

Fecha de presentación del Informe: Día Mes Año **1. Datos generales del Proyecto**

Código del proyecto: 71023			
Título del proyecto: Estudio del comportamiento de recubrimientos de nitruros protectores nanoestructurados para posibles aplicaciones biomédicas.			
Facultad o Instituto Académico: Ciencias Naturales y Exactas			
Departamento o Escuela: Física			
Grupo (s) de investigación: Grupo de Películas Delgadas			
Entidades: Universidad del Valle			
Palabras claves: Recubrimientos protectores nanoestructurados, nitruros ternarios, biomateriales			
Investigadores ¹	Nombre	Tiempo asignado	Tiempo dedicado
Investigador Principal	WILSON LOPERA MUÑOZ	10	
Coinvestigadores	GUSTAVO ADOLFO ZAMBRANO ROMERO	5	
	MARIA ELENA GOMEZ DE PRIETO	5	
	ANDRES RIASCOS BRAVO	20	
	JESSICA GIL LONDOÑO	20	
	DIANA MARCELA OSORIO OSPINA	30	
Otros participantes			

¹ Todas las personas relacionadas en el informe y que participen en el proyecto deben haber suscrito el acta de propiedad intelectual de acuerdo con los formatos establecidos.

2. Resumen ejecutivo:

Este proyecto surge como alternativa posible para dar respuesta a las necesidades crecientes de investigación en el campo de los materiales empleados en biocompatibilidad. Un área que se ha venido transformando en las últimas décadas para obtener nuevos materiales mejorados en razón de costo y propiedades específicas, especialmente aquellas donde se requiere que el material permanezca implantado por un largo periodo de tiempo sin perder propiedades ni causar daños al huésped. En aras de esto, el presente proyecto se planteó la producción de recubrimientos protectores nanoestructurados sobre aceros inoxidables del tipo 316 L, depositados por la técnica de magnetron sputtering, para posibles aplicaciones biomédicas. Dado que estos recubrimientos han demostrado en estudios previos, presentar muy buenas propiedades mecánicas como resistencia elevada al desgaste y a la tensión, así como buena resistencia a la corrosión, se plantea la posibilidad de emplearlos como recubrimientos protectores alternativos, en la fabricación de implantes y prótesis mecánicas corporales de alto rendimiento. El proyecto implicó la preparación de las probetas de aceros inoxidables 316L con una configuración semicónica (para inmersión controlada) sobre las cuales se depositaron los recubrimientos protectores nanoestructurados, para la posterior evaluación de su biocompatibilidad en fluidos que simulan el plasma sanguíneo y pruebas de citotoxicidad a través de crecimiento celular. Como recubrimientos protectores nanoestructurados, se sintetizaron nitruros ternarios como el nitruro de cromo aluminio (CrAlN) y el nitruro de titanio aluminio (TiAlN), sobre los cuales el Grupo de Películas Delgadas tiene amplia experiencia en el estudio de sus propiedades protectoras antidesgaste, anticorrosivas, mecánicas y tribológicas. Posterior a la obtención de los recubrimientos protectores estos se caracterizaron estructural y morfológicamente mediante Difracción de Rayos X (XRD), Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) en sección transversal y Microscopia de Fuerza Atómica (AFM). Igualmente se estudió su comportamiento electroquímico ante la corrosión mediante la técnica de Espectroscopía de Impedancia Electroquímica (EIS). El estudio de la adherencia y del comportamiento al desgaste se llevó a cabo con un tribómetro por Pin-on disk. Finalmente, el estudio de biocompatibilidad se llevó a cabo por inmersión en fluidos simulados tales como el fluido de Hank, así como también se evaluó citotoxicidad empleando la técnica de viabilidad celular por medio del ensayo de reducción del MTT. Los resultados corroboraron las propiedades mecánicas, tribológicas y de resistencia a la corrosión de estos recubrimientos nanoestructurados, además de mostrar promisorias posibilidades en aplicaciones biomédicas como son los implantes sometidos a altas tasas de desgaste acompañados de procesos corrosivos corporales. Los resultados fueron divulgados a través de publicación de una revista internacional y ha sido sometido otro artículo para publicación en revista internacional. También se presentado los resultados de las investigaciones en diferentes congresos y eventos científicos tanto nacionales como internacionales.

Abstract

This project arises as a possible alternative to respond to the growing needs of research in the field of materials used in biocompatibility. An area that has been transformed in the last decades to obtain new materials improved due to cost and specific properties, especially those where it is required that the material remains implanted for a long period of time without losing properties or causing damage to the host. For the sake of this, the present project considered the production of nanostructured protective coatings on stainless steels of type 316 L, deposited by the magnetron sputtering technique, for possible biomedical applications. Since these coatings have shown in previous studies, present very good mechanical properties as high resistance to wear and stress, as well as good resistance to corrosion, the possibility of using them as alternative protective coatings in the manufacture of implants and prostheses high performance body mechanics. The project involved the preparation of the samples of stainless steel

316L with a semi-conical configuration (for controlled immersion) on which the protective nanostructured coatings were deposited, for further evaluation of their biocompatibility fluids simulating blood plasma and cytotoxicity tests to through cell growth. As protective coatings nanostructured, they nitrides ternary as chromium nitride aluminum (CrAlN) and titanium aluminum nitride (TiAlN), on which the Group Thin Films has extensive experience in studying its protective properties antiwear, anticorrosión, mechanical and tribological, were synthesized,. After obtaining protective coatings, the samples were structural and morphologically characterized by X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM) in cross section, and Atomic Force Microscopy (AFM). Likewise, its electrochemical behavior against corrosion was studied using the Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) technique. The study of adherence and wear behavior was carried out with a tribometer by Pin-on disk. Finally, the biocompatibility study was carried out by immersion in simulated fluids such as Hank's fluid, as well as cytotoxicity was evaluated using the cell viability technique by means of the MTT reduction assay. The results corroborated the mechanical, tribological and corrosion resistance properties of these nanostructured coatings, and showed promising possibilities in biomedical applications such as implants subject to high wear rates accompanied by bodily corrosive processes. The results were published through the publication of an international journal and another article has been submitted for publication in an international journal. The results of the research were also presented in different congresses and scientific events, both nationally and internationally.

3. Síntesis del proyecto:

3.1 Tema

El campo de los biomateriales viene siendo estudiado desde la década de los 50's, teniendo mayor auge en la década de los 80's con la aparición de nuevas aleaciones más estables electroquímicamente que presentan mayor inercia en contacto con fluidos corporales, entre otros. Sin embargo muchos de los elementos, entre ellos los de origen metálico, los cuales se emplean en contacto con el cuerpo humano, suelen presentar problemas de biocompatibilidad como liberación de iones al interactuar con los fluidos corporales durante un tiempo determinado. Estos iones a su vez suelen ser desencadenantes de otras reacciones de tipo citotóxico o genotóxico que representan una agresión de dichas sustancias sobre el cuerpo y que puede conllevar a procesos cancerígenos autónomos en el mismo [1]. Otra problemática que se presenta al usar prótesis o implantes, es que los biomateriales que se usan en estos elementos, al ser sometidos a diversos esfuerzos y cargas corporales, sufren procesos de elevado desgaste por los ciclos de estrés que experimentan, lo cual reduce su vida útil [2]–[5].

El uso de prótesis e implantes biomédicos para suplantar la función original de algún componente del sistema biológico humano, tiene una tradición relativamente extensa en la historia de la medicina. En la actualidad, uno de los enfoques primordiales con que se encara esta alternativa médica, es el de la biocompatibilidad de los materiales empleados en la construcción de prótesis para prevenir impactos negativos sobre el paciente, originados en fallas del implante por mecanismos de degradación como corrosión, liberación de elementos químicos, desgaste; entre otros [2], [6]–[8]. Entre los materiales más comúnmente empleados en la industria biomédica, como biomaterial para implantes temporales está el titanio, aleaciones de titanio y el acero inoxidable 316L. Sin embargo el titanio es un elemento escaso en naturaleza y por ende de alto costo por unidad volumétrica, esto también sucede con sus aleaciones aunque el costo sea más bajo que el elemento de mayor pureza [9]. De otro lado, el acero inoxidable al ser una aleación en base a hierro, presenta mayor facilidad de obtención y menores costos comparado con el titanio, inclusive emplear combinaciones de ambos materiales representa factibilidad económica sin reducir la resistencia a la corrosión de los mismos [10].

Los aceros inoxidables 316L tienen una alta resistencia a la corrosión debido a la adición de molibdeno y

nitrógeno, los cuales previenen la corrosión por picado y aumentan la auto pasivación de la superficie del material, respectivamente, incrementando a su vez la resistencia a fatiga. Sin embargo existen otros factores que pueden estar presentes en este tipo de materiales tales como la presencia de inclusiones o heterogeneidades a nivel superficial, las cuales actúan como puntos anódicos y terminan diluyéndose en el electrolito o medio al que se encuentre sometido, generando así cavidades dentro del material donde se propicia el “crevice” (corrosión por rendija). Otro de los factores que afectan este tipo de materiales es la heterogeneidad microestructural, y en particular la presencia de tamaños de grano diferentes a nivel superficial, lo cual lo hace más susceptible de padecer corrosión-fatiga, haciendo que se generen fisuras entre los límites de grano, por las cuales se promueve la corrosión que incrementa el tamaño de las fisuras generando una propagación de grieta que empieza siendo intergranular y termina propagándose de forma transgranular [4], [11]. Lo anterior constituye una deficiencia clara debido al excesivo deterioro que puede ocurrir en estos aceros en aplicación contacto con otra superficie dando lugar a procesos de desgaste corrosivo.

Este proyecto nace de la expectativa creciente en mejorar la calidad y rendimiento de los materiales empleados convencionalmente en el área biomédica, explícitamente los implantes biomédicos donde se tienen deficiencias a largo plazo ocasionadas por el deterioro mecánico o químico de los mismos al estar en contacto con el sistema corporal. Uno de los materiales más empleados en este campo es el acero inoxidable que, por sí solo, llega a presentar problemas de carácter citotóxico a largo plazo, los que lo limitan para ser usado en implantes permanentes, debido a la liberación de iones metálicos hacia los tejidos circundantes, produciendo especies reactivas de oxígeno (ERO) y daño en ADN, factores que aumentan el riesgo de aparición de tumores locales y fallas mecánicas del implante [2]. Una estrategia empleada con el fin de cambiar esta característica del acero inoxidable es la modificación superficial de los implantes metálicos por medio de recubrimientos cuyas propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión sean mejores, con lo cual se evita a su vez el contacto directo del acero con el medio físico, incrementando el aporte adicional que dan las propiedades de estos recubrimientos.

Es en este orden de ideas, se presenta la posibilidad de emplear nitruros ternarios como el nitruro de cromo aluminio (CrAlN) y el nitruro de titanio aluminio (TiAlN) y el dióxido de titanio (TiO_2), como recubrimiento protectores nanoestructurados para ser depositados sobre aceros inoxidables 316L que puedan servir como materiales alternativos para aplicaciones biomédicas, ya que estos representan una de las líneas más empleadas en el sector de implantes metálicos temporales y fijos para cubrir el margen necesario de uso en aplicaciones de alta prestación mecánica (fatiga, desgaste) como son las prótesis o fijaciones; en comparación con las aleaciones de titanio cuyas propiedades mecánicas son inferiores y de mayor costo. [10]

Los recubrimientos nanoestructurados de CrAl/CrAlN y TiAl/TiAlN depositados en forma de multicapas, han presentado de acuerdo a estudios previos [12]–[14], durezas de hasta 21 GPa y 29 GPa y módulos de elasticidad de hasta 220 GPa y 320 GPa, respectivamente. En dichos trabajos también se hicieron estudios de sus propiedades electroquímicas y tribológicas. Un resumen comparativo de las propiedades de estos materiales cerámicos nanoestructurados con respecto al acero 316L, se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades mecánicas y tribológicas de recubrimientos nanoestructurados de TiAlN y CrAlN [12],[14].

Sistema	Dureza	Módulo de Elasticidad (E)	Coefficiente Fricción (μ) ²	Velocidad de Corrosión ³
Acero	10 GPa	200 GPa	0,8	1 mpy
CrAlN/CrAl ⁴	21 GPa	225 GPa	0,28	0,05 mpy
TiAlN/TiAl ⁵	21 GPa	215 GPa	0,41	0,35 mpy

La Tabla 1 permite evidenciar que las propiedades de estos recubrimientos nanoestructurados al ser depositados sobre el acero inoxidable 316L, potenciaría la posibilidad de la aplicación biomédica del conjunto acero/recubrimiento, por lo cual el proyecto constituye una posible solución para cubrir una de las crecientes necesidades del mercado de los biomateriales de obtener diversidad de materiales biocompatibles con mejores propiedades y menores costos de producción.

Adicionalmente este proyecto también es pertinente, debido a los pocos estudios de investigaciones existentes que involucren los recubrimientos cerámicos nanoestructurados mencionados anteriormente, en el área de biocompatibilidad tanto a nivel nacional como internacional. Lo anterior incluye la novedad del uso de la técnica de deposición por magnetron sputtering, para este tipo de aplicaciones, contando además con la interdisciplinariedad del proyecto al involucrar diversas áreas del conocimiento como lo son la Física, la Ciencia de Materiales, la Ingeniería y la Biomedicina.

3.2 Objetivos

3.2.1 Objetivo General

Estudio de las propiedades de recubrimientos nanoestructurados de nitruros ternarios como el nitruro de cromo aluminio (CrAlN) y el nitruro de titanio aluminio (TiAlN), para ser empleados en aplicaciones biocompatibles a manera de implantes corporales, mejorando así las propiedades mecánicas, tribológicas y de resistencia a la corrosión de aceros inoxidables 316L usualmente empleados en los mismos.

3.2.2 Objetivos Específicos

- Contribuir a la formación de conocimiento en el área de biomateriales e implantes a través del estudio de los recubrimientos ternarios nanoestructurados de CrAlN. y TiAlN depositados por la técnica de co-pulverización catódica asistida con campo magnético.
- Obtener recubrimientos de CrAlN y TiAlN sobre sustratos de acero inoxidable 316L, para ser empleados en piezas biomédicas con el objeto de reducir el desgaste que sufren estos aceros e incrementar la resistencia a la corrosión.
- Caracterizar estructural, electroquímica, morfológica y tribológicamente, los sistemas propuestos.
- Hacer una caracterización de la biocompatibilidad de estos sistemas, en un medio simulado de fluidos corporales (soluciones de Hank y Ringer Lastato) y evaluar su viabilidad celular para

² Coeficiente de Fricción a Temperatura de 25° C

³ Velocidad de corrosión a Temperatura ambiente, en medio NaCl.

⁴ Relación de crecimiento en atmosfera controlada de Ar/N₂ (0/100)

⁵ Relación de crecimiento en atmosfera controlada de Ar/N₂ (50/50)

determinar la existencia o no de citotoxicidad.

- Contribuir a la formación de recurso humano a nivel de pregrado y posgrado en el área de materiales con posibles aplicaciones biomédicas.

3.3. Metodología

Para alcanzar los objetivos planteados en el proyecto se llevó a cabo la siguiente metodología:

3.3.1 Actualización Permanente

La ejecución de este proyecto estuvo acompañada por un proceso permanente de revisión bibliográfica a lo largo de todo su desarrollo. Esto además de orientar las actividades previstas, estuvo dirigido a aportar al conocimiento de este tipo de materiales y sus aplicaciones tecnológicas en la actualidad, generando un referente de avances tanto a nivel nacional como internacional.

3.3.2 Preparación de los Substratos de Acero Inoxidable 316L

Los aceros 316L fueron maquinados para obtener una reducción de diámetro y lograr una forma tipo cónica, cuyo diámetro de base es de 2.2 cm y diámetro externo de 1.18 cm, como se esquematiza en la figura 1. El anterior diseño de los substratos se debe al hecho de que el elemento a evaluar de forma constante deber ser siempre los recubrimientos nanoestructurados, impidiendo así el contacto con el substrato de acero sin recubrir, para así obtener una evaluación más puntual del desempeño de los recubrimientos. Adicionalmente los substratos de acero 316L se llevaron a pulido tipo espejo y limpiados en baño de ultrasonido con alcohol isopropílico, antes de ser sometidos al proceso de depósito de los recubrimientos.

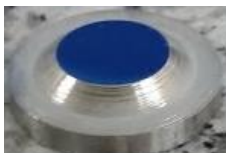


Fig.1 Substrato de Acero Inoxidable 316L de forma cónica

3.3.3 Preparación de los recubrimientos nanoestructurados de nitruros ternarios de CrAlN y TiAlN

Empleando la técnica de co-pulverización catódica asistida con campo magnético d.c (magnetron sputtering d.c), con atmosfera controlada en una mezcla de gases argón-nitrógeno Ar/N₂, se depositaron los recubrimientos nanoestructurados, empleando blancos de Al y Cr para desarrollar el nitruro ternario de CrAlN y blancos de Al y Ti para desarrollar el nitruro ternario de TiAlN (la pureza de los blancos fue de 99,99%). Ambos tipos de recubrimientos se depositaron tanto sobre acero inoxidable 316L como sobre silicio, para llevar a cabo las diferentes caracterizaciones propuestas. Después de la limpieza de los substratos de acero 316L en ultrasonido, se depositaron dos capas de acople, la primera metálica (Cr o Ti) y la segunda un nitruro (CrN o TiN), para proceder después al depósito de los recubrimientos de CrAlN y TiAlN, para lo cual el substrato permaneció rotando a una velocidad constante de 23 rpm frente a los blancos para facilitar la formación estequiométrica de los recubrimientos ternarios nanoestructurados, figura 2.

Para mejorar la adherencia de los nitruros nanoestructurados respecto al substrato de acero inoxidable 316L, se emplearon capas de acople de modo que este sistema permitió obtener recubrimientos con

menor concentración de esfuerzos dados por los diferentes parámetros de red existentes entre el acero y el recubrimiento nanoestructurado. El producto final fue una tri-capa como se esquematiza en la figura 3, compuesta por una capa de acople inicial que interviene directamente en la adherencia hacia el sustrato, seguida de una capa de transición previa al recubrimiento ternario, que provee las propiedades finales del sistema (mecánicas, tribológicas, resistencia a la corrosión) con el fin de mejorar su desempeño de biocompatibilidad.

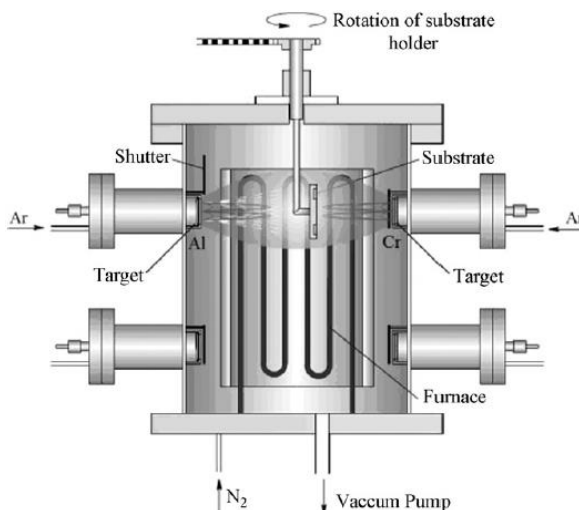


Fig. 2 Esquema multiblanco de pulverización catódica empleado en el proceso de depósito.

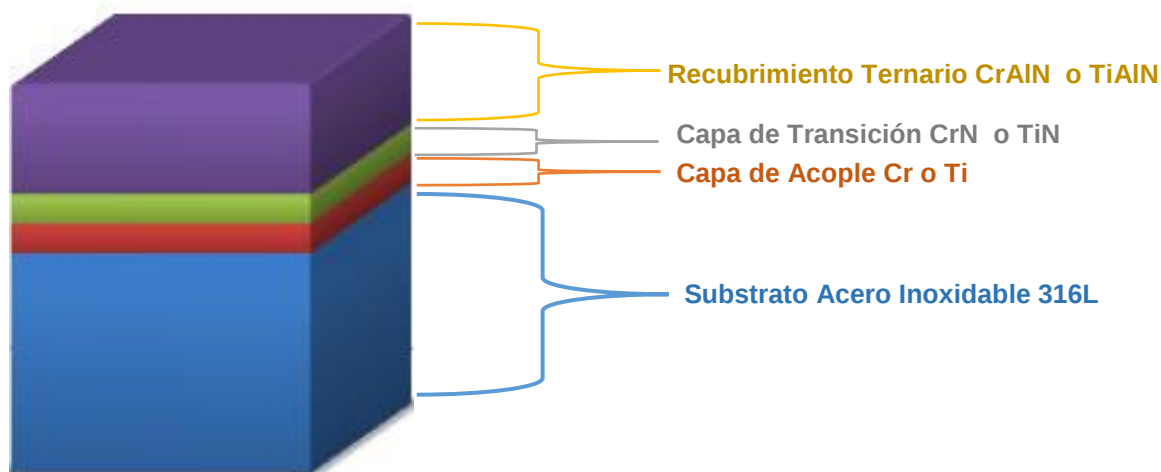


Fig. 3 Sistema de tri-capas CrAlN/CrN/Cr/316L y TiAlN/TiN/Ti/316L

En el proceso se optimizaron los parámetros de crecimiento (temperatura del sustrato, presión de trabajo, potencia aplicada, voltaje de polarización), para la obtención de los recubrimientos nanoestructurados ternarios, con las mejores propiedades requeridas.

3.3.4 Caracterización de los sistemas de recubrimientos obtenidos

3.3.4.1 Caracterización estructural, morfológica, electroquímica y tribológica

Las muestras se caracterizaron estructuralmente empleando Difracción de Rayos X (DRX) para identificar las fases presentes en los recubrimientos con las propiedades mecánicas requeridas.

Mediante microscopia electrónica de barrido en sección transversal (cross section SEM) se evaluó la presencia del sistema de la tricapa propuesta y mediante EDX la composición de la misma.

La morfología superficial de los recubrimientos se analizó mediante Microscopia de Fuerza Atómica (AFM) para estudiar la rugosidad y tamaño de grano de los recubrimientos que confirmaron su carácter nanométrico.

El comportamiento electroquímico de los recubrimientos se analizó mediante la técnica de Espectroscopia Electroquímica de Impedancias (EIS), que brindó información sobre el comportamiento del mismo ante la corrosión.

Para determinar la resistencia al desgaste y el coeficiente de fricción del sistema de la tricapa con miras a sus posibles aplicaciones en implantes biomédicos, se hizo un micro-test por pin on disc.

3.3.4.2 Evaluación de la biocompatibilidad de los recubrimientos

Para estas pruebas se hizo inmersión del recubrimiento en dos fluido artificiales que simularon los corporales como son ringer lastato y la solución de Hank con el objeto de evaluar la liberación de iones metálicos en el fluido por variación en composición química del este. Se dispuso un total 4 probetas por muestra de recubrimiento, inmersas de forma independiente y bajo las mismas condiciones en el fluido simulado. Se tomaron muestras del fluido a 24, 48, 72 y 96 horas, conservando las condiciones de temperatura corporal (37° C) y en ambiente controlado. El fluido simulado también pudo ser usado durante el análisis del comportamiento electroquímico frente a la corrosión.

La viabilidad celular se estudió por medio del ensayo de reducción del MTT donde se depositaron las muestras recubiertas en tubos de ensayo, inmersas en un cultivo celular para identificar si hay o no muerte celular. Este ensayo proporciona una información más completa sobre la posible existencia de citotoxicidad por parte del recubrimiento y se llevó a cabo en un laboratorio de ensayos biológicos equipado con aire acondicionado para control de temperatura, cámaras de extracción de gases y personal capacitado para dichas evaluaciones.

4. Resultados obtenidos.

El comportamiento electroquímico de los recubrimientos preparados, así como su comportamiento mecánico, dependen en gran medida de la composición química, la estructura cristalina y la rugosidad.

4.1. Composición química y estructura cristalina.

Las concentraciones de Al, Cr y N se midieron por EDS en la película de $\text{Cr}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$. En la película, las impurezas, como el carbono y el oxígeno, fueron menores al 3%, y el contenido de Al (definido como la relación de metales $x = \text{Al} / (\text{Al} + \text{Cr})$) y la relación atómica de nitrógeno a metal de nitrógeno ($\text{N} / (\text{Cr} + \text{Al})$), fueron 0.29 y 0.45, respectivamente. Medidas de micrografía SEM de sección transversal del

recubrimiento $\text{Cr}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$, mostraron homogeneidad del recubrimiento con un espesor alrededor de $1\ \mu\text{m}$.

Los patrones de difracción de rayos X de $\text{Cr}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$, usando 1° de ángulo rasante, mostraron que las películas cristalizaron en la estructura de sal de roca (B1), con la dirección preferencial (111) perpendicular al sustrato. En particular, los picos de difracción con la intensidad más alta observada en 38, 44, 63 y 76 corresponden a CrN y AlN de (111), (200), (220), (311) planos cristalográficos. Se observa un pico adicional en 33 que corresponde a AlN (100).

El compuesto ternario $\text{Cr}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ se forma cuando la fase AlN se incorpora a la estructura de FCC de CrN, donde los átomos de Al están sustituyendo a los átomos de Cr, lo que conduce a una variación en el parámetro de red, debido a su tamaño. En este sentido, está claro que los planos de difracción (111), (200) y (220) tienen un hombro en el lado izquierdo, lo que indica la formación de la fase de solución sólida FCC- (Cr, Al) N.

4.2. Análisis morfológico por AFM

Los resultados de AFM para el recubrimiento de CrAlN depositado sobre el sustrato de Si mostraron una rugosidad de la superficie y un tamaño de grano de $2.7 \pm 0.6\ \text{nm}$ y $41 \pm 2\ \text{nm}$, respectivamente, lo que indicó que el recubrimiento depositado exhibe una superficie homogénea. Además, indica también que es posible evaluar el comportamiento electroquímico en comparación con el sustrato no recubierto, ya que la conducción eléctrica en el EIS depende de la conductividad del electrolito y las características microestructurales de los constituyentes del $\text{Cr}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$, incluyendo la rugosidad, el espesor, el tamaño de grano, la porosidad, etc.

4.3. Propiedades mecánicas de las películas $\text{Cr}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$

La dureza y el módulo elástico reducido medidos por nanoindentación se evaluaron con la ecuación de Oliver y Pharr. Los resultados muestran que, para todas las pruebas, la profundidad máxima de penetración no excede el 10% del espesor total del recubrimiento ($\sim 1\ \mu\text{m}$). Por esta razón, la dureza se determinó como el promedio de los puntos experimentales ($27.8 \pm 2.6\ \text{GPa}$). Además, el módulo elástico reducido se obtuvo siguiendo el principio de osciladores en serie, donde se realizó un ajuste lineal en la gráfica del módulo elástico en función de la relación radio de contacto / espesor de la película, para obtener el valor del módulo elástico reducido. El módulo de Young de las muestras se obtuvo a partir del módulo de elasticidad reducido considerando las constantes elásticas de la punta de diamante y los recubrimientos de CrAlN que llevaron a un valor de (346 GPa). Estos valores de dureza y de módulo de elasticidad están en el rango de los reportados anteriormente en condiciones de deposición similares, dependiendo de la concentración de aluminio en la muestra de $\text{Cr}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$.

Se realizaron Curvas de Nyquist (impedancia imaginaria Z_{imag} vs impedancia real Z_{real}) para acero inoxidable 316L sin recubrimiento y recubiertas con $\text{Cr}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ expuestas a evaluación electroquímica en presencia de una solución de Hank como un fluido corporal simulado, obteniéndose un circuito equivalente del modelado de datos EIS que se usa para extraer propiedades físicamente significativas del sistema electroquímico al modelar los datos de impedancia en términos de un circuito eléctrico compuesto por resistencias (R), condensadores (C) e inductores (L) ideales. Para probar los recubrimientos a través de EIS, fue necesario ajustar los datos al modelo.

Los parámetros electroquímicos evaluados a partir de las mediciones de polarización potenciodinámica para el sustrato de acero inoxidable 316L y el sustrato con el recubrimiento, se muestran en la Tabla 2. Como se puede observar, los valores de la tasa de corrosión son inversamente proporcionales al valor de las resistencias de polarización (R_{po}) obtenidas de los diagramas de Nyquist, donde el sustrato de acero inoxidable 316L recubierto con CrAlN es 99% más resistente al ataque electroquímico que el acero solo,

lo que aumenta la resistencia de polarización del sistema.

Tabla 2. Parámetros electroquímicos evaluados a partir de mediciones de polarización potenciodinámicas.

Muestra	$R_{po} (\Omega \text{ cm}^2)$	$V_c (\text{mmy})$
316L	3.31×10^{-3}	1.97
316L/CrAIN	9.15×10^4	9.17×10^{-3}

4.4 Citotoxicidad en ZnO, Al₂O₃, y nanolaminados de [Al₂O₃/ZnO]_n

En este proyecto también se evaluó el comportamiento biocompatible de nanolaminados en multicapas [Al₂O₃/ZnO]_n obtenidos por deposición de capa atómica (ALD), a partir de los precursores trimetil aluminio y dietil zinc, a temperatura constante de 200 °C. Se depositaron monocapas y multicapas sobre acero inoxidable 316L y silicio con orientación (100), variando el periodo de la bicapa en n=1, 2,5, 10 y dejando un espesor total constante de 200 nm. Los nanolaminados de [Al₂O₃/ZnO]_n fueron caracterizados por difracción de rayos x (XRD) en incidencia rasante a 2°, reflectividad, microscopia de fuerza atómica (AFM) y microscopia electrónica de barrido (SEM). Posteriormente se evaluó el comportamiento citotóxico empleando un kit de detección de citotoxicidad LDH (lactate dehydrogenase) Roche, donde se pudo observar el comportamiento biocompatible de todas las películas al interactuar con células CHO (chinese hamster ovary).

Los resultados de XRD evidencian planos de difracción para la estructura de wurtzita a partir de zincita. El límite químico y la composición para ambas capas individuales se identificaron mediante espectroscopia fotoelectrónica de rayos X (XPS). Los resultados de AFM permitieron evaluar la morfología y la rugosidad mostrando una reducción en la rugosidad y el tamaño del grano con el aumento del periodo de las bicapas. Las medidas SEM permitieron determinar el espesor de las muestras, donde los resultados confirmaron un valor de ~ 250 nm, para las muestras nanolaminadas. El análisis de espectroscopia de impedancia electroquímica con una solución salina equilibrada de Hank (HBSS) evidenció una evolución de la resistencia a la corrosión del sistema [Al₂O₃ / ZnO]_n / 316L de alrededor del 95% en relación con el sustrato de acero no recubierto como función del aumento del número de bicapas. El resultado de la prueba de citotoxicidad muestra la citotoxicidad de la multicapa en comparación con la de las monocapas de acero inoxidable 316L, Al₂O₃, y ZnO. Se observó la citotoxicidad de las muestras recubiertas con respecto a los aceros sin recubrir, obteniéndose valores entre 0% y 35% para la monocapa de ZnO y la multicapa de [Al₂O₃/ZnO]_n, respectivamente. La menor citotoxicidad se encontró en las capas individuales de ZnO, lo que conduce a la proliferación celular más fácil que el Al₂O₃, obteniendo una mejor adhesión y anclaje a su superficie. Esto sugiere, que para efectos de aplicación de los nanolaminados de [Al₂O₃/ZnO]_n como biomateriales, se debería dejar el ZnO como capa superior en contacto con el medio biológico. El anterior resultado se confirmó con el análisis por microscopia electrónica de barrido al evaluar la adherencia celular de los nanolaminados al acero, después de 48 horas de terminado el ensayo de citotoxicidad.

5. Principales conclusiones y/o recomendaciones

Recubrimientos de Cr_{1-x}Al_xN fueron depositados con éxito por magnetron sputtering reactivo sobre sustratos 316L y sus propiedades mecánicas estuvieron en el rango de valores reportados previamente bajo condiciones de deposición similares en otros sustratos. Fue posible observar el aumento en la resistencia a la corrosión para el acero inoxidable 316L recubierto con Cr_{1-x}Al_xN cuando se expone a fluidos corporales simulados, en particular (solución de Hank), donde la tasa de corrosión se redujo en un 99% y la resistencia a la polarización aumentó. en seis órdenes de magnitud en comparación con el

sustrato de acero inoxidable 316L sin recubrimiento ($9.15 \times 10^4 \Omega\text{cm}^2$ para el recubierto y $3.31 \times 10^{-3} \Omega\text{cm}^2$ para el acero sin recubrir).

Capas simples de ZnO y Al_2O_3 y el sistema nanolaminado de $[\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{ZnO}]_n$ fueron depositados exitosamente en acero 316L SS, y caracterizados en su estructura, enlaces químicos, morfología y propiedades electroquímicas, con el fin de correlacionarse con su citotoxicidad e identificar el comportamiento de biocompatibilidad de estos sistemas.

Las monocapas de Al_2O_3 crecieron amorfamente, mientras que las monocapas de ZnO exhibieron cristalinidad más alta con el tamaño de cristalito más grande, mientras que las multicapas de $[\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{ZnO}]_n$ presentaron una disminución en el tamaño de cristalito debido al efecto de la alúmina amorfa, que actúa como un sustrato para la capa de ZnO. Además de esto, la capa de alúmina siempre se deposita como la capa superior de la pila $[\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{ZnO}]_n$. Por otro lado, el análisis morfológico de AFM demostró que el tamaño de grano y la rugosidad de la superficie disminuyen, cuando aumenta el número de $[\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{ZnO}]_n$, como se evidencia del aumento del número de interfaces con este aumento. Finalmente, el estudio electroquímico muestra que la resistencia a la corrosión de los nanolaminados de $[\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{ZnO}]_n$ es mayor en comparación con las capas 316L SS, ZnO y Al_2O_3 , lo que confirma el efecto protector de las capas y multicapas contra la corrosión.

Según la LDH en las células CHO, el comportamiento biocompatible muestra respuestas citotóxicas bajas. La monocapa de ZnO tuvo una respuesta óptima, ya que su liberación de LDH fue mínima, asociada a la mejor cristalinidad de esta monocapa, que también evidenció una mayor rugosidad que la multicapa. Además, la citotoxicidad más alta, después de Cu (referencia) y 316L SS, fue para la capa simple de Al_2O_3 , debido a que es amorfa y tiene un tamaño de grano muy bajo y una tasa de corrosión relativamente alta. En el caso de la multicapa, la conjugación de ambos materiales muestra una alta citotoxicidad, considerando que la capa superior es la monocapa de Al_2O_3 para todas las multicapas. La conjugación de ambos materiales proporciona una citotoxicidad media, que se puede usar dependiendo de la aplicación.

Por ese motivo, recomendamos cambiar la capa superior para una capa de ZnO ($[\text{ZnO} / \text{Al}_2\text{O}_3]_n$ (sistema multicapa) en muestras con $n = 1$ y $n = 2$, para mejorar la respuesta citotóxica de los nanolaminados de $[\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{ZnO}]_n$

El método usado es muy confiable para producir capas continuas y finas con propiedades uniformes en la superficie a la que se aplican. Sin embargo, su costo es alto y limitado en el espesor que se puede obtener, aunque esto se compensa utilizando un sustrato más económico en aplicaciones biomédicas.

4. Impactos actual o potencial:

4.1 Impacto social

El tema de estudio del presente proyecto es de actualidad en el campo de la ciencia de materiales y ciencia biomédica, de allí que los resultados del proyecto de investigación tienen impacto en estos campos a nivel nacional e internacional, ya que se estudiaron recubrimientos nanoestructurados con importantes propiedades mecánicas, tribológicas y electroquímicas, para aplicaciones biomédicas ampliando el campo de estudio de estos materiales. Además dada la temática, el proyecto implicó la cooperación interdisciplinaria de campos del conocimiento como Física, Ciencia de Materiales y la Biomedicina. Lo anterior permitió ampliar la colaboración del Grupo de Películas Delgadas con otros grupos a nivel nacional e internacional, en el área del presente proyecto.

Se publicó un artículo en revista indexada internacional y se sometió otro artículo a revista Q1 internacional. Se participó en un importante número de eventos tanto nacionales como internacionales.

4.2 Impacto sobre la educación

El impacto sobre la educación está relacionado con la formación de recurso humano a nivel de pregrado, posgrado e investigadores involucrados, quienes tuvieron la oportunidad de ampliar la frontera del conocimiento científico a través de un trabajo interdisciplinario donde se usaron nuevas técnicas y materiales nanoestructurados con posibles aplicaciones biomédicas.

En el marco del presente proyecto se involucraron una estudiante de maestría con tesis en el tema del proyecto, un estudiante de pregrado de semillero con trabajo de grado en el tema del proyecto y una estudiante de pregrado vinculada.

Adicionalmente, a través de los seminarios del Grupo de Películas Delgadas de la Universidad del Valle, se divulgaron los resultados del proyecto realizando exposiciones con discusión abierta sobre avances, y repercusión de la investigación en la medida que se fue desarrollando, lo que permitió la retroalimentación de todos los participantes del grupo y la comunidad universitaria en general.

4.3 Impacto Ambiental

En el campo de la investigación experimental relacionada con el proyecto no se utilizó equipos que en su manipulación puedan tener un potencial riesgo para la salud o para el medio ambiente. Los pocos reactivos químicos que se utilizaron para limpieza de sustratos, se usaron en una concentración tan baja que no representan amenaza alguna de contaminación ambiental. De otro lado, la producción de los recubrimientos nanoestructurados de nitruros ternarios, se llevó a cabo utilizando las medidas de seguridad ambiental correspondientes.

Con respecto al posible impacto ambiental que pueda tener los resultados de nuestras investigaciones en el futuro; nuestra amplia experiencia en el estudio de recubrimientos y películas delgadas, nos indica que las probabilidades que los resultados de este proyecto perjudiquen el medio ambiente son mínimas, y por el contrario, tienden a favorecer la utilización de nanoestructuras que presentan grados de contaminación muy bajos, protegiendo de esta manera el medio ambiente.

En el caso de las implicaciones de la evaluación de biocompatibilidad de los recubrimientos, las medidas se realizaron en un espacio controlado y con el equipo de seguridad apropiada, además de que los desechos de reactivos empleados fueron muy bajos por el tamaño de las probetas a ser evaluadas, de modo que al finalizar el estudio se realizaron los procedimientos adecuados para su eliminación en los espacios pertinentes.

5. Productos:

Tabla No. 1. **Cantidad y tipo de productos pactados en el Acta de Trabajo y Compromiso y productos finalmente presentados**

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS				No. de PRODUCTOS PRESENTADOS			
Productos de nuevos conocimientos								
Artículo en revista ISI-SCOPUS: Sometido.	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
		X			X			
Artículo completo publicado en revistas indexadas	A1	A2	B	C	A1	A2	B	C
						1		
Libros de autor que publiquen resultados de investigación								
Capítulos en libros que publican resultados de investigación								
Productos o procesos tecnológicos patentados o registrados								
• Prototipos y patentes								
• Software								
Productos o procesos tecnológicos usualmente no patentables o protegidos por secreto industrial								
Normas basadas en resultados de investigación								
Formación de recursos humanos	No. de estudiantes vinculados		No. de tesis		No. De estudiantes Vinculados		No. De tesis	
Estudiantes de pregrado			2		1		1	
Semillero de Investigación			1				1	

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS		No. de PRODUCTOS PRESENTADOS	
Estudiantes de maestría		1		1
Estudiantes de doctorado				
Joven investigador			1	
Productos de divulgación				
Publicaciones en revistas no indexadas				
Presentación de resultados en eventos de orden institucional	1		1	
Ponencias presentadas en eventos (congresos, seminarios, coloquios, foros)	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales
Propuesta de investigación	1	1	3	3
Propuestas presentadas en convocatorias externas para búsqueda de financiación.	1		1	

Referencias

- [1] J. J. Ramsden, D. M. Allen, D. J. Stephenson, J. R. Alcock, G. N. Peggs, G. Fuller, y G. Goch, "The Design and Manufacture of Biomedical Surfaces", *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 56, n° 2, pp. 687–711, 2007.
- [2] J. Bronzino, *The Biomedical Engineering Handbook*. 2000.
- [3] R. Hübler, a. Cozza, T. L. Marcondes, R. B. Souza, y F. F. Fiori, "Wear and corrosion protection of 316-L femoral implants by deposition of thin films", *Surf. Coatings Technol.*, vol. 142–144, pp. 1078–1083, 2001.
- [4] R. A. Antunes y M. C. L. De Oliveira, "Corrosion fatigue of biomedical metallic alloys: Mechanisms and mitigation", *Acta Biomater.*, vol. 8, n° 3, pp. 937–962, 2012.
- [5] A. P. López, C. P. G. García, P. J. A. Mejía, y M. E. M. Fernández, "Estudio in vitro de la citotoxicidad y genotoxicidad de los productos liberados del acero inoxidable 316L con recubrimientos cerámicos bioactivos", *Iatreia*, vol. 20, n° 1, pp. 12–20, 2007.
- [6] B. D. Ratner, A. S. Hoffman, F. J. Schoen, y J. E. Lemons, *Biomaterials Science - An Introduction to Materials in Medicine*. 1996.
- [7] T. K. Wotherspoon y M. Higgins, *Implantable Sensor Systems for Medical Applications*. Woodhead Publishing Limited, 2013.
- [8] P. K. Chu, "Surface engineering and modification of biomaterials", *Thin Solid Films*, vol. 528, pp. 93–105, 2013.
- [9] L. A. A. Santana, J. Mirza-Rozca, E. Vasilescu P. Drobb, D. Raducanu, "Technical and functional properties of some biocom thin films", *Mater. Chemistry Phys.*, vol. vol. 86, pp. pp. 38–43, 2004.
- [10] A. Hover, "Titanio para fijación de fracturas", *O&T nuevos Av. en Ortop. y Traumatol.*, vol. 6, n° 3, 1998.
- [11] *ASM Metals Handbook Vol 1-Properties and Selection Iron, Steel and High Performance Alloys.*
- [12] L. M. Ipaz, "PROPIEDADES MECÁNICAS Y TRIBOLÓGICAS DE RECUBRIMIENTOS TERNARIOS NANOESTRUCTURADOS BASADOS EN TITANIO, MÉTODO DE CO-SPUTTERING", *Univ. del Val.*, 2013.
- [13] J. E. Sánchez, O. M. Sánchez, L. Ipaz, W. Aperador, J. C. Caicedo, C. Amaya, M. a H. Landaverde, F. E. Beltran, J. Muñoz-Saldaña, y G. Zambrano, "Mechanical, tribological, and electrochemical behavior of Cr1-xAlxN coatings deposited by r.f. reactive magnetron co-sputtering method", *Appl. Surf. Sci.*, vol. 256, n° 8, pp. 2380–2387, 2010.
- [14] L. Ipaz, W. Aperador, J. C. Caicedo, J. Esteve, y G. Zambrano, "Improvement of the Electrochemical Behavior of Steel Surfaces Using a [Ti-Al/Ti-Al-N] n Multilayer System", *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 22, n° 5, pp. 1471–1480, 2012.

Tabla No. 2. Detalle de productos

Tipo de producto:	Artículo Sometido
Nombre General:	Revista Journal of Alloys and Compounds
Nombre Particular:	Artículo “Effect of the structure and surface morphology on the cytotoxicity of $[Al_2O_3/ZnO]_n/316L$ SS nanolaminates obtained by atomic layer deposition”
Ciudad y fechas:	Amsterdam, 14-05-2019.
Participantes:	D. Osorio, J. Lopez, H. Tiznado, M. A. Hernandez-Landaverde, M. Ramírez-Cardona, J. M. Yañez-Limon, J.O. Gutierrez J. C. Caicedo, G. Zambrano
Sitio de información:	Página web de la revista Journal of Alloys and Compounds
Formas organizativas:	1Thin films Group Universidad del Valle, Cali, Colombia. 2 CONACYT - Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ensenada, B.C, México. 3 Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ensenada, B.C, México. 4Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N., Unidad Querétaro, Libramiento Norponiente No. 2000, Fracc. Real de Juriquilla, Querétaro, Qro. C.P. 76230, México. 5Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra y Materiales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), Ciudad del Conocimiento, Col. Carboneras, 42184 Mineral de la Reforma, Hgo., México 6 Farmacología Univalle, Universidad del Valle, Cali, Colombia 7 TPMR Group Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Tipo de producto:	Artículo publicado
Nombre General:	Journal of Physics: Conf. Series 786 (2017) 012037
Nombre Particular:	Characterization of mechanical properties and electrochemical behaviour in a Hank's solution of 316L/ $Cr_{1-x}Al_xN$ system
Ciudad y fechas:	Londres, 19-05-2017
Participantes:	D M Osorio, J C Caicedo, W Aperador, A M Benitez-Castro, A L Giraldo-Betancur, J Muñoz-Saldaña, J M Yañez-Limón, O Sanchez and G Zambrano
Sitio de información:	Página web revista Journal of Physics: Conf. Series
Formas organizativas:	1 Universidad del Valle, Cali, Colombia 2 Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia 3 Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Querétaro, México 4 Servicio Nacional de Aprendizaje, Cali, Colombia

Tipo de producto:	Tesis
-------------------	-------



Nombre General:	
Nombre Particular:	Estudiante pregrado Andrés Riascos
Ciudad y fechas:	Cali, 31-08-2018
Participantes:	Andrés Riascos, Gustavo Zambrano
Sitio de información:	Biblioteca Central.
Formas organizativas:	Grupo de Películas Delgadas.

Tipo de producto:	Tesis
Nombre General:	
Nombre Particular:	Estudiante maestría Diana Osorio
Ciudad y fechas:	Cali, pendiente para Julio de 2019
Participantes:	Diana Osorio, Gustavo Zambrano, Julio Caicedo
Sitio de información:	Biblioteca Central.
Formas organizativas:	Grupo de Películas Delgadas.

Tipo de producto:	Estudiante vinculado
Nombre General:	
Nombre Particular:	Estudiante de pregrado Jessica Gil
Ciudad y fechas:	
Participantes:	Jessica Gil, Wilson Lopera
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Grupo de Películas Delgadas.

Tipo de producto:	Estudiante participante en semilleros de investigación
Nombre General:	4to Seminario de Investigación Formativa, Programa de Semilleros de Investigación en Ingeniería.

Nombre Particular:	Estudiante de pregrado Andrés Riascos Bravo
Ciudad y fechas:	Cali, Mayo 23 de 2016
Participantes:	Andrés Riascos
Sitio de información:	Página web Universidad del Valle
Formas organizativas:	Grupo de Películas Delgadas.

Tipo de producto:	Presentación de resultados en eventos de orden institucional
Nombre General:	Semana de ingeniería, 9º simposio de investigación.
Nombre Particular:	Características mecánicas y de resistencia a la corrosión de un recubrimiento $\text{Cr}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ depositado en acero 316L
Ciudad y fechas:	Cali, de 18 al 21 de Octubre de 2016
Participantes:	Diana Osorio, Julio Caicedo, Gustavo Zambrano, William Aperador
Sitio de información:	Página web Universidad del Valle
Formas organizativas:	Grupo de Películas Delgadas.

Tipo de producto:	Ponencia en evento internacional
Nombre General:	SLAFES XXIII
Nombre Particular:	Biocompatibility study by LDH analyses of $[\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZnO}]_n$ nanolaminates films
Ciudad y fechas:	Bariloche, Argentina, de 10 al 13 de Abril, 2018
Participantes:	Osorio Ospina D., Zambrano G. A., Caicedo J. C., López J., Gutiérrez O.
Sitio de información:	Página web SLAFES, 2018
Formas organizativas:	Grupo de Películas Delgadas.

Tipo de producto:	Ponencia en evento internacional
Nombre General:	XXVI International Materials Research Congress (IMRC 2017)
Nombre Particular:	
Ciudad y fechas:	Cancún, México, de 20 al 25 de Agosto, 2017

Participantes:	Gustavo Zambrano
Sitio de información:	Página web IMRC, 2017
Formas organizativas:	Grupo de Películas Delgadas.

Tipo de producto:	Ponencia en evento internacional
Nombre General:	Sexta Escuela NanoAndes, Nanomateriales, Síntesis y Toxicología
Nombre Particular:	
Ciudad y fechas:	Cali, Colombia, del 7 al 12 de Noviembre, 2016
Participantes:	Andrés Riascos, Diana Osorio
Sitio de información:	Página web NanoAndes, 2016
Formas organizativas:	Grupo de Películas Delgadas.

Tipo de producto:	Ponencia en evento nacional
Nombre General:	II Congreso Colombiano de Electroquímica, 2º Simposio en Nanociencia y Nanotecnología
Nombre Particular:	Characterization of mechanical properties and electrochemical behavior in a Hank's solution of $Cr_xAl_{1-x}N/316L$ system
Ciudad y fechas:	Bucaramanga, Colombia, del 4 al 7 de Octubre, 2016
Participantes:	D M Osorio, J C Caicedo, W Aperador, A M Benitez-Castro, A L Giraldo-Betancur, J Muñoz-Saldaña, J M Yañez-Limón, O Sanchez G Zambrano
Sitio de información:	Página web Universidad Industrial de Santander
Formas organizativas:	1Thin films Group Universidad del Valle, Cali, Colombia. 2 CONACYT - Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ensenada, B.C, México. 3 Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ensenada, B.C, México. 4Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N., Unidad Querétaro, Libramiento Norponiente No. 2000, Fracc. Real de Juriquilla, Querétaro, Qro. C.P. 76230, México. 5Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra y Materiales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), Ciudad del Conocimiento, Col. Carboneras, 42184 Mineral de la Reforma, Hgo., México 6 Farmacología Univalle, Universidad del Valle, Cali, Colombia 7 TPMR Group Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Tipo de producto:	Ponencia en evento nacional e internacional
Nombre General:	XIV Congreso Nacional de Corrosión y V Congreso Internacional de Integridad

Nombre Particular:	Comportamiento frente a la corrosión en fluidos corporales simulados de películas Al_2O_3 , ZnO , y $[\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZnO}]_n$ depositadas por ALD sobre aceros 316L
Ciudad y fechas:	Cali, Colombia, del 25 al 27 de Abril, 2018
Participantes:	Andrés Riascos, Jessica Gil, Diana Osorio, William Aperador, Julio Caicedo, Gustavo Zambrano
Sitio de información:	Página web Universidad Autónoma de Occidente, Cali
Formas organizativas:	Grupo de Películas Delgadas

Tipo de producto:	Ponencia en evento nacional
Nombre General:	XXVII Congreso Nacional de Física
Nombre Particular:	Estudio del comportamiento citotóxico de nanolaminados de $[\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZnO}]_n$ obtenidos por Deposito por capa atómica
Ciudad y fechas:	Cartagena, Colombia, del 3 al 6 de Octubre, 2017
Participantes:	D. M. Osorio, J. López, H. Tiznado, J. C. Caicedo, W. Lopera, G. Zambrano, O. Gutiérrez
Sitio de información:	https://www.xxviicnf.com.co/
Formas organizativas:	^a Grupo de Películas Delgadas, Universidad del Valle, Cali, Colombia ^b Grupo de Tribología Metalurgia de Polvos y Procesamiento de Residuos Sólidos, Universidad del Valle, Cali, Colombia ^c CONACYT-Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ensenada, B.C, México ^d Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ensenada, B.C, México ^e Grupo de Farmacología, Escuela de Salud, Universidad del Valle, Cali, Colombia

Tipo de producto:	Propuesta presentada en convocatoria externa para búsqueda de financiación.
Nombre General:	778-2017 ECOSISTEMA CIENTÍFICO PARA LA CONFORMACIÓN DE UN BANCO DE PROGRAMAS DE I+D+i ELEGIBLES
Nombre Particular:	Fabricación y caracterización de heteroestructuras basadas en materiales óxidos para posibles aplicaciones como recolectores de energía
Ciudad y fechas:	Cali, 28-06-2017
Participantes:	Wilson Lopera, María Elena Gómez, Gustavo Zambrano, Katherine Gross
Sitio de información:	Plataforma de COLCIENCIAS
Formas organizativas:	Grupo de Películas Delgadas, Grupo de Estado Sólido Teórico, Grupo de Física de Bajas Temperaturas (unicauca)



La presente versión del informe contiene las observaciones de los evaluadores:

Firma del investigador principal

VoBo. Vicedecano de Investigaciones

Por favor presente su informe impreso y en formato digital en hoja tamaño carta, letra arial 11, con espacios de 1 1/2