entre un 20 y un 50% de recursos naturales (piedra, madera, agua, combustibles fósiles, etc.). Durante su construcción, su uso y su deconstrucción (cuando ya no son necesarios o están envejecidos y/o fuera de uso) son también causa de emisiones elevadas de gases de efecto invernadero, consumos de energía, agua y otros materiales, y generadores de nuevos residuos. Esto significa que hay

que ir hacia procesos constructivos más racionales que impliquen menos consumos de energía, agua y recursos naturales y también se busquen vías de reciclar, recuperar y reusar los residuos que se generen. Estas actuaciones están directamente recogidas en los Objetivos Sostenibles (OS) de la ONU, fundamentalmente con los OS 9 y 11, de la AGENDA 2030 [2] y en las políticas establecidas por la UE relacionadas con la Economía Circular [3], en la que se busca que los residuos se conviertan en recursos aprovechables e utilizables. En este proceso de cambio en el paradigma del proceso constructivo, los materiales de construcción juegan un papel fundamental, como pasaremos a describir a continuación.



Figura 1. Evolución prevista de la población mundial (1950-2100). Fuente: www.epdata.es.

2. EL HORMIGÓN. EL PRINCIPAL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.

Hay que tener en cuenta que el hormigón de cemento Portland es el principal material de construcción y el segundo material, después del agua, más utilizado por el humano. Su producción anual en el mundo supera los 3 billones de toneladas. Ha sido y es el gran material que ha permitido mejorar la calidad de vida de las personas y ha contribuido al desarrollo de las sociedades a través de las diferentes obras de ingeniería e infraestructuras que con este material se han construido (viviendas, carreteras, puentes, presas, etc.). No se entendería un mundo sin hormigón.

El hormigón de cemento Portland tiene muchas ventajas, desde la amplia disponibilidad de las materias primas que se utilizan en su preparación hasta la versatilidad que permite en el diseño de obras y edificaciones, así como a las elevadas prestaciones mecánicas y durables que exhibe en el tiempo. Sin embargo, y debido fundamentalmente a su elevada producción y consumo es también responsable de una elevada utilización de materias primas naturales, de energía, agua, generación de residuos cuando se acaba su vida útil y de emisiones de gases de efecto invernadero. Alrededor del 8,6% de las emisiones de CO₂ antropogénico en el mundo se asocian a su producción. Monteiro et al. [4] estiman que entre 2017 y 2050 las emisiones de CO₂ debidas a la producción de hormigón se incrementarán entre 85 y 105 Gt, lo que equivale a la cantidad total de gases causantes de efecto invernadero emitida (por todos los sectores industriales a nivel mundial) en 2009 y 2010.

Es decir, el hormigón de cemento Portland es un material de construcción con muchas cualidades técnicas (que se siguen estudiando y mejorando), pero que debido a su elevada producción tiene efectos medioambientales negativos. Entre otros factores gran parte de estos efectos negativos se asocian a la fabricación de su principal componente, que es el cemento Portland [5-6]. El objetivo básico es reducir el impacto medioambiental de la producción del hormigón sin comprometer las necesidades de la sociedad en términos de edificios e infraestructuras. Se habla de conseguir un “Hormigón Verde”, y esto solo se logrará si, a nivel internacional y nacional, se pueden desarrollar regulaciones y leyes más estrictas en el ámbito medioambiental, potenciar la concienciación por parte de usuarios, constructores y arquitectos de la necesidad de hacer construcciones y edificios más sostenibles y a través de gravar los impuestos sobre la cuota de carbono [7].

Aparte de estas medidas legales y sociales, también desde el punto de vista de la ciencia y la tecnología es posible conseguir una construcción más sostenible y alcanzar ese deseado “Hormigón Verde”. Entre las actuaciones más relevantes que se están llevando a cabo en este sentido, destacan:

- Desarrollar y utilizar cementos más eco-eficientes

- Utilizar residuos (ej. residuos de construcción o demolición) en la fabricación del hormigón
- Desarrollar hormigones más resistentes y durables
- Desarrollar hormigones con propiedades y características especiales (autocompactantes, autorrellenables, auto-limpiables, etc.)
- Nuevas tecnologías de producción (ej. como la impresión 3D)
- Desarrollar métodos de captura y almacenamiento de CO₂ en hormigones
- Mejorar los diseños constructivos y los códigos de la edificación

Como se puede apreciar, el papel de los materiales es fundamental para alcanzar una construcción sostenible. A continuación, se pasan a describir, de modo resumido, las principales líneas de investigación que se están realizando, fundamentalmente en el ámbito de los cementos más eco-eficientes y en la reutilización de residuos de construcción y demolición en la producción de hormigón, con esa finalidad de alcanzar el “Hormigón Verde”. Se hará también referencia a otros tipos de hormigones de altas prestaciones y propiedades y características especiales.

3. DESARROLLO Y UTILIZACIÓN DE CEMENTOS MÁS ECO-EFICIENTES.

Dentro de esta línea de investigación se pueden considerar dos grandes directrices en las que está implicada la comunidad científica [8]:

- Cementos con bajos contenidos en clínker de cemento Portland y mayores contenidos de adiciones minerales (*Supplementary Cementitious Materials -SCM*)
- Cementos alternativos al cemento Portland

La fabricación de clínker de cemento Portland requiere de un importante consumo energético asociado a las altas temperaturas (>1500 °C) del horno y a la molienda de materias primas y producto final; así como efectos negativos medioambientales asociados a la extracción y consumo de recursos naturales (calizas, arcillas, arena, etc., como materias primas del crudo de cemento) y a la emisión de gases a la atmósfera (CO₂, NO_x, etc.) durante su fabricación. Todo lo que suponga sustituir clínker por otro material menos costoso energéticamente y medioambientalmente tendrá un efecto positivo en la sostenibilidad. En gran parte estos materiales alternativos (conocidos como adiciones minerales o *Supplementary Cementitious Materials* (SCM)) suelen ser residuos o subproductos industriales (cenizas volantes, humo de sílice, escorias vítreas de horno alto, cenizas de cáscara de arroz y otras cenizas de biomasa, etc.; además de otros materiales de origen natural como arcillas calcinadas, esquistos, etc.). La sustitución del clínker por estas SCMs se lleva produciendo desde hace años y se recoge en las normativas europeas (EN-197-1: 2011). Hasta la fecha, el contenido de SCMs en la

preparación de cementos está limitado (ver Figuras 2), por razones de tipo técnico, tales como:

- Disminución de las resistencias mecánicas iniciales según se incrementa el contenido de SCMs en el cemento
- Limitada disponibilidad de los SCMs más adecuados
- Incertidumbre en torno al comportamiento durable a largo tiempo de los cementos con altos contenidos en SCMs

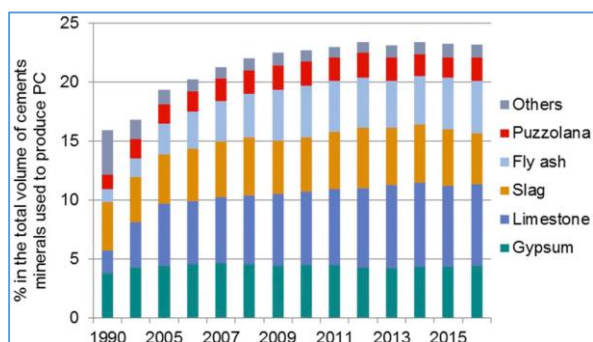


Figura 2. Porcentaje del volumen total de adiciones empleadas en la preparación de cementos. Fuente: GNR World data.

Las líneas de investigación en este campo están orientadas a aumentar las resistencias mecánicas iniciales en cementos con altos contenidos en SCM; incrementando la reactividad de estos materiales. Esta reactividad depende de la superficie específica y de la composición química y estructural de la adición, lo que influye en su velocidad de disolución. A edades tempranas de hidratación, la disolución de SMCs es una etapa controlante del proceso y tiene una contribución vital en la composición de la fase acuosa y en la evolución de la hidratación con el tiempo. Concentraciones elevadas de iones de Al y Ca, en dicha fase acuosa, parecen tener un efecto inhibitor en la disolución de especies activas del clinker y de las propias adiciones [9]. Se está estudiando el papel de aditivos orgánicos (superplastificantes y/o aceleradores) como modificadores de las microestructuras de las pastas de cemento y su influencia en el desarrollo inicial de resistencias mecánicas a tiempos cortos con contenidos elevados de adición mineral [10-12].

Unos cementos que están siendo ahora muy estudiados y con los que ya se han preparado hormigones en India y Cuba, son los denominados LC3 (*Limestone, Calcined Clay Cement*), que tienen tan solo un 50% de clinker (ver composición en la Figura 3) y arcillas calcinadas y calizas, que son materiales de origen natural de elevada disponibilidad en el mundo.

Las investigaciones en este tipo de materiales residen en mejorar las propiedades reológicas de los mismos e incrementar las resistencias iniciales, nuevamente a través del empleo de diferentes aditivos orgánicos e inorgánicos.

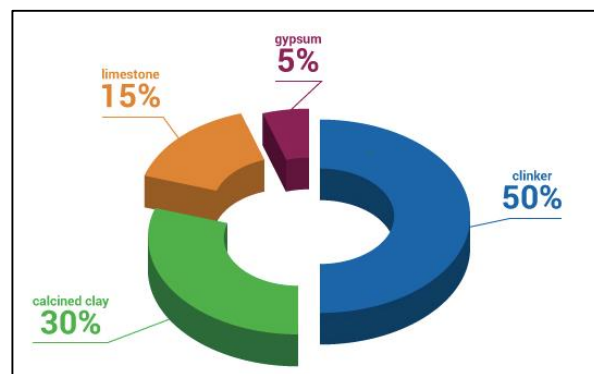


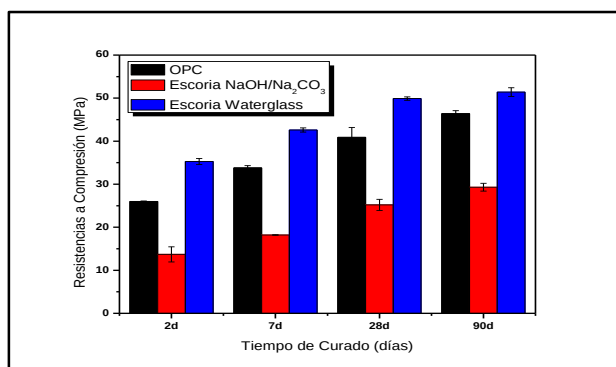
Figure 3. Composición de los cementos LC3. Fuente: <https://www.lc3.ch/the-material/>

Dentro de la segunda directriz en esta línea de investigación se encuentra el desarrollo de cementos alternativos al cemento Portland, y dentro de la amplia gama que existen de estos cementos (cementos de MgO, cementos belíticos, cementos de sulfoaluminato de calcio, cementos de fosfatos, etc.) están los denominados cementos alcalinos, cementos activados alcalinamente o geopolímeros, en los que los investigadores del Instituto Eduardo Torroja somos pioneros mundiales.

Estos cementos alcalinos o geopolímeros son aquellos conglomerantes que se obtienen por la interacción química de aluminosilicatos (denominados precursores), con altos o bajos contenidos en Ca y de origen natural (ej. arcillas calcinadas) o subproductos industriales (ej. escorias vítreas de horno alto, cenizas volantes de central térmica o mezclas de ellos u otros residuos) con disoluciones fuertemente alcalinas (denominadas activador alcalino) (ej. disoluciones de NaOH, KOH, silicatos alcalinos, etc.) de pH > 13 [13]. Los morteros y hormigones que se prepararan con estos cementos tienen una aplicación efectiva en prefabricados, como traviesas de ferrocarril, bloques para tabiquería, etc. y en pavimentos y pasarelas. Hay construcciones realizadas con estos hormigones alternativos en Australia, China y Rusia. Estudios recientes han demostrado cuantitativamente que estos hormigones tienen un efecto positivo en la reducción del calentamiento global del planeta [14-15].

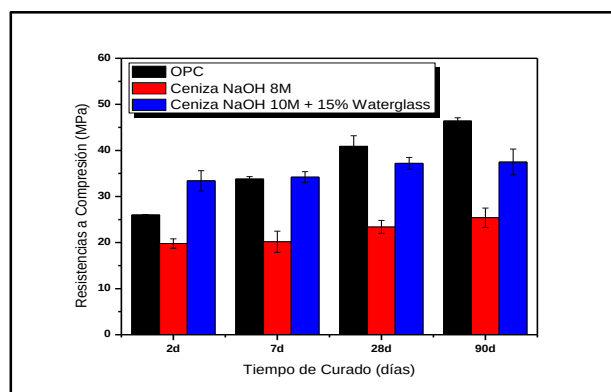
Se ha estudiado exhaustivamente la influencia del precursor y del activador alcalino (líquido y sólido) sobre los desarrollos nano y microestructurales de sus pastas y su influencia en el comportamiento en estado fresco y endurecido de sus hormigones [16]. En términos generales, estos cementos y hormigones alcalinos se caracterizan por desarrollar elevadas resistencias iniciales (>30 MPa a las 24h) [17-18] (ver Figura 4), y un mejor comportamiento frente a medios ácidos, a altas temperaturas y a ciclos hielo-deshielo que los correspondientes hormigones de cemento Portland [17-21].

a) Alkali-Activated Slag (AAS) Concrete



Mixes	Binder content (kg/m ³)	L/S	L/B
OPC	400	0.5	0.5
AASC NaOH/Na ₂ CO ₃	400	0.39	0.5
AASC Waterglass	400	0.37	0.5

b) Alkali-Activated FlyAsh (AAFA) Concrete



Mixes	Binder content (kg/m ³)	L/S	L/B
OPC	400	0.5	0.5
AAFAC NaOH 8M	465	0.32	0.5
AAFAC NaOH 10M + 15% WG	465	0.28	0.5

Figura 4. Resistencias a compresión de a) hormigones de escoria activada alcalinamente y b) de cenizas volantes activadas alcalinamente. L/S= Liquid/Solid and L/B=Liquid/Binder.

Hay varios problemas asociados a la final utilización de estos cementos y hormigones alcalinos y que son objeto de investigación actual por la comunidad científica. Entre ellos destacan la disponibilidad de nuevos precursores distintos de los basados en cenizas volantes y/o escorias vítreas de horno alto (que, debido al cierre de centrales térmicas y altos hornos, se espera que disminuyan considerablemente) y de activadores efectivos y menos costosos energéticamente diferentes de los basados en silicatos alcalinos (sódicos y potásicos, denominados waterglass-Wg), en cuya fabricación se emiten gases de efecto invernadero y elevados consumos energéticos [22]. En este sentido se está estudiando la utilización de residuos vítreos [23-24] y cenizas de biomasa de olivo como potenciales activadores alcalinos [25], con resultados muy prometedores en esta búsqueda alternativa efectiva.

Otros problemas están asociados a la durabilidad y la estabilidad de las estructuras producidas con estos hormigones a largo tiempo. Al ser materiales de construcción relativamente recientes en comparación a aquellos derivados del cemento Portland, su comportamiento a largo tiempo es bastante desconocido, aunque hay evidencias contrastadas de mejoras en los aspectos antes mencionados. También, para mejorar la seguridad de los operarios, se están dirigiendo las investigaciones a sistemas “one-part geopolymers”, que consisten en mezclas sólidas (precursor + activador alcalino) que se amasarían con agua, evitando el contacto directo del operario con disoluciones altamente alcalinas y corrosivas. Otra vía de mejorar los balances energéticos y/o de comportamiento y

prestaciones es el desarrollo de los denominados “cementos y hormigones híbridos” [21], que son aquellos que pueden contener hasta un 30% de cemento Portland y el resto de geopolímero o cemento activado; lo que enlazaría con la anterior vía de investigación de cementos con bajos contenidos clínker. Nuevamente, el desarrollo y la utilización de aditivos orgánicos e inorgánico estables en los sistemas fuertemente básicos de estos materiales activados es una línea de investigación activa que podría conducir a una mejora en las propiedades finales y durabilidad de estos hormigones. Finalmente, la normalización de estos cementos a nivel europeo aseguraría un uso controlado y eficaz de los mismos, y sin lugar a dudas contribuirían a reducir las emisiones de CO₂ asociadas a la fabricación de cementos y hormigones.

Gran parte de los residuos o subproductos industriales empleados en la preparación de los cementos más ecoeficientes son residuos NORM (*Naturally Occurring Radioactive Materials*) o residuos con radioactividad natural. Esto obliga hacer estudios específicos de seguridad ambiental de estos residuos y de los cementos y hormigones que con ellos se puedan preparar. La Directiva 2013/59/EURATOM propone una herramienta de cribado selectivo de tipo conservado para el control del daño radioactivo debido a los materiales de construcción usando el “Índice de Concentración de Actividad (ACI)”, que se obtiene de la siguiente expresión:

$$ACI = \frac{A_{226Ra}}{300} + \frac{A_{232Th}}{200} + \frac{A_{40K}}{3000} \leq 1$$

donde $A_{226\text{Ra}}$, $A_{232\text{Th}}$ y $A_{40\text{K}}$ son las concentraciones de actividad en Bq/kg para el Radio (equivalente al Uranio en equilibrio secular), Torio y Potasio, respectivamente. De acuerdo con la Directiva Europea 2013/59/2013 (Anexo VIII) el índice de concentración de actividad se aplicará a materiales de construcción, mientras en el caso de materiales constituyentes se aplicará un adecuado factor de mezcla.

En un Proyecto estatal (BIA2016-77252-P), que se está realizando en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, se está abordando el estudio radiológico de los residuos y subproductos industriales utilizados habitualmente en la preparación de cementos eco-eficientes y en los propios cementos desarrollados. Los resultados obtenidos [26-29] (ver Tabla 1) demuestran que las cenizas volantes tipo F (bajas en CaO) son los subproductos industriales con un ACI más elevado (ACI: 1.2-0.8). Aún no siendo un cemento eco-eficiente si es reseñable que los cementos de aluminato de calcio tienen un ACI (alrededor de 0.9) superior al del cemento Portland (alrededor de 0.2). Finalmente, los cementos alcalinos o geopolímeros tienen, en términos generales, valores de ACI más elevados que los de los cementos Portland, siendo, de todos modos, los valores obtenidos de ACI inferiores a 1; exceptuando cuando el residuo es un lodo rojo (*red mud*) y forma parte del precursor. En este caso, los valores obtenidos de ACI son superiores a 1 [28]. Para la validación final de estos cementos y hormigones eco-eficientes, con altos contenidos de residuos y subproductos industriales, son necesarios también estudios de lixiviación de elementos pesados y/o radiológicamente peligrosos procedimientos de dichos SCMs.

La idea es conseguir materiales de construcción más eco-eficientes y alcanzar ese ansiado “Hormigón Verde”, pero esto no debe hacer que se pierda de vista que los residuos y subproductos industriales, que se pueden utilizar en la preparación de esos cementos y hormigones, deben de cumplir todos los requisitos y controles químicos, mineralógicos y radiológicos, lo que se permitirá asegurar su uso sin problemas adicionales mediambientales y con seguridad para la salud de la población. Estos controles, obviamente, deben extenderse también a los materiales de construcción finales con ellos fabricados.

4. ÁRIDOS RECICLADOS EN LA PREPARACIÓN DE “HORMIGÓN VERDE”.

Los residuos de construcción y demolición (*Construction and Demolition Waste, CDW*) son una mezcla muy diversa de materiales procedentes de la demolición de obras construidas (hormigón, ladrillo, yeso, vidrio, cerámica, plástico, suelos, etc.); y que, en términos generales, son residuos inertes en más de un 98% [30]. En la UE se generan anualmente más de 800 millones de toneladas de CDW y su utilización es muy variable dependiendo del país. Por ejemplo, en los Países Bajos que reutilizan todos los CDW que se generan, mientras que en Grecia lo envían todo a

vertederos. En España se tiende a reutilizar alrededor del 70% del residuo CDW generado.

Estos áridos reciclados basados en CDW se caracterizan por tener una elevada heterogeneidad química y mineralógica, además de una mayor porosidad y absorción de agua que los áridos naturales (silíceos y/o calcáreos). Estas diferencias implican que su uso esté limitado. De acuerdo con la Instrucción Española del Hormigón Estructural (EHE-08), en su Anejo 15, se limita el empleo de áridos reciclados a sustituir solo hasta un 20% del árido grueso (tamaño mínimo de 4 mm). Con esta limitación las propiedades finales del hormigón reciclado no se ven prácticamente afectadas. Los áridos reciclados de hormigón suelen tener adherido mortero de cemento, lo que les induce una elevada porosidad y, por tanto, una elevada absorción de agua durante el amasado. Su empleo en la preparación de hormigones, en contenidos superiores al 20% antes indicado, va a requerir de unas relaciones agua/cemento elevadas, lo que se traducen en una disminución de las resistencias mecánicas, una disminución del módulo elástico, una mayor deformación y fluencia, y en definitiva una mayor permeabilidad y durabilidad del hormigón final [31].

El empleo de este residuo CDW como árido índice directamente en la “Sostenibilidad” y en alcanzar un “Hormigón Verde”, como demuestran diferentes estudios [32-34], pero deben de tenerse en cuenta todas las consideraciones técnicas relacionadas con su uso para que las propiedades finales del hormigón no se vean negativamente afectadas.

5. HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES, PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS ESPECIALES.

De acuerdo con la *European Construction Industry Federation* en Europa, en 2016, el gasto en rehabilitación y mantenimiento de edificios y estructuras de hormigón ascendió a 358 Billones de euros. Si se mejora la durabilidad del hormigón y se consigue extender la vida útil de las estructuras, desde los 50 años, ahora estimados, a más de 100, se lograría una mayor sostenibilidad y un mejor y más largo mantenimiento de las estructuras, lo que llevaría implícito una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y una menor generación de residuos. Este alargamiento de la vida útil de las estructuras se puede conseguir mejorando los procesos de diseños estructurales y de las mezclas del propio hormigón, utilizando aditivos que permitan reducir las relaciones agua/cemento y preparar hormigones menos porosos y más durables.

De acuerdo con Mindess [7] el mayor competidor del hormigón no es el acero ni la madera, es el hormigón mal preparado. Diseños y dosificaciones precisas del hormigón, con distribuciones granulométricas del árido muy controladas que permitan obtener unos densos empaquetamientos, el uso adecuado de aditivos (superplastificantes y/ dispersantes), junto con curados

Tabla 1. Concentración de actividad de los radionucleidos naturales en SCMs, cementos y geopolímeros (en Bq·kg⁻¹) e ACI (Índice de concentración de actividad) en Bq·kg⁻¹.

SCMs	Serie ²³⁸ U (²²⁶ Ra)		Serie ²³² Th			⁴⁰ K	ACI
	²³⁴ Th	²¹⁴ Pb	²²⁸ Ac	²¹² Pb	²⁰⁸ Tl		
FA	130 ± 7	127.4 ± 1	130.3 ± 1	133.8 ± 1	41.33 ± 0.6	316.4 ± 7	1.1 ± 0.01
BFS	156.4 ± 7	147.2 ± 1	45.7 ± 0.9	42.9 ± 1	14.71 ± 0.3	76.3 ± 3	0.8 ± 0.01
SF	<3.0	1.4 ± 0.2	< 1.5	0.8 ± 0.2	<0.5	95.8 ± 3	<0.1
L	18 ± 2	16.98 ± 0.5	<1.4	<0.5	<0.4	<2.5	<0.1
RM	113 ± 2	100.5 ± 4	321.3 ± 8	287 ± 10	92.1 ± 3	55.1 ± 9	1.8 ± 0.05
CEMENTOS							
Cemento Anhidro (OPC)	<3.7	15.8 ± 1	18.6 ± 1.6	17.06 ± 0.9	5.47 ± 0.5	262 ± 13	0.2 ± 0.01
Pasta hidratada OPC+50% FA	66.7 ± 7	49.1 ± 1.3	55.1 ± 1.7	62.2 ± 1.1	18.5 ± 0.6	211.6 ± 8	0.51 ± 0.01
Pasta hidratada OPC+50% BFS	71.2 ± 6	41.5 ± 1.1	23.0 ± 1.1	22.8 ± 0.7	7.5 ± 0.4	114.1 ± 5	0.29 ± 0.01
GEOPOLÍMEROS							
WG-AAS	91.5 ± 6	48.7 ± 1	22.9 ± 1	23.3 ± 0.69	7.7 ± 0.39	77.0 ± 5	0.30 ± 0.01
N15Wg-AAFA	56.4 ± 6	36.44 ± 1	67.8 ± 2	75.1 ± 1.8	21.57 ± 0.59	578 ± 15	0.65 ± 0.01
WG-BFS/RM/OPC	76 ± 11	75.9 ± 3	164.9 ± 5	148.9 ± 5	47.6 ± 1.6	74.1 ± 8	1.0 ± 0.03

FA. Cenizas volantes; BFS: escorias vítreas de horno alto; SF: Humo de sílice; L: caliza; RM: Lodo rojo; OPC: CEM I; WOPC: Cemento Blanco tipo I; WG-AAS: Escoria activada alcalinamente con silicato sódico hidratado (WG); N15Wg-AAFA: Ceniza volante activada con NaOH y WG15%; WG-BFS/RM/OPC: 30%wtBFS + 60%wt RM + 10%wt OPC activado con WG.

correctos, permiten fabricar hormigones, con contenidos reducidos en cemento y agua, sin disminuir sus prestaciones mecánicas y durables. Se dispone de la tecnología adecuada para fabricar estos hormigones más sostenibles, resistentes y durables [35].

Entre los hormigones de características especiales, destacan, entre otros: hormigón autocompactante, hormigón auto-limpiante, auto-sellante, hormigón con características funcionales, hormigón traslúcido; etc. La presencia de aditivos orgánicos y/o inorgánicos, así como fibras o nanopartículas, les confieren a estos hormigones esas propiedades y/o características especiales. En los hormigones autocompactantes se usan aditivos superplastificantes y distribuciones granulométricas definidas que permiten mejorar las propiedades reológicas del mismo, controlando y alargando la trabajabilidad sin problemas de segregación, ni mermas en sus prestaciones mecánicas y durables. [36]. Las propiedades reológicas y reactividad inicial de la hidratación del cemento son también muy importantes en lo que se denomina “*Digital Concrete*” o impresión 3D. Las investigaciones en este campo son muy recientes y hay muchas incógnitas por resolver

entorno a su preparación y utilización final. En cualquier caso, la impresión 3D de hormigón tiene un futuro claro en la industrialización y prefabricación, y puede ser un revulsivo en la tecnología del hormigón, con importantes beneficios relacionados con la sostenibilidad y el incremento de la competitividad en el sector de la construcción [37].

También incorporando al hormigón nanopartículas de TiO₂, que actúa como un potente autocatalítico, es posible inducir a este material de construcción propiedades descontaminantes y autolimpiantes [38]. Los hormigones auto-sellantes tienen la capacidad de rellenar y cerrar las fisuras que aparecen a lo largo de su vida de servicio. Esta capacidad se consigue empleando polímeros súper absorbentes (SAP - *Super Absorbent Polymers*), también denominados hidrogeles que aportan agua de forma continuada en la vida del hormigón o también incorporando unas resinas epoxy, cianoacrilatos (CA), metacrilato de metilo (MMA) o soluciones bacterianas. Cuando el hormigón se fisura, las cápsulas se rompen liberando el agente, que rellena y sella la fisura formada, por diferentes procedimientos [39]. La incorporación de nanofibras y nanotubos de

carbono puede transformar al hormigón en un material sensible a la deformación y permitir su uso para radiaciones electromagnéticas [40].

6. CONSIDERACIONES FINALES.

La construcción es básica para el desarrollo y bienestar de las sociedades, y al igual que otros sectores industriales, es consciente que debe redefinirse en busca de mejorar sus procesos constructivos y hacerlos más eficientes y sostenibles. En este empeño y necesidad deberían de estar implicados las industrias, los constructores, los usuarios, y tener siempre en mente la necesidad de la ciencia y la tecnología para lograr esas metas.

El hormigón es un material versátil y con grandes vías de mejora en prestaciones y sostenibilidad. Requiere la implicación multidisciplinar de ingenieros, químicos y físicos de materiales, arquitectos, etc. para lograr esos objetivos marcados, y en ese empeño se debe seguir trabajando.

Agradecimientos: Las autoras agradecen a la Agencia Estatal de Investigación y al Ministerio de Ciencia e Innovación la subvención del Proyecto BIA2016-77252-P y y RTI2018-099326-A-I00. Así mismo, las autoras agradecen a la Consejería de Educación e Investigación de la Comunidad de Madrid por la concesión de las ayudas de atracción de talento investigador 2016-T1/AMB-1434.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Ramírez. Construcción Sostenible. Física y Sociedad, nº 13, 30-33 (2002).
- [2] United Nations Climate Change Conference. Paris, 2015. <https://www.agenda2030.gob.es/>.
- [3] Economía Circular (UE, 2016). https://ec.europa.eu/commission/priorities/jobs-growth-and-investment/towards-circular-economy_es.
- [4] P.J.M. Monteiro, S.A. Miller, A. Horvath. Towards Sustainable Concrete. Nature Materials, Vol. 16, 698-699 (2017).
- [5] M. Schneider. The Cement Industry on the Way to a Low Carbon Future. Cement and Concrete Research, Vol 124, 105792 (2019).
- [6] Cembureau, Ecofys Report Shows Potential for Further Uptake of Alternative Fuels in the Cement Industry, Available at <https://cembureau.eu/news-views/blog/ecofys-report-shows-potential-for-further-uptake-of-alternative-fuels-in-the-cement-industry/> (2017).
- [7] S. Mindess. Sustainability of concrete. Chapter 1. Sustainability of Concrete. Ed. Pierre-Claude Aïtcin, Sidney Mindess, Modern Concrete Technology 17 (2019).
- [8] K. L. Scrivener, V. M. John, E. M. Gartner. Eco-efficient cements: Potential, economically viable solutions for a low-CO₂, cementbased materials industry. United Nations & Environment Programm (2016).
- [9] J. Skibsted, R. Snellings. Reactivity of supplementary cementitious materials (SCMs) in cement blends. Cement and Concrete Research, 124, 105799 (2019).
- [10] V. Kanchanasorn, J. Plank, Effectiveness of a calcium silicate hydrate – Polycarboxylate ether (C-S-H-PCE) nanocomposite on early strength development of fly ash cement, Construction and Building Materials. 169, 20–27 (2018).
- [11] K. Riding, et al., Early age strength enhancement of blended cement systems by CaCl₂ and diethanol-isopropanolamine, Cement and Concrete Research. 40, 935–946 (2010).
- [12] J. Cheung, et al., Impact of alkanolamines on hydration of Portland and Fly Ash cements, in: 14th International Congress on the Chemistry of Cement, Beijing, 2015.
- [13] F. Puertas, S. Martínez-Ramírez, S. Alonso, T. Vázquez. Alkali-activated Fly ash/Slag cement. Strength behavior and Hydration products. Cement and Concrete Research, 30, 1625- 1632, (2000).
- [14] G. Habert, C. Ouellet-Plamondon. Recent update on the environmental impact of geopolymers. RILEM Technical Letters 1: 17 – 23 (2016).
- [15] D. Feng, J.L. Provis, J.S.J. van Deventer. Thermal Activation of albite for the synthesis of on-part-geopolymer. Journal of the American Ceramic Society, 95(2), 565-572 (2012).
- [16] F. Puertas, B. Gonzalez-Fonteboa, I. Gonzalez-Taboada, M.M. Alonso, M. Torres-Carrasco, G. Rojo, F. Martínez-Abella. Alkali-activated slag concrete: Fresh and hardened behaviour. Cement and Concrete Composites, 85, 22-31 (2018).
- [17] M. Torres-Carrasco, M.M. Alonso, P. Guarnier, A. Zamora, F. Puertas. Hormigones de escorias activadas alcalinamente. Comportamiento mecánico y durable. Hormigón y Acero, 69 (285), 163-168 (2018).
- [18] J.L. Provis, S.A. Bernal, D. Bondar, A. Buchwald, A. Castel, S. Chithiraputhiran, M. Cyr, K. Dombrowski-Daube, A. Dubey, V. Ducman, A. Dunster, G.J.G. Gluth, S. Nanukuttan, K. Peterson, F. Puertas, A. van Riessen, M. Torres-Carrasco, G. Ye, Y. Zuo. RILEM TC 247-DTA Round Robin Test: Mix design and reproducibility of compressive strength of alkali-activated concretes. Materials and Structures 52:99 (2019).
- [19] M.M. Alonso, A. Rodríguez, F. Puertas. Use of construction and demolition waste aggregates in alkali-activated mortars. Mechanical strength and performance. Materiales de Construcción, Vol. 68, Issue 331, July–September, e164 (2018).
- [20] M. Torres-Carrasco A. Tagnit-Hamou M. T. Tognonvi, F. Puertas. Mechanical and durability behaviour of alkal-activated slag concretes prepared using waste glass as alternative activator. ACI Materials Journal, Nº 112-M75, 791-800 (2015).
- [21] A. Palomo, P. Monteiro, P. Martauz, V. Bilek, A. Fernandez-Jimenez. Hybrid binders: A journey from the

past to a sustainable future (opus caementicium futurum). Cement and Concrete Research, 124, 105829 (2019).

[22] L.K. Turner, F.G. Collins. Carbon dioxide equivalent (CO₂-e) emissions: A comparison between geopolymers and OPC cement concrete. Construction and Building Materials, 43, 125-130 (2013).

[23] F. Puertas, M. Torres-Carrasco. Use of glass waste as an activator in the preparation of alkali-activated slag cements. Mechanical strength and paste characterisation. Cement and Concrete Research, 57, 95-104 (2014).

[24] M. Torres-Carrasco, F. Puertas. Glass waste in geopolymer preparation. Mechanical and microstructural characterization. Journal of Cleaner Production, 90, 397-408 (2015).

[25] M.M. Alonso, C. Gascó, M. Martín Morales, J.A. Suárez-Navarro, M. Zamorano, F. Puertas. Olive Biomass ash as an alternative activator in geopolymer formation. Strength, radiological and leaching behaviour. Cement and Concrete Composites, 104, 103384 (2019).

[26] J. Labrincha, F. Puertas (as coordinators), et al. From NORM by-products to building materials. Naturally Occurring Radioactive Materials in Construction. Integrating Radiation Protection in Reuse (COST Action Tu1301 NORM4BUILDING). Ed. W. Schreyers. Ed. Woodhead Publishing (ELSEVIER) (2017).

[27] F. Puertas, M.M. Alonso, M. Torres-Carrasco, P. Rivilla, C. Gascó, J.L. Yagüe, J.A. Suárez, N. Navarro. Radiological determination in anhydrous and hydrated cements. Construction and Building Materials, 101, 1105-112 (2015).

[28] M.M. Alonso, A. Pasko, C. Gascó, J.A. Suárez, O. Kovalchuk, P. Krivenko, F. Puertas. Radioactivity and Pb and Ni immobilization in SCM-bearing alkali-activated matrices. Construction and Building Materials, 159, 20, 745-754 (2018).

[29] J.A. Suárez-Navarro, A.M. Moreno-Reyes, C. Gascó, M.M. Alonso, F. Puertas. Gamma spectrometry and LabSOCS-simulated efficiency in the radiological characterisation of quadrangular and cubic specimens of hardened portland cement paste. Radiation Physics and Chemistry, 171, 108709 (2020).

[30] Deloitte (2017) Study on Resource Efficient Use of Mixed Wastes, Improving of construction and demolition waste – Final Report. Prepared for the 631 European Commission, DG ENV [31] DWC.

[31] C. Pellegrino, F. Faleschini, C. Meyer. Recycled Materials in Concrete, Chapter 2. Sustainability of Concrete. Ed. Pierre-Claude Aïtcin, Sidney Mindess, Modern Concrete Technology 17 (2019).

[32] L.W. Zhang, A.O. Sojobi, V.K.R. Kodur, K.M. Liew. Effective utilization and recycling of mixed recycled aggregates for a greener environment. Journal Cleaner Production, 236, 117600 (2019).

[33] A. Coelho, J. de Brito. Economic viability analysis of a construction and demolition waste recycling plant

in Portugal - part I: location, materials, technology and economic analysis. Journal of Cleaner Production, 39, 338-352 (2013).

[34] A. Coelho, J. de Brito. Economic viability analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal e part II: economic sensitivity analysis. Journal of Cleaner Production, 39, 329-337 (2013).

[35] E.D. Hooton. Future directions for design, specification, testing, and construction of durable concrete structures. Cement and Concrete Research, 105827 (2019).

[36] RILEM State-of-The-Art. Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete. Ed. K. Khayat, G. De Shutter. (2014).

[37] T. Wangler, N. Roussel, F. P. Bos, T.A.M. Salet, R.J. Flatt. Digital Concrete: A Review. Cement and Concrete Research, 123, 105780 (2019).

[38] RILEM State-of-The-Art. Self-Healing Phenomena in Cement Based Materials. Ed. M. de Rooij, K.V. Tittelboom, Nele de Belie, E. Schlangen (2013).

[39] F. Puertas, J. Payá, M. A. Díaz Bautista, R. Martínez, P. Alaejos. Retos en la Industria del Cemento. Colección ACHE (2017).

[40] O. Galao, F.J. Baeza, E. Zornoza, P. Garcés. Strain and damage sensing properties on multifunctional cement composites with CNF admixture. Cement and Concrete Composites, 46 (2014) 90–98.

LECTURA CRÍTICA, COMO ESTRATEGIA PARA EL APRENDIZAJE. CASO: PÉRDIDA DE VOLUMEN *PIN ON DISK* CON MÉTODO DE SÓLIDOS DE REVOLUCIÓN

M. Moreno-Amado

Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia
mmoreno@udistrital.edu.co

Resumen: Una revisión de los libros de texto básicos, que abordan la enseñanza del proceso de desgaste registran unos pocos párrafos explicando el concepto y posteriormente algunas ecuaciones básicas, las cuales no son detalladamente desarrollada. Para su entendimiento demandan mucho tiempo por parte de los estudiantes, incluyendo extensas búsquedas bibliográficas, algunas veces infructuosas, y la subsiguiente desmotivación hacia su estudio. Sin embargo, estas limitaciones se deben vislumbrar como un estímulo hacia el aprendizaje mediante la lectura crítica. Con el presente caso de estudio, se identificaron algunos aspectos teóricos relacionados con el desgaste de materiales y la técnica, pin on disk, para determinar el volumen de desgaste. Finalmente se propone utilizar una ecuación, para determinar este volumen, desde el análisis de sólidos de revolución.

Palabras clave: lectura crítica, fricción, volumen de desgaste.

1. INTRODUCCIÓN.

En el contexto actual de crisis sanitaria y retomando una problemática educativa vigente en Colombia, en España y en general en el mundo académico es el nivel de repetición y deserción estudiantil. Se propone como estrategia de autoaprendizaje la lectura crítica, en la cual el estudiante, además de la lectura y aprendizaje memorístico, debe ser consciente de que la construcción de su conocimiento se hace de forma activa y autodidacta.

La lectura crítica no es considerada una censura a los autores, es una estrategia de autoaprendizaje para que los estudiantes, de forma autónoma, logren hacer una lectura más lúcida, para comprender la información que, generalmente, se encuentra resumida en los documentos científicos o en los libros de texto.

Respecto al aprendizaje de ciencia de materiales, el comportamiento tribológico juega un papel importante para identificar el deterioro superficial de los materiales, bajo determinadas condiciones de funcionamiento. Y su importancia se evidencia en las publicaciones relacionadas con el tema [1], [2].

Los libros de texto, básicos o avanzados, que introducen al estudiante en conceptos relacionados con tribología, presentan, de una manera muy práctica, las ecuaciones concluyentes y aceptadas por las comunidades científicas. Sin embargo, es evidente que se asume un conocimiento básico por parte del estudiante. Este supuesto es válido para un estudiante que mantiene el proceso regular y continuo. Sin embargo, los estudiantes que por diversos motivos llevan un proceso académico truncado requieren conocer el origen de las ecuaciones. En el presente caso, el origen de

la ecuación para determinar el volumen de desgaste mediante técnica pin on disk [3].

Los estudios tribológicos se inician desde que se analiza el rozamiento de superficies. Es innegable que desde finales del siglo XIX, en los libros de texto, para segunda enseñanza en España (Educación media en Colombia) [4], ya se incluía el concepto de rozamiento (hoy fricción), las leyes y los instrumentos para su medición.

El presente trabajo forma parte de la investigación: “Propuesta de estructura para el proceso educativo de la ingeniería en el siglo XXI” que la autora realiza, desde el año 2017, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Y en la cual, para revisar las estrategias del proceso enseñanza-aprendizaje se utiliza un análisis de libros de texto. Para el presente documento se seleccionó como caso de estudio el cálculo de pérdida de volumen por desgaste.

2. METODOLOGÍA.

Para la elaboración de una propuesta educativa en ingeniería del siglo XXI, se ha iniciado con la consulta de publicaciones para caracterizar los desarrollos tecnológicos actuales. Durante esta consulta se identifican algunos casos de estudio, que han ayudado además de la caracterización, a identificar algunas falencias que no se hacen obvias, en los procesos de enseñanza.

Se seleccionó la pérdida de volumen por desgaste (técnica pin on disk) como caso de estudio. Y se hizo una consulta, utilizando el motor de búsqueda Google, para encontrar libros de texto básicos desde el siglo XIX, en los cuales se

presenta el tema fricción y desgaste. También desde la base de datos “Science Direct” se buscaron artículos que incluyen los términos tribología (*tribology*), fricción (*friction*) o desgaste (*wear*) como palabras clave. El objetivo de la búsqueda es identificar la inclusión del origen de la ecuación para determinar pérdida de volumen (loss of volume due to wear), mediante la técnica *pin on disk*. La importancia de mostrar el origen de la ecuación es facilitar el avance académico de estudiantes noveles quienes, pueden ser jóvenes o adultos que mantienen una formación continua o interrumpida, usan la estrategia de autoaprendizaje con o sin apoyo docente.

3. DESARROLLO CRONOLÓGICO DE LA FRICCIÓN.

Sin ecuaciones, en el año 1865, el libro para educación media [4] describe el concepto de fricción como la resistencia que resulta cuando un cuerpo se mueve sobre la superficie de otro, teniendo presente que las superficies no son perfectamente geométricas sino que presentan varias imperfecciones como intersticios, poros o elevaciones. Además, en la sección sobre movimiento relativo, resaltan que para su estudio, es de mayor importancia la dirección y velocidad.

Más de un siglo después, en 1993 y en 2008, se encuentran, respectivamente, libros de física para educación superior [5], [6] en los cuales el rozamiento hace parte del capítulo relacionado con aplicaciones de las leyes de Newton o leyes del movimiento. Ahora, con ejemplos y figuras sobre fuerzas de fricción (estática y cinética) en la vida cotidiana, los autores muestran al lector la importancia de estudiar el rozamiento. Mediante gráficas donde se relacionan fuerzas de fricción en función de fuerzas aplicadas y mediante ecuaciones básicas de coeficiente de fricción, explican el concepto. Sin embargo, la explicación de pérdida de volumen por fricción no hace parte de la temática presentada en estos libros de niveles medio o superior.

4. DESGASTE

La búsqueda del concepto desgaste en libros de texto básicos o especializados no es fácil, por ejemplo un libro de mecánica clásica publicado en 2001 [7] o los libros básicos de ciencia e ingeniería de materiales [8], [9] o libros básicos de comportamiento de materiales [10], [11] no incluyen este tema en sus contenidos. Shakelford [12] en el capítulo titulado “Degradación ambiental” presenta en las últimas secciones una aproximación al desgaste y registra la ecuación para calcular el volumen de material desgastado, mediante el mecanismo de desgaste adhesivo como una función de la carga aplicada, la distancia de deslizamiento y la dureza del material.

Más común es encontrar el concepto de desgaste en algunos libros especializados como handbook ASM [13], o libros

especializados en desgaste y tribología. Sin embargo, en ninguno se desglosa la ecuación. Por ejemplo, en el handbook ASM [13], los autores, después de hacer una presentación detallada sobre los tipos de desgaste, resaltan la dificultad presentada por investigaciones para formular ecuaciones que incluyan todas las variables involucradas en desgaste de materiales, indican que existen ecuaciones que se tratan en la literatura, para desgaste adhesivo, y en seguida registran la ecuación de Archard como la más divulgada. En la cual la razón de desgaste (volumen/unidad de tiempo) se calcula como función de carga aplicada, velocidad de deslizamiento, dureza y de una constante considerada como coeficiente de desgaste.

Aunque son evidentes, desde la teoría, las irregularidades de las superficies de los materiales así como de la geometría de la huella de desgaste. La ecuación para calcular la pérdida de volumen en una huella de la superficie de un material, obtenida por contacto lineal con una esfera de radio r , se determina mediante análisis trigonométrico [13] para una superficie rectangular curvada como se muestra en la figura 1, Sen $(\theta/2) = a/(2r)$ y el volumen se calculará como el área de la sección circular $(\theta - \text{sen}\theta)(2r)^2/8$ multiplicada por la distancia de deslizamiento (L).

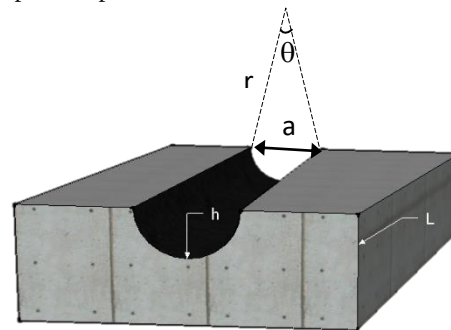


Figura 1. Dimensiones de huella formada por pin de radio r . ancho (a), profundidad (h), distancia de deslizamiento (L)

Obviamente, la literatura especializada para calcular el volumen de la huella de desgaste es la geometría y el cálculo. Por lo tanto, los estudiantes deben ser conscientes de que se requerirá más tiempo para dar profundidad a su nivel de estudio.

5. CÁLCULO DE PÉRDIDA DE VOLUMEN EN HUELLA DE DESGASTE

Entre los métodos más utilizados para determinar el desgaste de material, está el denominado “pin on disk”, que consiste en hacer rotar una esfera (pin) de material y radio (r) conocido sobre el material de análisis; simultáneamente a la rotación, la esfera aplica una carga específica con el fin de obtener una huella de desgaste (figura 2). La huella de desgaste es medida y sus dimensiones se utilizan para calcular el volumen de huella de desgaste ASTM G-99 [3] que se reporta como pérdida de volumen. La huella es el surco que se forma sobre el material de análisis después del

ensayo, en la cual se identifica un anillo concéntrico, a la distancia promedio (R).

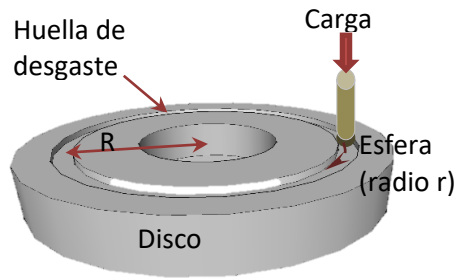


Figura 2. Esquema de huella de desgaste usando técnica Pin on disk. R es la distancia radial a la posición central de la esfera.

Las dimensiones de los círculos que forman al anillo concéntrico (fig 3a) se usan para calcular el volumen de la huella de desgaste. Se pueden usar análisis y ecuaciones de geometría euclidiana, para lo cual la huella puede interpretarse como un surco que se representa como una canaleta (figura 3b) formada al desdoblar los círculos concéntricos y cuyas dimensiones corresponden a las circunferencias de radio menor ($2\pi R_1$), de radio mayor ($2\pi R_2$) y la circunferencia del radio medio ($2\pi R$). La profundidad de penetración de la esfera se representa con la altura (h).

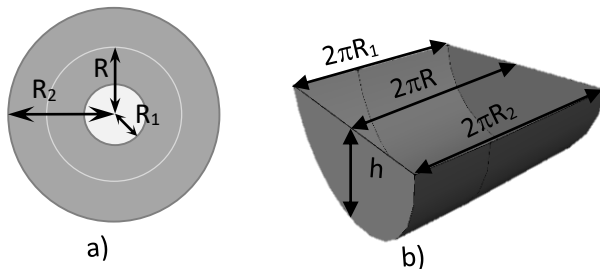


Figura 3. Representación de a) huella de desgaste y distancias radiales. b) surco formado por las circunferencias de huella de desgaste y profundidad de penetración (h) de la esfera de radio r .

La canaleta de la figura 3b) muestra, en la vista horizontal, un trapecio el cual, para facilitar los cálculos de volumen, puede representarse como un rectángulo (figura 4a). Así, el volumen (V) del surco puede calcularse como el área del segmento circular que corresponden a la profundidad de penetración de la esfera (figura 4b) multiplicada por la circunferencia $2\pi R$.

Debido a que durante la caracterización del material, se mide el ancho de la huella (d), es necesario calcular la profundidad de penetración de la esfera mediante un análisis trigonométrico (ecuación 1). El área del segmento circular se calcula según la ecuación 2.

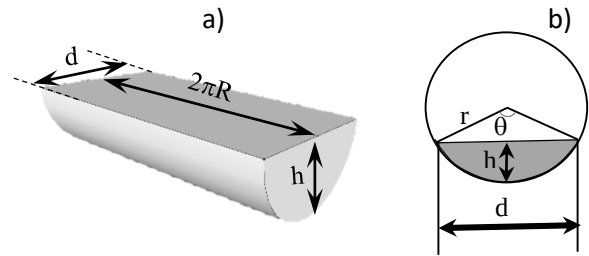


Figura 4. a) ajuste geométrico a la vista horizontal de la canaleta b) segmento circular de penetración de la esfera.

$$h = r - \sqrt{r^2 - \frac{d^2}{4}} \quad (1)$$

$$A_{\text{segmento}} = r^2 \sin^{-1}\left(\frac{d}{2r}\right) - \frac{rd}{2} \quad (2)$$

Y, por lo tanto, asumiendo que no hay pérdida de volumen de la esfera, el volumen del surco que corresponde a la pérdida de volumen por desgaste, se calculará según la ecuación 3.

$$V = 2\pi R \left[r^2 \sin^{-1}\left(\frac{d}{2r}\right) - \left(\frac{d}{4}\right)(4r^2 - d^2)^{1/2} \right] \quad (3)$$

6. USO DE SÓLIDOS DE REVOLUCIÓN

Con el fin de aprovechar otros modelos matemáticos Se propone calcular el volumen perdido por desgaste, usando un sistema matemático básico de sólidos de revolución (ec. 4), para el sólido formado al rotar la esfera (fig 5), de radio r , alrededor del eje Y . La distancia radial desde el eje al centro del pin es R . Los límites corresponden a los medidos en la huella de desgaste.

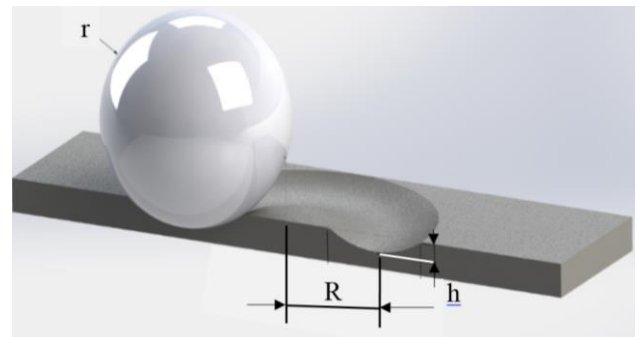


Figura 5. Límites de la integral para cálculo de volumen perdido por desgaste.

$$V = \pi \int_0^h \left[\left(R + \sqrt{r^2 - (y-r)^2} \right)^2 - \left(R - \sqrt{r^2 - (y-r)^2} \right)^2 \right] dy \quad (4)$$

donde:

h: es la profundidad de la huella de desgaste calculada según la ecuación 1, con los datos medidos de la huella de desgaste y asumiendo una geometría ideal.

r: es el diámetro de la esfera

R: es la distancia radial de la huella de desgaste al centro de la esfera.

d: es el ancho de la huella de desgaste.

7. RESULTADOS

Se compararon los métodos, utilizando algunos resultados de huellas de desgaste obtenidas con un pin de alúmina de diámetro 1.252 cm sobre recubrimientos YSZ sobre AISI 316L (tabla 1), la integral se calculó usando la calculadora CASIO fx-570 ES, se encontró una diferencia del orden de $10^{-8}\%$ comparando los resultados con 7 cifras significativas.

Tabla 1. Comparación de resultados de pérdida de volumen, usando método geométrico y cálculo con sólidos de revolución. radio de pin: 0.626 cm, Radio promedio de huella de desgaste: 2.0525 cm. Para la diferencia se usaron 7 cifras significativas.

Muestra	Ancho de huella (mm)	Volumen de desgaste (mm^3)		Diferencia (%)
		Método geométrico	Sólidos de revolución	
YSZ ₁	0.131	$3,86 \times 10^{-3}$	$3,86 \times 10^{-3}$	$7,18 \times 10^{-8}$
YSZ ₂	0.136	$4,32 \times 10^{-3}$	$4,32 \times 10^{-3}$	$5,36 \times 10^{-8}$
YSZ ₃	0.129	$3,69 \times 10^{-3}$	$3,69 \times 10^{-3}$	$8,48 \times 10^{-8}$
YSZ ₄	0.134	$4,13 \times 10^{-3}$	$4,13 \times 10^{-3}$	$7,60 \times 10^{-8}$

8. CONCLUSIONES

La lectura crítica, de los temas presentados en libros de texto, evidencia la utilidad de distintas disciplinas como la geometría, cálculo y física para explicar el comportamiento de los materiales. También es una alternativa para que, además de aprender de memoria, los estudiantes mejoren su proceso de autoaprendizaje.

Los estudiantes autodidactas, que por primera vez van a estudiar la pérdida de volumen por desgaste, pueden acudir a la geometría o al cálculo para entender el origen de las ecuaciones que son utilizadas en las publicaciones donde se reportan los resultados de las respectivas investigaciones.

El cálculo por método de sólidos de revolución conduce a resultados confiables de pérdida de volumen usando la técnica *pin on disk*.

9. REFERENCIAS

- [1] S. Gupta y M. Barsoum, «On the tribology of the MAX phases and their composites during dry sliding: A Review,» *Wear*, n° 271, pp. 1878-1894, 2011.
- [2] E. Bortoleto, A. Rovani, V. Seriacopi, F. Profito, D. Zachariadis, I. Machado,, A. Sinatora y R. Souza, «Experimental and numerical analysis of dry contact in the pin on disk test,» *Wear*, vol. 301, pp. 19-26, 2013.
- [3] ASTM, *ASTM G99-17 Standard Test Method for wear testing with a pin-on-disk apparatus*, West Conshohocken, PA., 2017.
- [4] D. M. Rico y D. M. Santiesteban, *Manual de Física y Química*, Madrid: Imprenta D. Manuel Minuesa, 1865.
- [5] P. A. Tipler, *Física*, vol. 1, Barcelona: Reverté, 1993, pp. 109-116.
- [6] R. A. Serway y J. W. Jewett Jr., *Physics for Scientists and engineers with modern Physics*, 7° ed., Thomson Learning, 2008.
- [7] H. Goldstein, C. Poole y J. Saffo, *Classical Mechanics*, 3° ed., Pearson, 2001.
- [8] D. R. Askeland, *Ciencia en Ingeniería de los materiales*, 3° ed., Thomson, 1998.
- [9] W. D. Callister Jr. y D. G. Rethwisch, *Fundamentals of materials science and engineering an integrated approach*, 4° ed., John Wiley & Sons, 2012.
- [10] W. F. Hosford, *Mechanical Behaviour of Materials*, Cambridge University press, 2005.
- [11] M. A. Meyers y K. K. Chawla, *Mechanical behavior of materials*, Cambridge University Press, 2009.
- [12] J. F. Shackelford, *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*, 6° ed., Pearson Prentice Hall, 1998.
- [13] ASM INTERNATIONAL, *ASM HANDBOOK Volume 18- Friction, lubrication, and wear Technology*, vol. 18, ASM Internal., 1992.

ÓXIDOS DE WOLFRAMIO Y DE NÍQUEL CROMOGÉNICOS DEPOSITADOS EN LÁMINA DELGADA MEDIANTE PULVERIZACIÓN CATÓDICA REACTIVA

C. Guillén, J. Herrero

Departamento de Energía, CIEMAT, Avda, Complutense 40, Edif. 42, Madrid 28040,
c.guillen@ciemat.es

Resumen: Partiendo de blancos metálicos de W y de Ni, se han desarrollado procesos de pulverización catódica reactiva para obtener láminas delgadas de óxidos metálicos con estequiometría controlada, ajustando la proporción de oxígeno en la atmósfera de pulverización. Estudiando la influencia de las condiciones de preparación sobre las propiedades estructurales y ópticas de las láminas, se ha comprobado que el óxido de wolframio (WO_{3-x}) se colorea cuando el contenido de oxígeno disminuye, mientras que el óxido de níquel (NiO_{1+x}) lo hace al aumentar la proporción de oxígeno. Así, la combinación de ambos materiales resulta adecuada para la fabricación de ventanas electrocrómicas capaces de pasar de un estado transparente ($\text{WO}_{3-x}/\text{NiO}_{1+x}$ con $x=0$) a un estado coloreado ($\text{WO}_{3-x}/\text{NiO}_{1+x}$ con $x>0$), y viceversa, mediante procesos de oxidación-reducción. Los factores de transmisión luminosa, transmisión solar y reproducción de color del sistema $\text{WO}_{3-x}/\text{NiO}_{1+x}$ se han calculado para láminas con distintos espesores.

Palabras clave: óxidos metálicos, pulverización catódica, propiedades ópticas.

1. INTRODUCCIÓN.

Los materiales ópticamente activos que pueden cambiar propiedades tales como la absorción de luz, transmitancia o reflectancia, en función de cambios externos se denominan materiales cromogénicos y poseen una gran relevancia técnica, debido a sus múltiples aplicaciones [1,2]. Concretamente, los materiales electrocrómicos cambian sus propiedades ópticas de manera reversible al ser sometidos a procesos de oxidación o reducción electroquímica y presentan un gran interés para su uso en ventanas inteligentes, capaces de mejorar la eficiencia energética en edificios [3,4]. Las ventanas basadas en materiales electrocrómicos permiten modular la transmisión de luz visible y de calor solar en un amplio rango, proporcionando ganancias solares pasivas durante las estaciones frías, minimizando las cargas de enfriamiento durante las temporadas calurosas y reemplazando el uso de luces eléctricas con luz natural en todas las estaciones [3].

Varios óxidos de metales de transición (como los óxidos de W, Mo, Cr y Ni) están siendo investigados como electrodos electrocrómicos o pseudocapacitivos [5,6]. Mientras que el óxido de wolframio o de molibdeno presentan electrocromismo catódico (se colorean durante el proceso de reducción), otros materiales como el óxido de níquel o de cromo lo presentan de tipo anódico (coloreándose durante la oxidación) [7]. Obviamente, resulta ventajoso combinar ambos tipos de materiales en forma de láminas delgadas, combinándolos de manera que para un cierto potencial eléctrico el dispositivo resulte coloreado, mientras que para otro potencial la ventana alcance una alta transparencia. La preparación de los materiales mediante procesos controlados y fácilmente escalables

es también clave en el desarrollo de los dispositivos electrocrómicos y su implementación para aplicaciones a gran escala. En este sentido, diversos estudios destacan las particulares ventajas de la técnica de pulverización catódica, que permite tanto el recubrimiento de sustratos de vidrio tradicionales como de sustratos flexibles [8,9].

En el presente trabajo se han desarrollado láminas delgadas de óxidos de wolframio y de níquel mediante pulverización catódica reactiva de blancos metálicos puros, variando la proporción de oxígeno en la atmósfera de pulverización. Se han estudiado las propiedades estructurales y ópticas de las láminas obtenidas en función de las condiciones de preparación, determinando los estados de transparencia y coloración para cada uno de los materiales. Posteriormente se han calculado los factores de transmisión luminosa, transmisión solar y reproducción de color para el sistema formado por ambos materiales con distintos espesores y estados, aplicando la Norma Europea sobre fuentes luminosas y vidrio en edificación [10,11]. El objetivo final es determinar las condiciones de preparación que permiten optimizar dichos factores para la aplicación de estos óxidos metálicos en ventanas electrocrómicas.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

La técnica de pulverización catódica reactiva se ha utilizado para preparar láminas delgadas de óxido de wolframio y de óxido de níquel con estequiometría controlada, sobre sustratos de vidrio sodocálcico de 2 mm de grosor, mantenidos a temperatura ambiente. La cámara de preparación dispone de dos blancos metálicos (de W y de Ni) que actúan como cátodos, enfrentados al portasustratos. Tras alcanzar un vacío previo de 10^{-4} Pa, se introducen en la cámara los gases de proceso (Ar) y

reactivo (O_2) mediante controladores de flujo independientes. La presión parcial de oxígeno $O_{pp}(\%) = 100p(O_2)/[p(Ar)+p(O_2)]$ es la variable empleada para obtener óxidos con diferentes estequiometrías. La potencia aplicada se ha ajustado para mantener un ritmo de crecimiento de 20 nm/min, mientras que el tiempo de depósito se ha cambiado para obtener láminas con distintos espesores.

La estructura cristalina de las láminas se ha determinado mediante difracción de rayos x, con radiación $CuK\alpha$ ($\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$) en un difractómetro Philips X'pert. La identificación de fases se ha realizado por comparación de los picos de difracción obtenidos con las fichas del "Joint Committee of Powder Diffraction Standards" (JCPDS). Para la caracterización óptica se ha utilizado un espectrofotómetro Perkin-Elmer Lambda 9, que contiene una esfera integradora con la que se han medido la transmitancia y la reflectancia total (T_t y R_t) de cada muestra, en el rango de longitudes de onda que abarca el espectro solar ($\lambda = 0.3\text{-}2.5 \mu\text{m}$), tomando como referencia el aire. Los picos de interferencia observados en los espectros se eliminan calculando la transmitancia corregida $T(\%) = 100 \cdot T_t(\%)/[100 - R_t(\%)]$, que se ha utilizado para determinar los valores máximos de transmisión luminosa, transmisión solar y reproducción de color en función de distintas condiciones de preparación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los diagramas de difracción de la Figura 1 ilustran la estructura cristalina de muestras con 120 nm de espesor y distintas proporciones de oxígeno. Las láminas de óxido de wolframio resultan amorfas, como se observa generalmente cuando la temperatura de preparación es inferior a 400 °C [12,13]. Por otra parte, en las láminas de óxido de níquel preparadas a temperatura ambiente se identifica NiO cúbico (JCPDS nº 4-835), observándose una cristalinidad máxima cuando se preparan a presiones parciales relativamente bajas ($O_{pp} = 9\%$), en concordancia con estudios previos [14,15].

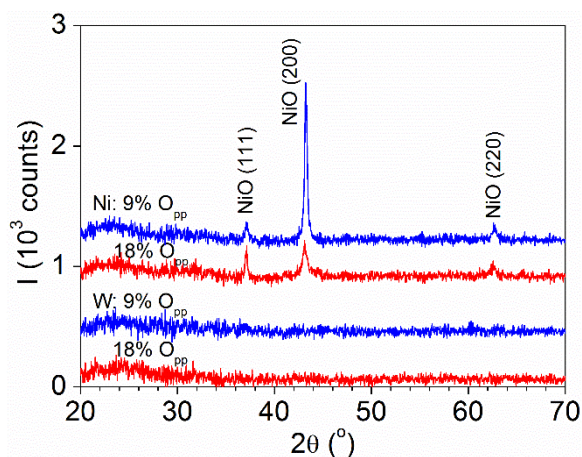


Figura 1. Diagramas de difracción de rayos X correspondientes a las láminas preparadas con 120 nm de espesor a distinta presión parcial de oxígeno.

Los espectros de transmitancia obtenidos revelan una considerable variación con las condiciones de preparación (O_{pp}), tal como se representa en la Figura 2 para las láminas con 120 nm de espesor. El estado de máxima transparencia se alcanza con $O_{pp} \sim 18\%$ para el óxido de wolframio y $O_{pp} \sim 9\%$ en el caso del óxido de níquel, siendo estas condiciones las que producen el material más próximo a la estequiometría ideal (WO_3 y NiO , respectivamente) [13,14]. Así, la transparencia disminuye (la absorción óptica aumenta) conforme la proporción de oxígeno disminuye en las láminas que denominamos WO_{3-x} o bien conforme aumenta en las que designamos como NiO_{1+x} . Es importante señalar que trabajos anteriores han demostrado que la relación atómica de oxígeno en las láminas varía muy ligeramente, siendo $\Delta x \leq 0.3$ en el rango de O_{pp} estudiado [15], de manera que se obtienen cambios ópticos significativos con pequeñas variaciones en la estequiometría de las muestras.

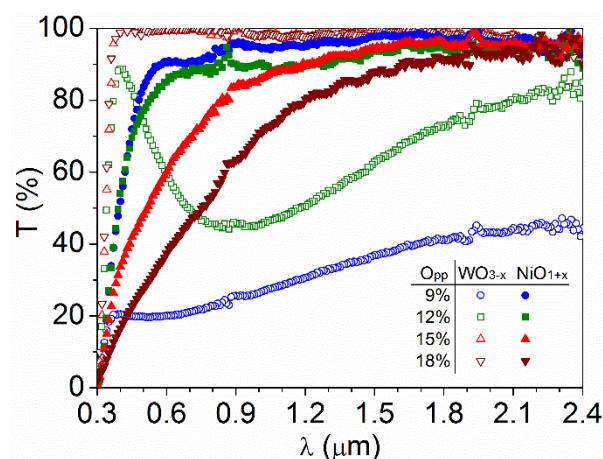


Figura 2. Transmitancia espectral de las láminas preparadas con 120 nm de espesor a distinta presión parcial de oxígeno.

Para un mismo espesor y rango de O_{pp} , las láminas de WO_{3-x} alcanzan mayor transparencia en la región espectral visible ($\lambda = 0.38\text{-}0.78 \mu\text{m}$) y también mayor contraste entre estados que las láminas de NiO_{1+x} , como puede observarse en la Figura 2. El aumento en el espesor de las láminas produce una cierta disminución de los valores de transmisión, siendo el cambio observado mayor en las muestras más alejadas de la estequiometría ideal. Este efecto se ilustra en la Figura 3, donde se combinan láminas de WO_{3-x} y NiO_{1+x} con distintos espesores en las condiciones de máxima y mínima transmisión para cada material. Estas combinaciones nos permiten estimar el comportamiento óptico de ventanas dinámicas que pueden evolucionar desde un estado de transparencia máxima (T_{max} para los óxidos de wolframio y de níquel con estequiometría ideal) hasta un estado de transparencia mínima (T_{min} obtenida reduciendo el óxido de wolframio y oxidando el de níquel). Aquí, los espectros T_{max} se han obtenido usando $O_{pp} = 18\%$ con blanco de W y $O_{pp} = 9\%$ con blanco de Ni, mientras que para los valores T_{min} se cambiaron a $O_{pp} = 9\%$ con blanco de W y $O_{pp} = 18\%$ con blanco de Ni. A partir de estos espectros se han

calculado los factores de transmisión luminosa, transmisión solar y reproducción de color, de acuerdo a las siguientes condiciones establecidas para acristalamiento en edificios.

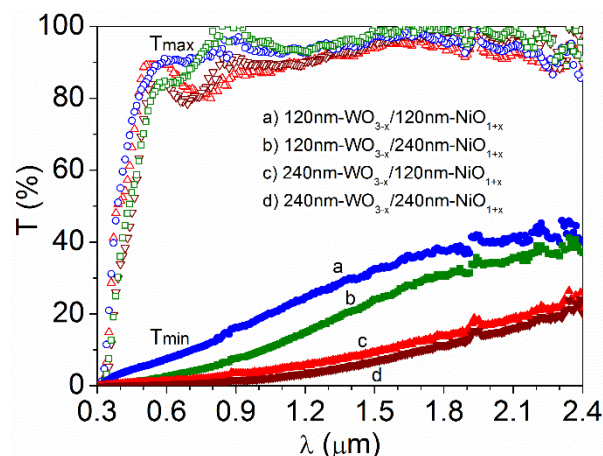


Figura 3. Transmitancia espectral máxima y mínima correspondiente a las combinaciones de láminas delgadas preparadas con distinto espesor.

La radiación solar incidente en la superficie de la Tierra se ilustra en la Figura 4 mediante el espectro de referencia AM1.5, que tiene el 53% de la irradiación total en la región visible (de 0,38 μm a 0,78 μm), 4% en luz ultravioleta (inferior a 0,38 μm) y 43% en el rango infrarrojo (superior a 0,78 μm). Para los productos de acristalamiento en edificios, la transmisión luminosa y los cálculos colorimétricos se basan en el iluminante estándar D_{65} , que representa sólo la región del visible con una temperatura de color de 6500 K. Se define también una función de eficiencia luminosa, la visión fotópica estándar $V(\lambda)$, que describe la sensibilidad espectral del ojo humano, centrada en $\lambda = 0.55 \mu\text{m}$ como se muestra en la Figura 4. Así, el factor de transmisión luminosa (T_L) es un número que denota la fracción de la luz visible incidente proveniente del iluminante D_{65} que es transmitido por el acristalamiento y es visto por un observador fotópico estándar [10]:

$$T_L = \frac{\sum_{0.38}^{0.78} T(\lambda) D_{65} V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{0.38}^{0.78} D_{65} V(\lambda) \Delta\lambda} \quad (1).$$

Por otra parte, la radiación infrarroja incidente se incluye en la función $S(\lambda)$, que es el reparto espectral relativo de la radiación solar tal como se representa en la Figura 4, de manera que el factor de transmisión solar (T_s) del acristalamiento viene dado por [10]:

$$T_s = \frac{\sum_{0.3}^{2.5} T(\lambda) S(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{0.3}^{2.5} S(\lambda) \Delta\lambda} \quad (2).$$

En cuanto al factor de reproducción de color, se calcula como un valor promedio para ocho colores seleccionados [11]:

$$R_a = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 \left\{ 100 - 4.6 \left[\sum_{X=U,V,W} (X_{t,i}^* - X_{r,i}^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (3),$$

donde $(U_{t,i}^*, V_{t,i}^*, W_{t,i}^*)$ y $(U_{r,i}^*, V_{r,i}^*, W_{r,i}^*)$ son las coordenadas del espacio de color para cada uno de los colores de prueba iluminado por el estándar D_{65} con y sin acristalamiento interpuesto, respectivamente.

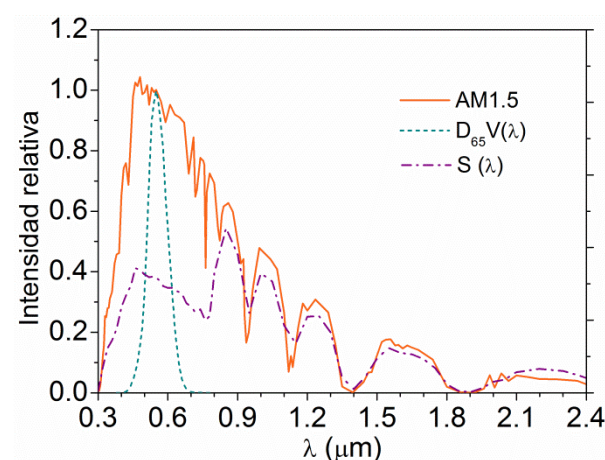


Figura 4. Distribución espectral relativa de la radiación solar estándar AM1.5 y de las funciones empleadas en el cálculo del factor de transmisión luminosa y de transmisión solar.

La Figura 5 incluye los factores de transmisión luminosa, transmisión solar y reproducción de color obtenidos para las distintas configuraciones representadas en la Figura 3. Los valores más altos corresponden a la combinación de espesor más reducido (120nm-WO_{3-x}/120nm-NiO_{1+x}), con $T_{L,max} = 88\%$, $T_{S,max} = 85\%$, $R_{a,max} = 95\%$ en el estado transparente y $T_{L,min} = 7\%$, $T_{S,min} = 13\%$, $R_{a,min} = 82\%$ en el coloreado. Así, los rangos de conmutación óptica entre estados son en este caso $\Delta T_L = 81\%$ y $\Delta T_S = 72\%$. Se observa que el aumento en el espesor de la capa de óxido de níquel a 240 nm disminuye todos los factores, tanto en sus valores máximos como mínimos, resultando en contrastes $\Delta T_L = 79\%$ y $\Delta T_S = 74\%$, similares al caso anterior, pero con inferior calidad de reproducción de color ($R_{a,max} = 90\%$, $R_{a,min} = 68\%$).

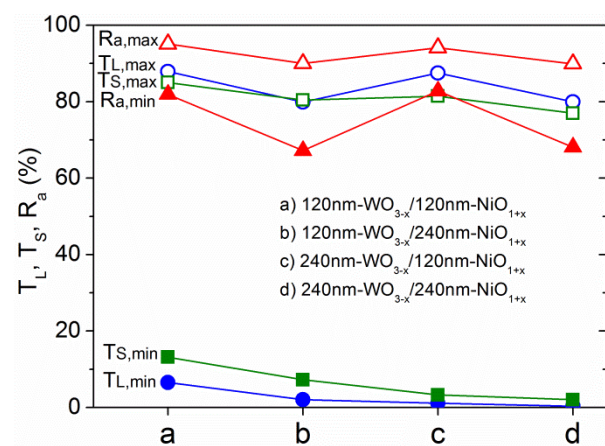


Figura 5. Factores de transmisión luminosa, transmisión solar y reproducción de color obtenidos para las combinaciones de láminas delgadas representadas en la Figura 3.

Por otra parte, cuando el aumento de espesor se realiza sobre la lámina de óxido de wolframio se consigue mejorar el contraste en transmisión luminosa $\Delta T_L = 86\%$ y solar $\Delta T_S = 78\%$, manteniendo los coeficientes de reproducción de color en $R_{a,max} = 94\%$ y $R_{a,min} = 83\%$, tal como se muestra para la combinación 240nm-WO₃-x/120nm-NiO_{1+x} en la Figura 5. Valores de contraste o modulación próximos al 80 % se consideran óptimos para ventanas dinámicas [2,5], para las que el factor de reproducción de color debe mantenerse también por encima del 80% [16,17].

4. CONCLUSIONES.

Los óxidos de wolframio y de níquel preparados en lámina delgada mediante pulverización catódica reactiva han mostrado características cromogénicas complementarias que resultan óptimas para su aplicación en ventanas dinámicas. El máximo contraste en transmisión luminosa y solar ($\Delta T_L = 86\%$ y $\Delta T_S = 78\%$) se alcanza aumentando el espesor de la lámina de óxido de wolframio (a 240 nm) respecto a la de óxido de níquel (que se mantiene en 120 nm). De este modo el factor de reproducción de color del sistema es superior al 80%, pero éste disminuye conforme el espesor del óxido de níquel aumenta.

5. AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo se ha desarrollado en el marco del proyecto EFOX: “Óxidos metálicos electro-ópticamente activos para la eficiencia energética”, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación.

6. REFERENCIAS.

- [1] C. G. Granqvist, “Recent progress in thermochromics and electrochromics: A brief survey,” *Thin Solid Films*, vol. 614, pp. 90–96, 2015.
- [2] Z. Wang, X. Wang, S. Cong, F. Geng, and Z. Zhao, “Fusing electrochromic technology with other advanced technologies: A new roadmap for future development,” *Mater. Sci. Eng. R Reports*, vol. 140, p. 100524, 2020.
- [3] N. DeForest, A. Shehabi, S. Selkowitz, and D. J. Milliron, “A comparative energy analysis of three electrochromic glazing technologies in commercial and residential buildings,” *Appl. Energy*, vol. 192, pp. 95–109, 2017.
- [4] C. G. Granqvist, M. A. Arvizu, İ. Bayrak Pehlivan, H.-Y. Qu, R.-T. Wen, and G. A. Niklasson, “Electrochromic materials and devices for energy efficiency and human comfort in buildings: A critical review,” *Electrochim. Acta*, vol. 259, pp. 1170–1182, 2018.
- [5] J. Pan, R. Zheng, Y. Wang, X. Ye, Z. Wan, C. Jia, X. Weng, J. Xie, and L. Deng, “A high-performance electrochromic device assembled with hexagonal WO₃ and NiO/PB composite nanosheet electrodes towards energy storage smart window,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 207, p. 110337, 2020.
- [6] C. T. Lee, S. Han, Y. X. Zhao, Y. C. Hung, T. H. Hsu, H. Y. Hsieh, and K. W. Weng, “Synthesis and electrochromic properties of molybdenum oxide films,” *Surf. Coatings Technol.*, vol. 363, pp. 426–429, 2019.
- [7] C. G. Granqvist, “Electrochromics for smart windows: Oxide-based thin films and devices,” *Thin Solid Films*, vol. 564, pp. 1–38, 2014.
- [8] O. O. Abegunde, E. T. Akinlabi, O. P. Oladijo, S. Akinlabi, and A. U. Ude, “Overview of thin film deposition techniques,” *AIMS Mater. Sci.*, vol. 6, no. 2, pp. 174–199, 2019.
- [9] C.-J. Tang, J.-M. Ye, Y.-T. Yang, and J.-L. He, “Large-area flexible monolithic ITO/WO₃/Nb₂O₅/NiVO_x/ITO electrochromic devices prepared by using magnetron sputter deposition,” *Opt. Mater. (Amst.)*, vol. 55, pp. 83–89, 2016.
- [10] European Committee for Standardization, “European Standard EN 410:2011. Glass in building. Determination of luminous and solar characteristics of glazing,” 2011.
- [11] International Commission on Illumination, “Report CIE 13.3:1995. Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources,” 1995.
- [12] S. C. Moulzolf, S. an Ding, and R. J. Lad, “Stoichiometry and microstructure effects on tungsten oxide chemiresistive films,” *Sensors Actuators, B Chem.*, vol. 77, no. 1–2, pp. 375–382, 2001.
- [13] S. H. Mohamed, H. A. Mohamed, and H. A. Abd El Ghani, “Development of structural and optical properties of WO_x films upon increasing oxygen partial pressure during reactive sputtering,” *Phys. B Condens. Matter*, vol. 406, no. 4, pp. 831–835, 2011.
- [14] J. D. Hwang and T. H. Ho, “Effects of oxygen content on the structural, optical, and electrical properties of NiO films fabricated by radio-frequency magnetron sputtering,” *Mater. Sci. Semicond. Process.*, vol. 71, pp. 396–400, 2017.
- [15] C. Guillén and J. Herrero, “Transparent and p-type conductive Ni_xO:V thin films obtained by reactive DC sputtering at room temperature,” *Mater. Res. Express*, vol. 6, no. 9, p. 96410, 2019.
- [16] A. Piccolo and F. Simone, “Performance requirements for electrochromic smart window,” *J. Build. Eng.*, vol. 3, pp. 94–103, 2015.
- [17] S. Sibilio, A. Rosato, M. Scorpio, G. Iuliano, G. Ciampi, G. Vanoli, and F. de Rossi, “A Review of Electrochromic Windows for Residential Applications,” *Int. J. Heat Technol.*, vol. 34, no. 2, pp. S481–S488, 2016.

OXIDATIVE DEGRADATION OF POLYPROPYLENE IN SANITARY HOT WATER ASSOCIATED WITH *LEGIONELLA* PREVENTION MAINTENANCE

***B. Garrido*^{1,2}, *A. Millán*², *N. Merayo*^{1,3}, *C. Negro*¹**

¹Universidad Complutense de Madrid. Dpto. de Ingeniería Química y Materiales, Avda. Complutense s/n28040 Madrid

²Calcat Ingeniería del Agua, 28223 Pozuelo de Alarcón, Madrid

³Universidad Politécnica de Madrid. ETSIDI. Ronda de Valencia, 3, 28012 Madrid, Spain

*borja.garrido@ucm.es

Summary: Polypropylene has been and still is a great material that can be used in hot and cold water installations for a few years. Due to its many advantages, polypropylene is used in the construction design of domestic hot water generation facilities. However, treatments to prevent Legionnaire's disease combined with the operating conditions at the sanitary installation can produce irreversible oxidative degradation (OD) of this polymer. Therefore, the effect of this water and the temperature on the polypropylene behavior was studied along one year operation. The present study concludes that the use of propylene in hot water circuits can be depreciated mainly by the effect of temperature both in thermal disinfections and in temperatures above 60°C in accumulators.

Key words: Polypropylene, antioxidants, oxidative degradation, *Legionella spp*, domestic hot water, chloramines

1.- INTRODUCTION.

The use of polypropylene is becoming more common in domestic water circuits, both hot and cold, due to its many advantages (among others, its mechanical and chemical resistance that makes it a good substitute for metal materials in water circuits), and it is relatively inexpensive [1-2].

It is important to note that the characteristics of these circuits as well as their preventive maintenance are regulated by Royal Decree 865/2003, of 4 July, which establishes the hygiene-sanitary criteria for the prevention and control of Legionnaires' disease [3] as well as by Royal Decree 140/2003, of 7 February, which establishes the sanitary criteria for the quality of water for human consumption [4]. The former regulates everything related to chemical treatments and periodic maintenance to avoid the development and proliferation of the pathogenic agent, while the latter places special emphasis on the need to use approved materials that are compatible with each other and do not affect the chemical quality of the water.

Over the years, many installed polymeric materials such as polypropylene have suffered degradation at critical points in the installation. That sometimes happens at certain times or over long periods of time due to temperature and/or chlorination conditions, highly damaging [5]. An example of this would be the process of generating hot water for the circuit with accumulation and return of water.

Expansion phenomena, resulting from high thermal expansion coefficients, leads to leaks at hot-melt or flange points, with the possibility of large leaks as a result of irreparable longitudinal fragility.

The resistance of this kind of materials is influenced by the presence of antioxidants (AO) of different natures, which on many occasions can produce either a migration in the material itself or an irreversible degradation and loss of it. Most studies related to migration and degradation have been focussed on food-grade polymers. Garde [6] carried out AO migration tests on polypropylene in food containers, observing concentration gradients of polypropylene into the food, concluding that the migration depends on several factors, such as temperature, but it does not depend on the material used.

Forrester et al. [7] evaluated the importance of the polymerisation process, including the catalyst doses for the reactions and the agitation conditions for the success of the Ziegler-Natta catalyst. The stability of many antioxidants can be affected by the polymer extrusion process which is subjected to high temperatures and shearing processes [8].

Dopico [9] analyzed the influence of the most relevant antioxidants, including those of primary character formed by the phenol family (primary antioxidants that trap free radicals) as well as phosphite, which acts as a hydroperoxide deactivator. Both types of antioxidants showed a relationship with polymer resistance that can be optimized by modifying the dose of both AO and polymer, as well as the relationship between them.

However, the characteristics and mechanisms of this type of compounds are complex to find in the literature, particularly, the influence of sanitary water and temperature on polypropylene that are the objective of this study. In order to do that, the Oxidation Induction

Time (OIT) was selected as a simple and standardized test to assess the performance of polypropylene [10].

2.-EXPERIMENTAL PROCEDURE.

The water supplied by the municipal network, which was already subjected to monthly physical-chemical control, was analysed by measuring Langelier index [11]. All the measuring instruments were provided by HANNA INSTRUMENTS (Spain).

For temperature control, data was taken using the daily integral control system, with measurements every 8 hours in triplicate, obtaining the range interval at the output of the accumulator along one year.

The polymer samples were taken vertically at the immediate outlet of the hot water tank and sent directly to all the distribution uprights. Single-layer food grade polypropylene quality certificated for domestic hot water with 70°C maximum supported temperature, PN10 and DN90, was used for the circuit installation during two years.

Cleaning treatments were carried out on a monthly basis, raising the set temperature to 70°C for two hours in the recirculation process. Only one annual cleaning and disinfection has been carried out by means of hyper chlorination at 20 mg/l of free chlorine in the accumulator, monitoring at distant terminal points at approximately 2 mg/l.

Oxidation induction times were determined in the in polypropylene (PP) pipe according to Standard UNE-EN ISO 11357-6:2013 [10], using differential scanning calorimeter DSC PT 1000 from Linseis (Germany).

3.-RESULTS AND DISCUSSION.

Figure1 shows the maximum and minimum interval of the Langelier index of the supply water at different temperatures, observing that its low organic matter content and pH close to neutral result in an eminently corrosive character.

Feed water is generally characterized by low organic carbon content with electrical conductivity close to 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and hardness $< 8^\circ\text{F}$. Its sulphate concentration does not exceed 5 mg/l with a low total alkalinity (< 40 mg/l). The pH varies in the range [6.80 - 7.65]. The above-mentioned values mean that the behaviour of the water is eminently corrosive throughout the entire temperature range analysed.

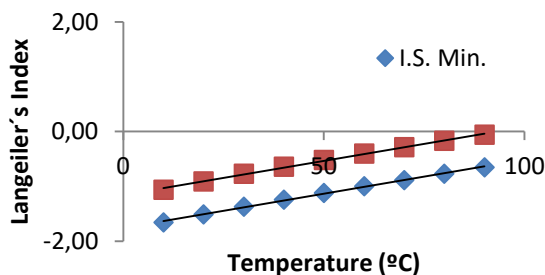


Figure 1. Langelier Index interval over the one-year period of the water supply.

In the case of hot water, the temperature values are those shown in figure 2. As can be seen, the average value is close to 60°C, the value established by current legislation, which indicates correct maintenance and compliance with current legislation.

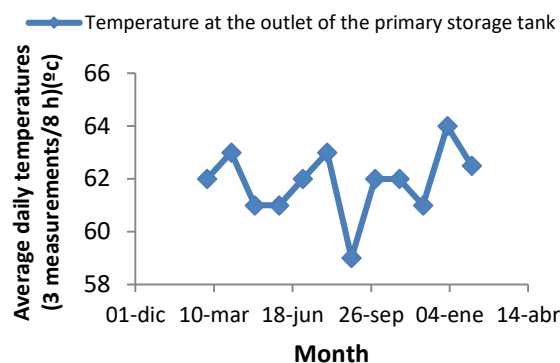


Figure 2. Monthly evolution of water temperature in storage.

With regard to the qualitative analysis of the material, it can be seen that two years after its installation, the interior surface of the sample is completely cracked: longitudinal cracks parallel to the axis of the tube run from end to end on the interior surface of the tube; in the cut it can be seen how some of these cracks penetrate deeply into the wall of the tube (Figure 3). However, the outer appearance remains unchanged at its largest surface (Figure 4).

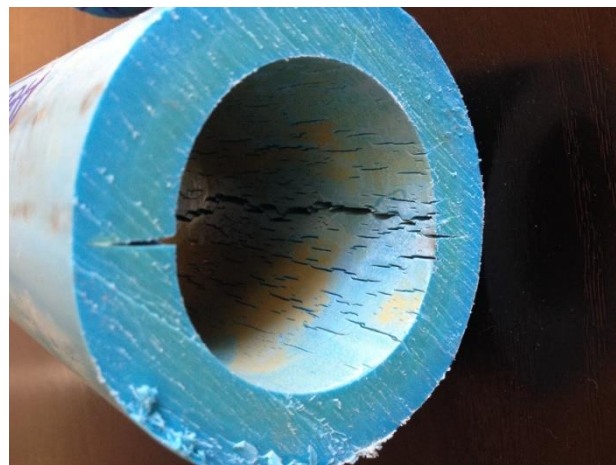


Figure 3. Internal qualitative analysis.

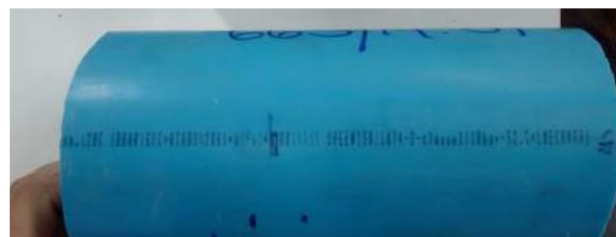


Figure 4. External qualitative analysis.

In order to be able to determine the degree to which the material is affected, the OIT study has been carried out for different radii. Table 1 shows the results for each of

the radii (external, intermediate, internal), with a drastic reduction in the results considering that the standard of this type of polymer has an associated OIT of 24.98 minutes.

Table 1. OIT gradients.

	Internal radius	Medium radius	External radius
Sample mass (g)	14.00	14.08	14.03
O.I.T (Min)	0.43	6.38	24.55
Standard OIT (min)	24.98		

Figure 5 shows a degradation of the material due to the losses of antioxidants. Comparing with the standard OIT, there is no increase of OIT values in any of the studied radii, so the possibility of radial migration of the antioxidants due to the effect of water and/or temperature was ruled out.

The degradation inside the pipe (Position 1) is the most accentuated, observing a reduction in the stability of the material by 98.3%, leaving the material obsolete in terms of its functionality. For this reduction, it should be considered that this section is the one that is closest in contact with the fluid, as well as the one that has the greatest thermal jump. In the middle part, a 74.5% reduction in the O.I.T. is observed, which, combined with the previous degradation, makes the section studied more fragile. For the outermost radial section (section 3) there is no apparent variation in antioxidant properties, only a slight reduction with respect to the standard (1.7% reduction).

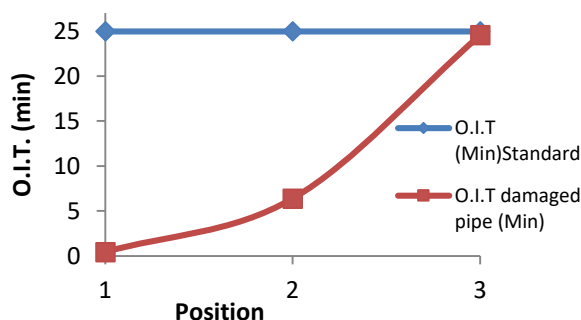


Figure 5. O.I.T. radial gradient.

4.- CONCLUSIONS.

Preventive maintenance in domestic hot water circuits with accumulation and return, classified as higher risk installations according to the Royal Decree, requires preventive maintenance, especially to ensure the constant 60°C setpoint in the last accumulator. The design of hot water generation rooms is pre-determined on certain occasions by the costs of the project and the type of water, which is generally chosen for polymeric materials such as PP to avoid the proliferation of *legionella*. At this point, a depreciation of materials in this category can be found as a consequence of the thermal disinfection

treatment that increases the process temperature to 70°C for a determined time. Technicians from biocide service companies, as well as those responsible for maintenance, opt on multiple occasions for shock treatments with greater frequency and shorter application times, with the aim of avoiding unwanted *Legionella* positives. This aspect makes, as shown in the present investigation, that certain materials of the market that fulfil the pre-established requirements and quality are depreciated by this aspect.

The chemical influence of the circulating water is ruled out for the losses of quality and properties of the polymer in this case because it contains a very low salt content as well as close to neutral pH. Likewise, the possible damage of annual punctual hyper chlorination is ruled out (moderate dose of chlorine, two hours and with room temperature to avoid evaporation). Therefore, it is concluded that damage is due to high temperatures and thermal disinfection processes with monthly frequency. The selection of materials in hot water circuits is recommended in each case depending on the energy conditions of operation, opting for high quality metal materials. Therefore, a balance of treatments must be achieved in each installation with regard to the prevention of Legionnaire's disease, with criteria and decisions being agreed upon by the owner of the installation and the technical manager of the installation.

5.- ACKNOWLEDGEMENTS.

Authors are grateful for the economic and technical support provided by the Water Engineering Grupo Técnico Calcat® S.L. to carry out this study.

6.- REFERENCES.

- [1] Technical Building Code: <https://www.codigotecnico.org/>. Consulted on 12 April 2020.
- [2] ISO 15874-2:2003. Plastics piping systems for hot and cold water installations — Polypropylene (PP) — Part 2: Pipes.
- [3] Royal Decree 865/2003 of 4 July 2003, establishing health and hygiene criteria for the prevention and control of legionnaire's disease.
- [4] Royal Decree 140/2003 of 7 February 2003, establishing health criteria for the quality of water for human consumption
- [5] Marcó J. Construction materials for hot water and drinking water system and its resistance in front of disinfection treatments. 2006. *Rev. salud ambient.* **6** (1-2), 43-50.
- [6] Garde J. 2001 *Estudio de la migración de antioxidantes en polipropileno para uso en envases para alimentos*. Tesis Doctoral, Universidad de Valencia, España.
- [7] Forrester A. *et al.* 2009. Estabilização de polipropileno com antioxidantes naturais no interior do

reator de polimerização. Congresso Brasileiro de Polímeros. Foz do Iguaçu.

[8] Hernández J. 2018 *Uso de aditivos sostenibles en la estabilización térmica del polipropileno en su proceso de síntesis*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España.

[9] Dopico M. 2004 *Determinación de Antioxidantes en Poliolefinas y sus Niveles de Migración*. Tesis doctoral. Departamento de Química Analítica. Universidad de la Coruña, España.

[10] UNE-EN ISO 11357-6:2013. Plastics. Differential Scanning Calorimetry (DSC) Part 6: Determination of oxidation induction time (isothermal OIT) and oxidation induction temperature (dynamic OIT). (ISO 11357-6:2008).

[11] Mora V. et al. 2006. Simulation of scaling and corrosion índices by wáter in potabilization plants. *Saber*, 18 (2), 212-219.

I+D+i EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES**HACE MUCHO TIEMPO...BREVE HISTORIA DE LAS SOCIEDADES CIENTÍFICAS****P. Fernández**

Depto. Física de Materiales, Fac. Ciencias Físicas, Universidad Complutense, Ciudad Universitaria,
28040 Madrid, arana@ucm.es

Resumen: En el presente trabajo se hace una breve revisión de lo que ha sido el origen de las Sociedades Científicas, en particular de la Sociedades de Materiales, y de la Sociedad Española de Materiales

Palabras clave: sociedades científicas

1. INTRODUCCIÓN.

La Ciencia pocas veces ha sido asunto de personas aisladas, aunque las discusiones no siempre han tenido los mismos usos, ni los mismos escenarios. Podríamos remontarnos a los primeros momentos de la Ciencia. Empecemos por el significado. Ciencia proviene del latín “scientia” que significa conocimiento, podríamos entenderlo como el intento de sistematizar todo el conocimiento que se va adquiriendo en un cuerpo ordenado de explicaciones y predicciones sobre el Universo observable. En los inicios, cuando no había un método científico claramente establecido, esta definición es bastante acertada, en la actualidad cuando hablamos de ciencia nos referimos a la forma de avanzar en el conocimiento siguiendo las reglas del método científico que podríamos resumir en el esquema de la figura 1.

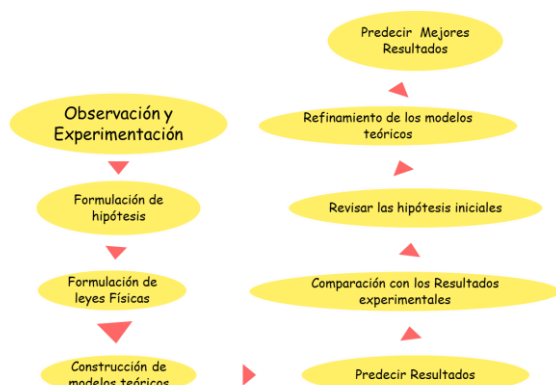


Figura 1. Esquema de los diferentes elementos que constituyen nuestro actual concepto de Método Científico.

Y ¿dónde se empezó a discutir sobre el sentido de las observaciones de la Naturaleza y la experimentación? No nos vamos a extender en este punto puesto que no es el objetivo de este trabajo, simplemente mencionaremos los primeros foros de discusión nacidos en la Antigua Grecia, el más conocido la Academia, denominación que mantienen muchas instituciones científicas de nuestros días. Durante la Edad Media, sobre todo en el mundo occidental, la religión pasó a ocupar un papel

preponderante. El conocimiento se concentra en los monasterios y se centra en la interpretación de los textos sagrados, pero al fin son en cierto modo el origen de las Universidades modernas, la primera de las cuales, la Universidad de Bolonia se fundó en el año 1088. En esta época sin embargo empiezan a florecer los gremios artesanales. Son instituciones bastante cerradas, no es fácil acceder a ellas, se encargan de velar por el desarrollo de lo que se consideran buenas prácticas y también de formar a los futuros artesanos, los aprendices. Solo con el beneplácito de los maestros del gremio los aprendices pueden ser admitidos, y después de duros y largos procesos de aprendizaje, son de nuevo los maestros del gremio quienes deciden si autorizan o no al libre ejercicio de la profesión.

Pero en el siglo XVII todo cambia. Y el responsable es en cierta medida Francis Bacon (1521-1626). Con Bacon se abandona la idea del Principio de Autoridad. Las “teorías” dejan de ser ciertas porque así lo dijo Aristóteles o Pitágoras, son ciertas porque hay evidencias experimentales que las avalan y dejan de ser ciertas cuando hay evidencias experimentales que las contradicen. Ahora empieza a ser necesario discutir, contrastar experiencias, comparar observaciones y métodos de trabajo. Se hace necesario por tanto disponer de un foro adecuado donde los científicos puedan reunirse a discutir. Y aquí vamos a iniciar nuestro paseo por el origen de las Sociedades Científicas, antes de centrarnos en el campo de los Materiales.

2. LAS PRIMERAS SOCIEDADES CIENTÍFICAS EN EUROPA.

Las primeras sociedades científicas nacieron en realidad en Italia un poco antes, en el siglo XVI. Los primeros descubrimientos científicos, tal como los entendemos en un contexto moderno, cuestionaron las posiciones fijas y dogmáticas de las clases principales, principalmente la Iglesia. Surgió la necesidad de encontrar lugares o foros donde los “nuevos científicos” pudieran discutir sus nuevos puntos de vista. En 1560, en Nápoles, se fundó la Accademia Secretorum Naturae, también en Roma

desde 1603 hasta 1630, la Academia dei Lincei jugó un papel y más tarde, todavía en el siglo XVII, el Gran Duque Fernando de Médicis apoyó la Accademia del Cimento.

En Inglaterra, Francis Bacon en su obra *Novum Organum* (1620) defendió la necesidad de tales instituciones y algunos autores consideran que esta fue una de las razones por las que Carlos II fundó la Royal Society en 1660. Aunque la mayoría de los científicos ingleses prominentes habían comenzado a reunirse en el Gresham College de Londres, y más tarde, durante la guerra civil en Oxford, desde 1645 con el sugerente nombre de Invisible College.

En Francia, en 1666, Luis XIV fundó la Académie des Sciences. En Alemania a principios de este siglo también se hizo un intento en Rostock, sin embargo, la primera institución alemana que podría considerarse una Sociedad Científica fue fundada por el emperador prusiano Federico en 1700.

El papel y los intereses de todas estas sociedades primitivas eran diferentes, en Italia estaban más centrados en las controversias entre la ciencia incipiente y la ortodoxia, en Francia e Inglaterra en las ciencias prácticas o la ingeniería, pero en todos los casos fueron la semilla de las sociedades científicas actuales, y en muchos casos el origen de algunas de las instituciones más prestigiosas.

3. LAS SOCIEDADES DE MATERIALES EN EUROPA.

Fijémonos ahora en lo que hoy conocemos como sociedades de materiales en los países de nuestro entorno próximo. Las sociedades con mayor tradición provienen de asociaciones profesionales del campo de la siderurgia y la minería, como es el caso de la Sociedad austriaca. Esta sociedad es una de las más antiguas de Europa, sus más tempranos antecedentes se remontan a 1864 cuando se fundó la “Versammlung innerösterreichischen Berg und Hüttenleute. Durante la Segunda Guerra Mundial estuvo integrada en la “Verein Deutscher Eisenhüttenleute” y al acabar la contienda, fue refundada como “Eisenhütte Österreich” en 1950. Finalmente, en el año 2003 pasó a denominarse “Austrian Society for Metallurgy and Materials (ASMET)”.

También entre las de mayor tradición se encuentran las sociedades de materiales alemanas: DGM (Deutsche Gesellschaft für Metallkunde) y DVM (Deutscher Verband für Materialforschung und Materialprüfung). La más antigua de las dos, la DVM, se fundó en el año 1896, mientras que la DGM fue creada en 1919, como una de las cuatro instituciones científicas sucesoras del Instituto para el estudio del hierro (Kaiser-Wilhelm-Institut für Eisenforschung) que había sido creado dos años antes bajo el lema “Leiden lehrt denken, denken macht weise, Weisheit gestaltet das Leben erträglich” (que podríamos traducir como: El dolor enseña a pensar, pensar hace sabio, la sabiduría hace la vida soportable).

Más recientes, fundadas justo después de acabar la Segunda Guerra Mundial, encontramos las Sociedades italiana y francesa. La primera fue fundada en 1946 como Associazione Italiana di Metalurgia. La Société Française de Métallurgie fue creada en 1945 y transformada en 1999 en la Société Française de Métallurgie et de Matériaux (SF2M) adaptándose así a la creciente importancia que otros tipos de materiales han adquirido.

Entre las más recientes encontramos la Sociedade Portuguesa de Materiais, fundada en 1981, la Czech Society for New Materials and Technologies (CSNMT) que data de 1993, la Sociedad Española de Materiales, creada en 1996 y la Lithuanian Materials Research Society, tan sólo tres años más joven (1999).

4.- LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MATERIALES.

El origen de nuestra sociedad hay que buscarlo en las Reuniones Nacionales de Materiales. Estas reuniones surgieron de la necesidad de reunir a los científicos dedicados a un campo cada vez más pujante y con un fuerte carácter interdisciplinar que hace necesaria la creación de un foro de intercambio de ideas y proyectos. La primera reunión se celebró en 1981. A partir de ahí se vendrían celebrando sucesivas reuniones Nacionales de Materiales con una periodicidad trienal y con sede en distintos puntos del territorio español. En 1993, España es el único país del entorno próximo que carece de Sociedad de Materiales, si bien es cierto que había grupos especializados, como el Grupo Especializado de Física del Estado Sólido (GEFES) dentro de la Real Sociedad Española de Física (RSEF). Sin embargo, la comunidad de Materiales necesitaba un foro distinto que diera cabida no sólo a la Física sino a todas las disciplinas involucradas en lo que ya se conoce como área de conocimiento de Ciencia e Ingeniería de Materiales, que abarca un espectro mucho más amplio del conocimiento. Se empieza a gestar así la Sociedad Española de Materiales, promovida inicialmente por una comisión gestora presidida por el profesor José M^a Serratos Márquez, en la que jugaron un papel muy importante otras personas como el prof. Alfonso José Vázquez Vaamonde, (gran impulsor de la iniciativa y que posteriormente sería presidente de la Sociedad) y los profesores Ranninger y Gómez Fatou. Finalmente, en la Reunión Nacional de Materiales celebrada en Cádiz en 1996 se presentó la Sociedad Española de Materiales, cuyo acrónimo inicialmente fue SEMAT, presidida por el Prof. José Manuel Martínez Duart. Posteriormente sería presidida por Alfonso Vázquez hasta el año 2006. Con el paso de los años y el advenimiento del mundo digital, la Sociedad ha ido adaptándose, así por ejemplo en 2006, el acrónimo SEMAT hubo de cambiarse. ¿por qué? SEMAT no era marca registrada y entre las empresas que utilizaban este mismo acrónimo se encontraban por ejemplo talleres mecánicos, empresas de transporte, o empresas dedicadas al mantenimiento de almacenaje. Así las cosas, se pasó a utilizar el acrónimo SOCIEMAT, se diseñó el nuevo logo y, ahora sí, se registraron como

marcas propias. Las reuniones Nacionales de Materiales, fueron adquiriendo mayor entidad, y devinieron en el Congreso Nacional de Materiales, eso sí, sin olvidar la historia, el primer Congreso Nacional de Materiales de la “era moderna” será en realidad el IX Congreso Nacional de Materiales, celebrado en San Sebastián en el año 2006. En 2014, la Sociedad celebró su mayoría de edad, 18 años, con un emotivo homenaje a los miembros de la primera Junta Directiva presidida por José Manuel Martínez Duart, y en la que también participaban Alfonso Vázquez, Luis Esquivias, Rafael García Roja, José M^a Serratosa y José M^a Gómez-Fatou. Desgraciadamente los dos últimos habían ya fallecido, y fueron sus hijos quienes nos acompañaron en el homenaje. El homenaje tuvo lugar durante el XIII Congreso Nacional de Materiales celebrado en Barcelona.

Casi desde su nacimiento la Sociedad se integró en dos grandes confederaciones de sociedades: la Confederación de Sociedades Científicas de España (COSCE) de ámbito nacional, que engloba a sociedades científicas de todas las disciplinas y campos del conocimiento; y la Federación Europea de Sociedades de Materiales (FEMS) que aglutina a la mayor parte de las sociedades de materiales europeas. Hagamos ya un breve repaso de ellas

5.- CONFEDERACIÓN DE SOCIEDADES CIENTÍFICAS ESPAÑOLAS (COSCE).

La Confederación de Sociedades Científicas de España nació en el año 2003 con el fin de contribuir al desarrollo científico y tecnológico, constituyéndose como interlocutor, representativo de todos los ámbitos del conocimiento científico, tanto frente a la sociedad civil, con proyectos como ENCIENDES o ACIERTAS, como frente a los poderes públicos, con proyectos enfocados en las relaciones con la clase política como DECIDES. En la actualidad la Confederación está constituida por 82 sociedades científicas que agrupan a más de 40000 científicos. Esta elevada masa crítica está permitiendo a COSCE ser protagonista de una verdadera interlocución con las autoridades.

Para canalizar las propuestas de las distintas Sociedades, la Confederación está organizada en torno a cinco vocalías: Artes, Humanidades y Ciencias Sociales; Matemáticas, Física y Tecnologías Físicas y Química y Tecnologías Químicas; Ciencias de la Vida y de la Salud; Ciencias de la Tierra, Agricultura y Medio Ambiente y Ciencias y Tecnologías de los Materiales y de la Información y la Comunicación.

La Confederación se comunica con sus Sociedades miembros con asiduidad a través de boletines e informaciones que aparecen en su portal web. Además, cada año organiza al menos dos encuentros presenciales: la Asamblea General que reúne a los representantes de todas las Sociedades miembro y es, en última instancia, el órgano de toma de decisiones; y la Jornada de Sociedades, en la que cada año se aborda un tema distinto, en función de la actualidad.

SOCIEMAT ha participado siempre en las diversas actividades de COSCE. Algunos de sus miembros han sido ponentes en algunas de las Jornadas de Sociedades como las dedicadas a Ciencia e igualdad de género en las Sociedades Científicas (Paloma Fernández) celebrada en 2017; y a Pseudociencias y pseudoterapias. Una verdad igualmente incómoda, celebrada en 2018 en la que fue ponente José Ygnacio Pastor. La Sociedad Española de Materiales ha tenido también una gran implicación en los proyectos de COSCE enfocados en la difusión y enseñanza de las ciencias en edades tempranas (ENCIENDE y ACIERTAS).

6.- FEDERACIÓN DE SOCIEDADES EUROPEAS DE MATERIALES.

La creación de la Federación de Sociedades Europeas de Materiales fue la iniciativa de tres de las mayores sociedades europeas Institute of Metals (IOM; Reino Unido), Société Française de Métallurgie (SFM, Francia) y Deutsche Gesellschaft für Materialkunde (DGM, Alemania). Su idea era generar un modo en el que las diversas sociedades se sintieran representadas y, sobre todo, que permitiera realizar acciones con una visión más europea, más amplia, y que cubriera todo el espectro no sólo científico sino también tecnológico en el campo de los materiales. La primera asamblea general se celebró en Aachen en 1989, siendo Robert Lallemand el primer presidente de FEMS. Con el paso del tiempo más Sociedades europeas se han ido incorporando, el resto de las Sociedades, desde las 14 sociedades (de 13 países) que integraban la Federación en 1993 hasta las 23 actuales, distribuidas como se muestra en el mapa de la figura 2.



Figura 2. Distribución geográfica de las Sociedades de Materiales integrantes de la Federación.

Una de las mayores preocupaciones de FEMS es aumentar la visibilidad de las diversas disciplinas que componen el cuerpo de la Ciencia e Ingeniería de

Materiales en Europa. Para ello es miembro activo del Comité director de la Plataforma Tecnológica Europea EUMAT y ha participado en diversos proyectos europeos encaminados a mejorar la visibilidad y a crear un espacio de interlocución unificado, que pueda plantear retos y propuestas comunes a las autoridades europeas. En el marco del proyecto del programa H2020 MATCH (Materials Common House) y como miembro de Alliance for Materials A4M ha participado en la elaboración de documentos sobre el futuro de la investigación en Materiales en Europa dentro del Noveno Programa Marco de Investigación, HORIZON EUROPE.

7.- JUSTIFICACIÓN

Este trabajo es más bien una reflexión realizada por la autora a partir de su experiencia e interacciones personales a lo largo de los años que lleva participando en las actividades de las sociedades mencionadas.

Desde el año 2006, cuando fui elegida presidenta de la Sociedad Española de Materiales he participado muy activamente en las diversas actividades tanto de SOCIEMAT como de FEMS y COSCE, en estos años he tenido la ocasión de participar en numerosos foros que me han convencido de la necesidad y la importancia de la Sociedades Científicas, lo que justifica este pequeño intento de contextualizar y poner en valor las labores que desde ellas se hacen. Dentro de SOCIEMAT he sido Presidenta de 2006 a 2016, y aún soy miembro de la Junta Directiva. En FEMS, fui elegida miembro del Comité Ejecutivo en el año 2013, vicepresidenta en 2016-2017 y Presidenta en 2018-2019, y actualmente miembro de Comité Gestor como Presidente saliente. He sido representante de FEMS en el Comité Director de EUMAT desde 2017 hasta 2020. En COSCE, vengo representando a SOCIEMAT desde 2006, ponente en la Comisión Permanente de los Proyectos ENCIENDE (2011-2017) y ACIERTAS (desde 2018), comisión que presido en la actualidad.

En este sentido no cabe una bibliografía al uso, pero sí es pertinente incluir una serie de fuentes donde se puede encontrar una información complementaria muy valiosa que se incluyen a continuación

8.- REFERENCIAS

- [1] Algunos trabajos que pueden ser de referencia sobre los inicios de las Sociedades Científicas son
The Republic of Science: Its Political and Economic Theory; Michael Polanyi, Minerva 1:54-74, 1962. Disponible en internet con la autorización de Kluwer Academic Publishers (https://sciencepolicy.colorado.edu/students/envs_5100/polanyi_1967.pdf)
The Scientific Community, Warren O. Hagstrom; Southern Illinois University Press (1 de febrero de 1975)

Invisible Colleges, Diana Crane; University of Chicago Press (28 de abril de 1972)

Epistemic Communities in Universities, Tim Gore; Procedia Social and Behavioral Sciences 10 (2011) 98-103

Epistemic Cultures: How the Sciences Make Knowledge, Karin Knorr Cetina, Harvard University Press, 1999

[2] Sociedad Española de Materiales; SOCIEMAT (<https://sociemat.es/>)

[3] Confederación de Sociedades Científicas de España, COSCE (<https://www.cosce.org/>), desde donde se puede enlazar a todas las sociedades miembros y a los proyectos [ENCIENDES](#), [ACIERTAS](#) y [DECIDES](#) mencionados, así como a los informes elaborados sobre diversos temas de política científica

[4] Federación de Sociedades Europeas de Materiales FEMS, (<https://www.fems.org/>) desde donde se puede enlazar a todas las sociedades miembro. Con motivo del 150 Aniversario de la DGM Peter Paul Schepp ha elaborado un artículo sobre la historia de la Federación, cuya traducción realizada por Hugh Dunlop se puede descargar a través del enlace http://www.fems.org/sites/default/files/public/FEMS_hi_story_final_1.pdf

[5] EUMAT (European Technology Platform for Advanced Engineering Materials and Technologies, (<https://www.eumat.eu/en>))

[6] ALLIANCE FOR MATERIALS, A4M (https://www.eumat.eu/en/about_a4m). Alliance for Materials (A4M) Memorandum: Materials provide solutions for tomorrow's challenges (https://www.eumat.eu/media/uploads/descargas/19_11_12_alliance_for_materials_memorandum.pdf) En el marco de EUMAT-A4M se elaboró el informe Towards a System Approach for Materials Research, Development and Innovation for Europe, Margarethe Hofmann-Amttenbrink, Heinrich Hofmann, Rudy Koopmans, Erik Schuring, Jan Meneve, Roland Gauss, Amaya Igartua, Paloma Fernández, que puede descargarse en el siguiente enlace <https://www.matsearch.ch/towards-a-system-approach-for-materials-research-development-and-innovation-for-europe/>

NORMAS DE PRESENTACION DE LA REVISTA “MATERIAL-ES”

A. Pérez¹, M. Martínez¹, J. López²

¹Centro y dirección 1, antper@unizere.es

²Centro y dirección 2

Resumen: En el siguiente texto se presentan las normas para la presentación de los trabajos completos. (*El formato en el que se presenta el presente texto, sirve de orientación a la estructura del trabajo*). El no cumplimiento de estas directrices puede implicar la exclusión del trabajo en la revista.

Palabras clave: palabras clave que caractericen el contenido del artículo separadas por comas.

1. EXTENSIÓN.

Se admitirán trabajos completos de hasta 4 páginas (máximo) incluyendo todas las secciones, ajustándose al formato que se indica a continuación. Para su correcto procesamiento, el fichero resultante deberá tener un tamaño menor a 10 MB.

2. FORMATO GENERAL.

Los márgenes serán de 2 cm en todos los casos (superior, inferior, derecha e izquierda). El texto debe ajustarse a 2 columnas (Excepto el Título, Autores y Resumen), con espaciado entre columnas de 1cm. Se utilizará espaciado simple entre líneas de texto dejando una línea en blanco entre párrafos (sin sangrado), así como entre el encabezado de cada apartado y el texto.

Tipo de letra para el texto principal: Times New Roman 10.

3. TÍTULO.

Centrado la parte superior de la primera hoja sin dejar espacio. Letra: Times New Roman 12, mayúsculas y **negrita**.

4.- AUTORES.

El nombre de los autores constará centrado debajo del título, dejando una línea en blanco. Tipo de letra: Times New Roman 11 **negrita cursiva** y en minúsculas. Deberá subrayarse el nombre del autor que presenta el trabajo y la pertenencia a distintos centros se indicará con un superíndice detrás del nombre.

Tras una línea en blanco, se indicará la filiación de los autores. Debe hacerse constar la dirección de correo electrónico del ponente. La dirección de cada centro, en su caso, se incluirá en una línea diferente. Times New Roman 11.

5.- RESUMEN.

No excederá las 150 palabras en la versión castellano. Se colocará debajo de los autores tras 4 líneas en blanco. El texto principal a doble columna comenzará tras dos líneas en blanco de las palabras clave.

6.- ENCABEZADOS.

Los encabezamientos de los distintos apartados se mecanografiarán en mayúsculas y en negrita y serán numerados correlativamente. Los subencabezados, en su caso, deberán ir en minúsculas y subrayados.

7.- ECUACIONES Y FÓRMULAS.

Se recomienda mecanografiar las fórmulas dejando una línea en blanco antes y después de las mismas y consignando su número de referencia entre paréntesis en el margen derecho.

8.- FIGURAS Y TABLAS.

Las figuras aparecerán insertadas en el lugar del texto que les corresponda.

Como norma general, las tablas y figuras deberán ocupar el ancho de columna, aunque en caso necesario pueden prepararse para abarcar el ancho de hoja. Las figuras, a las que se hará referencia en el texto, aparecerán numeradas correlativamente y con un pie de figura que tendrá la estructura que se muestra en el siguiente ejemplo:

Figura 1. Sección longitudinal del pliegue 2 A. Pliegue en la parte interna del codo. 2,4x.

Las tablas tendrán el mismo tipo de letra que el texto, anteponiendo a cada tabla el número y título correspondiente en la forma que se indica:

Tabla 1. Composición química de los aceros.

9.- REFERENCIAS.

Se citarán en el texto con el número correspondiente entre corchetes: [1]. Aparecerán agrupadas en la última sección. Las referencias se numerarán correlativamente en el orden que aparecen en el texto, con la forma siguiente:

[1] Kamdar, M. H., “Embrittlement by Liquid and Solid Metals”, Ed. The Metallurgical Society, 1984.

SCIENTIFIC JOURNAL "MATERIAL-ES" GUIDELINES FOR PRESENTATION

A. Pérez¹, M. Martínez¹, J. López²

1 Group and address 1, antper@unizere.es

2 Group and address 2

Summary: In the following text are described the guidelines for presenting complete works. (*The format in which this text is presented, serves as an orientation of the work structure*). Failure to comply these guidelines may involve the exclusion of the work from the magazine.

Keywords: keywords that characterize the article content separated by commas.

1. EXTENSION.

Full papers of up to 4 pages (maximum) including all sections will be accepted, according format to these rules. For a correct processing, the resulting file size must be less than 10 MB.

2. GENERAL FORMAT.

The margins will be 2 cm in all cases (upper, lower, right and left). The text must be adjusted to 2 columns (except the Title, Authors and Summary), with 1 cm. spacing between columns. Simple spacing will be used between lines of text leaving a blank line between paragraphs (without bleed), as well as between the heading of each section and the text.

Main text formatted in Times New Roman font size 10.

3. TITLE.

At the top of the first sheet, centered without leaving space. Times New Roman font size 12, caps and **bold**.

4. AUTHORS.

The name of the authors will be centered below the title, leaving a blank line. Times New Roman font size 11 **bold, italics and lowercase**. The name of the author presenting the work should be underlined, and membership in different groups will be indicated by a superscript after the name.

After a blank line, the authors affiliation will be indicated. The rapporteur's e-mail address must be included. Each center's address, if so, will be included in a different line, Times New Roman font size 11.

5. SUMMARY.

It will not exceed 150 words in the English version. It will be placed below the authors after 4 blank lines. The main text in double column will begin after the keywords and two blank lines.

6. HEADINGS.

Different sections headings will be typed in **CAPITAL LETTERS, BOLD** and will be numbered correlatively. Subheadings, if applicable, should be lowercase and underlined.

7. EQUATIONS AND FORMULAS.

It is recommended to type the formulas leaving a blank line before and after them and entering their reference number in parentheses in the right margin.

8. FIGURES AND TABLES.

The figures will appear inserted in the corresponding place of the text.

As a general rule, tables and figures should occupy the column width, although if necessary they can be prepared to cover all the sheet width. The figures, to which reference will be made in the text, will appear numbered correlatively and with a figure foot that will have the structure shown in the following example:

Figure 1. Longitudinal section of the fold 2 A. Fold in the inner elbow side. 2,4x.

The tables will have the same format as the text, placing the corresponding number and title before each table as shown:

Table 1. Chemical composition of steels.

9. REFERENCES.

They will be cited in the text with the corresponding number in brackets: [1]. They will be presented grouped in the last section. The references will be numbered correlatively in the order they appear in the text, with the following form:

[1] Kamdar, M. H., "Embrittlement by Liquid and Solid Metals", Ed. The Metallurgical Society, 1984.