

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA ALBÚMINA DE HUEVO,
COMO INHIBIDOR EN UNA ALEACIÓN DE Ti-6Al-4V EXPUESTA EN UN
MEDIO FISIOLÓGICO SIMULADO.**

**DAVID ALONSO VILLA JIMÉNEZ
HUGO ALBERTO ROMERO RUIZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS MATERIALES
BUCARAMANGA
2014**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA ALBÚMINA DE HUEVO,
COMO INHIBIDOR EN UNA ALEACIÓN DE Ti-6Al-4V EXPUESTA EN UN
MEDIO FISIOLÓGICO SIMULADO.**

**DAVID ALONSO VILLA JIMENEZ
HUGO ALBERTO ROMERO RUIZ**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Metalúrgico**

**Director:
Ph.D DARIO YESID PEÑA BALLESTEROS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS MATERIALES
BUCARAMANGA
2014**

DEDICATORIA

Inicialmente quiero agradecer a Dios, mi creador, mi bastón, mi guía, mi amigo, siempre estuvo allí dándome sabiduría y fortaleza en los momentos más difíciles para superar los retos y poder salir hacia adelante, sin embargo debo reconocer que este proyecto no solo fue el producto del trabajo de dos estudiantes en cooperación, junto a sus asesores académicos, hubo decenas de personas apoyando y dándonos fuerza de inicio a fin, dedico los siguientes renglones en honor a su apoyo.

A mi mamá, ella es el estandarte de los más grandes logros de mi vida, una persona amorosa, dedicada y de gran sacrificio, que a pesar de sus limitaciones siempre estuvo al tanto del bienestar y estado de su hijo.

A mi padre, por sus concejos y su instrucción, enseñándome que una persona debe dar lo mejor de si quiere marcar la diferencia y hacer historia.

A mi tía Sally Ruiz, quien me apoyo desde muy pequeño, instruyéndome para la toma de decisiones correctas en pro del bienestar de mi futuro, es un ejemplo de vida, no solo para mí sino para el resto de mi familia y conocidos.

A Oscar Parra, mi padrino y segundo papá, quien estuvo muy atento de mí a lo largo de mi vida, ayudándome en momentos difíciles, bríndame la posibilidad de creer en mí mismo con seguridad y confianza, como también a ayudar a los demás en forma de gratitud por las bendiciones obtenidas en el transcurso de mi vida.

En última instancia quiero agradecer al resto de familiares, amigos y compañeros que fueron de gran ayuda en el desarrollo de este proyecto y de mi formación no solo como profesional, sino como persona. Espero retribuir en la vida de todos ellos el apoyo incondicional brindado y servirle al mundo como una persona íntegra y competente para construir un mejor mañana.

Con cariño;

Hugo Alberto Romero Ruiz.

DEDICATORIA

*A Dios, por permitirme alcanzar esta meta.
A mis padres: Néstor Villa Mercado y Rosalba Jiménez Valiente,
Por su amor y apoyo incondicional*

David Alonso Villa Jiménez

AGRADECIMIENTOS

En forma de agradecimiento frente al trabajo realizado en este proyecto, queremos dedicar nuestra gratitud a las siguientes personas y entidades:

A la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales por brindarnos la posibilidad de desarrollarnos como personas integra y competentes a lo largo del transcurso de nuestra carrera

A nuestro director Ph.D. Darío Yesid Peña Ballesteros por su instrucción y acompañamiento en el desarrollo del proyecto; su calidad como persona y asesor académico hicieron de nuestro trabajo un proceso formativo y pedagógico, capacitándonos para afrontar el problema de una forma más competente.

A nuestro profesor Custodio Vásquez Quintero, por su apoyo y disposición absoluta, enseñándonos no solo dentro y fuera de clase, acerca de los procesos de corrosión, sino también en otros espacios como el laboratorio; dándonos una mayor percepción y entendimiento de la temática tratada en este proyecto.

A nuestro asesor Anderson Sandoval Amador por su instrucción y apoyo durante el trayecto de la actividad, siempre estuvo pendiente de nuestro trabajo, orientándonos en el procedimiento y las complicaciones que surgían con el desarrollo de este; siempre dispuso de su experiencia y conocimiento en el área de forma incondicional, fue un guía y un amigo, por lo cual le agradecemos y le deseamos una carrera exitosa con grandes logros y aportes a la ciencia y a la humanidad.

A la sede de Guatiguará, en especial los miembros del grupo de Investigación en Corrosión GIC por capacitarnos y darnos la posibilidad de emplear los equipos necesarios.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
1. OBJETIVOS.....	19
1.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2. MARCO TEÓRICO	20
2.1 BIOMATERIAL.....	20
2.2 ALEACIÓN Ti-6AL-4V.....	20
2.3 APLICACIONES BIOMÉDICAS	21
2.4 INHIBIDORES DE CORROSIÓN.....	21
2.4.1 Tipos de inhibidores de corrosión, y sus mecanismos de acción.....	22
2.5 ALBÚMINA DE HUEVO	24
2.5.1 Ovoalbúmina.....	24
2.6 MECANISMO DE ACCIÓN DEL INHIBIDOR.....	27
3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	29
3.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	30
3.2 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.....	30
3.3 PREPARACIÓN SUPERFICIAL DE LA ALEACIÓN	31
3.4 OBTENCIÓN DE DEPOSITOS DE ALBÚMINA SOBRE EL SUSTRATO	31
3.5 CARACTERIZACIÓN COMPOSICIONAL, MORFOLÓGICA Y ESTRUCTURAL.	32
3.6 EVALUACION DE LA EFICIENCIA DEL INHIBIDOR	32
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	34
4.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS	34
4.2 DEPOSICIÓN DEL INHIBIDOR	35
4.2.1 Caracterización morfológica, composicional y estructural.....	35
4.3 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL INHIBIDOR	46
4.3.1 Potencial a circuito abierto	46
4.3.2 Resistencia a la polarización.....	50
4.3.3 Curvas de polarización potenciodinámicas	54
5. RECOMENDACIONES.....	62

6. CONCLUSIONES.....	63
BIBLIOGRAFÍA.....	65
ANEXOS.....	69

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición de la aleación.....	21
Tabla 2. Diseño de experimentos.....	30
Tabla 3. Técnicas electroquímicas con las características de medición.....	33
Tabla 4. Valores de potencial de circuito abierto para el sustrato con rugosidad inducida hasta el papel de carburo de silicio número 1200.	47
Tabla 5. Valores de potencial de circuito abierto para el sustrato con rugosidad inducida hasta el papel de carburo de silicio número 1500.	48
Tabla 6. Valores de potencial de circuito abierto para el sustrato con rugosidad inducida hasta paños (alúmina de 3 μ m).	50
Tabla 7. Valores de resistencia a la polarización (Rp) para el sistema con rugosidad inducida hasta el papel de carburo de silicio No. 1200.	52
Tabla 8. Valores de resistencia a la polarización (Rp) para el sistema con rugosidad inducida hasta el papel de carburo de silicio No. 1500.	53
Tablas 9. Valores de resistencia a la polarización (Rp) para el sistema con rugosidad inducida hasta paños (alúmina de 3 μ m).	54
Tabla 10. Parámetros electroquímicos calculados para el sistema con rugosidad inducida hasta el papel de carburo de silicio número 1200.	56
Tabla 11. Parámetros electroquímicos calculados para el sistema con rugosidad inducida hasta el papel de carburo de silicio número 1500.	58
Tabla 12. Parámetros electroquímicos calculados para el sistema con rugosidad inducida hasta paños (alúmina de 3 μ m).	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema representativo de un inhibidor de corrosión del tipo fílmico. ...	23
Figura 2. Formula estructural de la Cisteína.	26
Figura 3. Formula estructural de la Metionina.	26
Figura 4. Representación de los fenómenos de adsorción que controlan el mecanismo de inhibición de la albumina de huevo sobre el sustrato	27
Figura 5. Metodología experimental	29
Figura 6: Celda utilizada para la realización de pruebas electroquímicas.	33
Figura 7. Micrografía de la aleación Ti6Al4V a 2000X.	34
Figura 8. Espectro EDS de la aleación Ti-6Al-4V.....	35
Figura 9. Microscopia electrónica de barrido del sistema con rugosidad inducida hasta el papel de carburo de silicio número 1500 con (a) 0%v/v de albumina de huevo y (b) 1% v/v de albumina de huevo.	36
Figura 10. Espectro EDS de la capa con concentración de 1% v/v de albumina de huevo sobre el sustrato con rugosidad de 1500 en: a) El espacio generado por una de las tantas grietas encontradas en la superficie. b) Uno de los pequeños puntos encontrados sobre la superficie. c) la zona homogénea de la capa de albumina. .	37
Figura 11. Espectro EDS de la capa formada sobre el sustrato con rugosidad de 1200 y concentración de 1% v/v de albumina de huevo en: a) El espacio generado por una de las tantas grietas encontradas en la superficie. b) Uno de los pequeños puntos encontrados sobre la superficie. c) La zona homogénea de la capa de albúmina.	39
Figura 12. Espectro EDS de la capa formada sobre el sustrato con rugosidad inducida hasta paños (alúmina de 3 μ m) y concentración de 1%v/v de albumina de huevo en: a) El espacio generado por una de las tantas grietas encontradas en la superficie. b) Uno de los pequeños puntos encontrados sobre la superficie. c) La zona homogénea de la capa de albumina.	41
Figura 14. Espectro EDS en la sección longitudinal de la capa formada sobre el sustrato con rugosidad de 1500 y concentración de 1% v/v de albumina de huevo.	44
Figuras 16. Potencial de a circuito abierto de la aleación de Ti-6Al-4V con desbaste del sustrato hasta el papel de carburo de silicio No 1200.	47
Figuras 17. Potencial de a circuito abierto de la aleación de Ti-6Al-4V con desbaste del sustrato hasta el papel de carburo de silicio No 1500.	48
Figuras 19. Curvas de resistencia a la polarización de la aleación de Ti-6Al-4V con desbaste del sustrato hasta el papel de carburo de silicio número 1200.	51
Figura 23. Curvas de polarización potenciodinámicas de la aleación de Ti-6Al-4V con desbaste del sustrato hasta el papel de carburo de silicio No 1500.....	58

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. REACTIVOS UTILIZADOS.	69
ANEXO B. EQUIPOS UTILIZADOS.....	70
ANEXO C: Orden de reactivos para la preparación de SBF, propuesto por Kokubo [15].....	71
ANEXO D: Espectro y composición elemental por EDS (a) sin albumina de huevo y (b) con albumina de huevo con concentración de 1% v/v	72
ANEXO E: FT-IR de la cisteína y metionina.....	73
ANEXO D. Diagrama de Pourbaix del titanio a 37°C.	74
ANEXO E: Potenciostato Galvanostato GAMRY 600 e incubadora.....	74
ANEXO F: Ficha técnica de la albumina de huevo.	75

RESUMEN

TÍTULO: EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA ALBUMINA DE HUEVO, UTILIZADA COMO INHIBIDOR FRENTE A UNA ALEACIÓN DE Ti6Al4V EXPUESTA EN UN MEDIO FISIOLÓGICO SIMULADO*.

AUTORES: VILLA JIMÉNEZ David Alonso; ROMERO RUIZ Hugo Alberto**.

PALABRAS CLAVES: Ti6Al4V, albúmina de huevo, medio fisiológico simulado.

DESCRIPCIÓN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto que tiene la albúmina de huevo en la corrosión de superficies de Ti6Al4V. Para esto, se empleó un medio fisiológico simulado con concentraciones de 0%, 0.60% y 1% v/v del compuesto orgánico. Adicionalmente, se tuvo en cuenta la rugosidad del sustrato, con el fin de establecer una relación con la deposición de albúmina sobre la superficie del sustrato. Este último parámetro fue establecido, mediante el grado abrasivo del papel de carburo de silicio, el cual fue 1200 y 1500. A otras muestras se les indujo una rugosidad hasta paños (alúmina de 3µm).

El comportamiento electroquímico de cada sistema fue analizado. Para esto se emplearon varias técnicas como potencial a circuito abierto, resistencia a la polarización y curvas de polarización potenciodinámicas.

Para realizar una caracterización composicional, morfológica y estructural de la película de albumina sobre la superficie de la aleación, se emplearon técnicas como microscopia electrónica de barrido, espectroscopia de energía dispersa de rayos x y espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier.

Los resultados obtenidos muestran que el sistema con rugosidad inducida hasta el papel de carburo de silicio de 1500, inmerso en un medio fisiológico simulado, con concentración de 1% v/v del compuesto estudiado, presento una mayor eficiencia en comparación a las demás muestras.

*Proyecto de Grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Director: Ph.D. Dario Yesid Peña Ball

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION OF THE EGG ALBUMEN BEHAVIOR, USED AS INHIBITOR IN A Ti6Al4V EXPOSED TO A SIMULATED PHYSIOLOGICAL MEDIA*.

AUTHORS: VILLA JIMÉNEZ David Alonso; ROMERO RUIZ Hugo Alberto**.

KEYWORDS: Ti6Al4V, egg albumen, simulated physiological media.

DESCRIPTION:

The objective of this study was to evaluate the effect that the egg albumen has in the corrosion of Ti6Al4V surfaces. For this task, a simulated physiological media was employed with organic compound concentrations of 0%, 0.60% and 1%. Additionally, it was taken into account the substrate roughness, in order to establish a connection with the albumen deposition on the substrate surface. This parameter was set according to the abrasive grade of the silicon carbide paper, which was 1200 and 1500. To other samples a cloth roughness was induced (3µm alumen).

The electrochemical behavior of every system was analyzed. For this job many techniques were used like the open circuit potential, the polarization resistance and the potentiodynamic polarization curves.

To make a compositional, morphological and structural characterization of the egg albumen film on the alloy surface, different techniques like the scanning electron microscopy (SEM), the energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX) and the Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) were employed.

The final results show that the system with the induced roughness until the 1500 silicon carbide paper, immersed in a simulated physiological media with a 1% v/v concentration of the studied compound, had a higher efficiency compared to the other samples.

*Undergraduated Project

**Physic-chemist Engineering Faculty. Metallurgical and Materials Science Engineering School, Director Ph.D. Dario Yesid Peña Ballest

INTRODUCCIÓN

La aleación de Ti-6Al-4V se ha consolidado en el campo biomédico como una de los principales constituyentes en la fabricación piezas dentales y elementos ortopédicos, esto se debe en gran medida a sus propiedades físicas, mecánicas y químicas. Dentro de estas propiedades se destaca su formabilidad, alta resistencia mecánica, peso ligero, bicompatibilidad y alta resistencia a la corrosión, donde las dos últimas se deben al desarrollo de una capa de dióxido de titanio en la superficie de la aleación.

Una de las claves para que se lleve a cabo la integración entre la aleación y el organismo humano, radica en que el material es químicamente inerte, al producir de forma leve compuestos que podrían perjudicar la estabilidad y equilibrio del medio circundante, sin embargo esta condición no siempre se cumple, y en ocasiones se generan reacciones nocivas para el paciente acompañadas del deterioro del material implantado; estas reacciones están ligadas a parámetros que involucran dos entes; la aleación y el medio circundante.

En primer lugar se tiene la aleación Ti-6Al-4V, cuyas propiedades mencionadas anteriormente, están ligadas a la presencia de dos fases, alfa y beta, donde el aluminio y el vanadio se usan como estabilizadores de estas respectivamente. Por lo tanto la composición del material va a jugar un papel crucial en el desempeño físico y químico de la pieza, sin embargo este será constante para el desarrollo experimental. Otro factor ligado a la naturaleza del material está relacionado con la rugosidad en la superficie, ya que si bien, esta no influye de forma contundente en el proceso de corrosión, si afecta la interacción en el uso de los inhibidores sobre la superficie metálica, la cual es uno de los objetivos del presente trabajo.

En segundo lugar se tiene al medio circundante, en este caso se simulara las condiciones fisiológicas del organismo humano a través de una solución de SBF, reproduciendo de forma verosímil las condiciones de temperatura, pH, y concentración de cloruro de sodio entre otras.

La interacción de la aleación y su medio será afectada en este caso por la presencia de un inhibidor orgánico el cual será albumina de huevo; con el transcurso de las pruebas experimentales, se estudiará la influencia de algunos parámetros (Concentración de albumina y rugosidad) sobre el desempeño del inhibidor en la corrosión de la aleación, esto se hará a través de diferentes pruebas como ensayos electroquímicos, SEM y FTI-R (análisis infrarrojo).

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia de la albúmina de huevo, utilizada como agente inhibidor de la corrosión para la aleación de Ti6Al4V, en un medio fisiológico simulado.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar el comportamiento a la corrosión de la aleación de Ti6Al4V en un medio fisiológico simulado, con concentraciones de albumina de huevo de 0%, 0.60% y 1% v/v, variando la rugosidad del sustrato y estableciendo una temperatura de 37°C constante.
- Comparar con y sin la adición de albumina de huevo, las velocidades de corrosión de la aleación de Ti6Al4V en un medio fisiológico simulado, analizando la relación de la resistencia a la polarización con la velocidad de corrosión; y hallando esta última a través de las curvas de polarización potenciodinámica.
- Caracterizar la morfología de los depósitos de albumina de huevo, sobre el sustrato por medio de técnicas de microscopia electrónica de barrido y espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 BIOMATERIAL

Un biomaterial es una sustancia con propiedades y aplicaciones enfocadas a su uso e interacción con sistemas biológicos. Particularmente, un biomaterial es usado como sustituto de un órgano o alivio de un sistema afectado, debe asemejarse lo más posible al material el cual sustituirá y poseer la capacidad de desempeñarse de una manera natural en una bio-aplicación llamada biocompatibilidad con el medio. [2]

Los biomateriales deben cumplir con variados requerimientos físicos-químicos para que se desempeñen óptimamente en el medio, por lo tanto un solo material no abarca todas o la mayoría de las propiedades requeridas para implantes, por lo que generalmente son materiales compuestos, que a su vez pueden ser materiales naturales, sintéticos o modificados [21].

2.2 ALEACIÓN Ti-6AL-4V

La aleación Ti 6Al 4V o titanio grado 5 (según la norma ASTM B367), es una aleación de tipo α/β , es decir que tienen gran resistencia, además de que puede ser tratada térmicamente. Así mismo representa más del 50% de las aleaciones de titanio usadas actualmente. Esta aleación también puede adquirir diferentes tipos de microestructuras dependiendo del tratamiento termomecánico que se dé. Las más destacadas son la estructura equiaxial, la martensítica, la laminar y la bimodal. En la tabla 1 se presenta la composición de la aleación Ti 6Al 4V según normas internacionales [22].

Tabla 1. Composición de la aleación.

	Composición (Wt%)							
	Al	V	Fe	C	O	N	H	Ti
UNE-7301	5.5-6.50	3.5-4.50	0.25	0.08	0.08	0.05	0.01	Bal
ISO 5832-3	5.5-6.75	3.5-4.50	0.30	0.08	0.08	0.05	0.01	Bal
ASTM F136	5.5-6.50	3.5-4.50	0.25	0.08	0.08	0.05	0.01	Bal

Fuente: AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Standard Specification.

2.3 APLICACIONES BIOMÉDICAS

La utilidad de la aleación Ti6Al4V y las demás aleaciones de titanio como material biomédico radica, como se expuso anteriormente, en su alta resistencia a la corrosión en medios fisiológicos. [7]

La aleación Ti6Al4V está siendo utilizada actualmente en la fabricación de prótesis orales, prótesis articulares, también en piezas que hacen parte de válvulas cardíacas y componentes de marcapasos. Además se están elaborando tanto placas como clavos de osteosíntesis para la recuperación de fracturas en los huesos [6].

2.4 INHIBIDORES DE CORROSIÓN

Los inhibidores de corrosión son considerados uno de los métodos más universales, que en principio, pueden resolver la mayoría de los problemas que se presentan, especialmente si son de corrosión electroquímica.

Se utilizan en función de su naturaleza química, naturaleza electroquímica y de su carácter iónico. Por lo general, no se emplean solos sino como mezclas con otras sustancias químicas con diferentes propósitos, bien para completar su efectividad

anticorrosiva o para permitir ejercer su acción inhibidora, es por esto que cada inhibidor presenta estrechos campos de acción protectora que resultaría prácticamente imposible encontrar alguna sustancia que resulte efectiva para muchos sistemas [16].

Por lo tanto, la forma de actuar de los inhibidores de corrosión, es decir, el mecanismo de acción, puede variar dependiendo de la naturaleza del inhibidor, de sus propiedades químicas, de las características del metal y del medio corrosivo. Por esta razón los inhibidores pueden clasificarse desde muchos puntos de vista, aunque en buena medida existe una lógica interconexión entre las diferentes clasificaciones [4].

2.4.1 Tipos de inhibidores de corrosión, y sus mecanismos de acción

Los inhibidores de corrosión se clasifican en tres grupos: Pasivadores, Inhibidores en Fase Vapor e Inhibidores Fílmicos.

2.3.2.1 INHIBIDORES DEL TIPO PASIVADOR

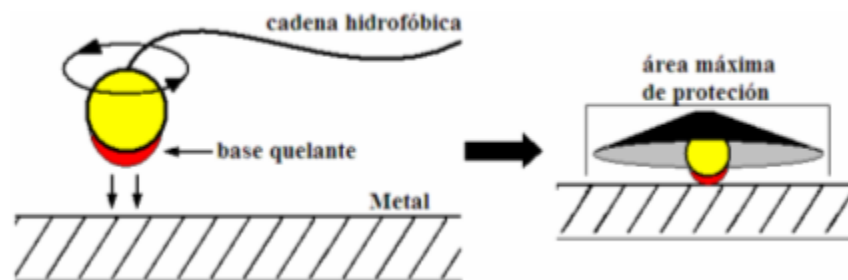
Por lo general estos inhibidores son especies inorgánicas (sales) como: cromatos, nitritos, molibdatos etc., que reaccionan electroquímicamente con la fase metálica a proteger, o los mismos productos de corrosión. En consecuencia las películas de corrosión formadas en presencia de este tipo de inhibidores, son de naturaleza semi-protectora, por una disminución en su carácter conductor de la corriente eléctrica; alargando la vida útil de las piezas tratadas. Adicionalmente se sabe que la presencia de estos inhibidores, generan cambios estequiométricos, cristalinidad y topográficos en las películas formadas.

2.3.2.2 INHIBIDORES DEL TIPO FÍLMICO

Estos inhibidores se tratan de especies meramente orgánicas, con dos características en particular. Primeramente se requiere que cuenten con grupos funcionales con altas densidades de carga negativa (N, aminas, S, OH, carbonilos,

anillos aromáticos etc.), que funcionen como grupo “quelante” que favorezca la adsorción del inhibidor sobre la superficie metálica. En segundo lugar, el cuerpo debe de estar constituido por un sustituyente hidrofóbico, que tenga suficiente movilidad para rotar sobre el grupo quelante; de esta forma, se genera una “sombriilla o capucha” que impide el contacto entre el medio corrosivo y la superficie metálica (Figura 1)

Figura 1. Esquema representativo de un inhibidor de corrosión del tipo fílmico.



Fuente: Dr. IGNACIO GONZÁLEZ M. Influencia de los inhibidores fílmicos en el mecanismo de corrosión del acero al carbono 1018, en presencia del medio amargo alcalino. Trabajo de grado de la Universidad Autónoma Metropolitana. Diciembre del 2007. Pag. 21.

Estos inhibidores se pueden utilizar de dos formas distintas; como medida contingente, o como pretratamiento en estructuras nuevas o recién limpiadas (sin corrosión); en este tipo de casos, preferentemente se utilizan inhibidores que puedan formar estructuras poliméricas

Un problema que se presenta con este tipo de especies (sin importar la manera como se usan), es la ausencia de una película de inhibidor, que aísle por completo la estructura, del medio corrosivo. Aunque un inhibidor del tipo imidzolina, con una masa molecular del orden de 200g/mol, podría cubrir un área aproximada de 10^{10} m²/mol (con un adsorción al 100%), existen cuatro factores que disminuyen su porcentaje de adsorción, y de protección contra la corrosión:

1. la afinidad de inhibidor por el medio corrosivo y los derivados del crudo.

2. La formación de micelas, por una mala dispersión del inhibidor.
3. La velocidad de flujo
4. La temperatura

2.3.2.3 INHIBIDORES EN FASE VAPOR

Estas especies se utilizan como pretratamientos en estructuras nuevas o que han recibido mantenimiento (remoción de productos de corrosión). En esencia, estas especies cuentan con las mismas características que los inhibidores fílmicos. La única diferencia que se observa con respecto a ellos, es la manera como se forman las películas: por evaporación natural, o por aerosoles. [5]

2.5 ALBÚMINA DE HUEVO

La albúmina es una sustancia orgánica nitrogenada, viscosa, soluble en agua, coagulable por el calor, contenida en la clara de huevo.

La albúmina de huevo se obtiene al separar mecánicamente la clara de la yema y posteriormente se efectúa un deshidratado de la clara, la cual proporciona proteínas sin elevar el nivel de colesterol, debido a que se encuentra separada de la yema (principal fuente de grasa), conteniendo la clara por si sola cerca de uno por ciento de grasa.

La clara, también conocida como albumen, tiene un 88 por ciento de agua y el resto está constituido básicamente por proteínas de la clara, siendo la principal la *ovoalbúmina*, que representa el 54 por ciento del total proteico. [13]

2.5.1 Ovoalbúmina

La ovoalbúmina es la principal proteína de la clara del huevo (60-65% de las proteínas totales). Pertenece a la superfamilia proteínica de las serpinas, aunque a diferencia de la mayoría de éstas la ovoalbúmina no es capaz de inhibir cualquier peptidasa. La función biológica de la ovoalbúmina es desconocida, aunque se presume que sea una reserva de proteínas para la cría del ave. Otros

autores señalan la capacidad que posee la ovoalbúmina de anular las enzimas digestivas y por esta razón señalan que es un mecanismo protector contra las bacterias exteriores agresoras al huevo. [11]

Características

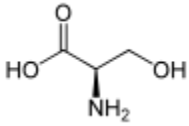
La proteína de la ovoalbúmina fue sintetizada de forma artificial por primera vez en el año 1890, siendo la primera de las proteínas cristalizadas en laboratorio. Su presencia es relativamente alta en la clara de huevo, por ejemplo 100 g de ovoalbúmina equivalen a 766 g de claras de huevo. Esta proteína (o grupo de moléculas proteicas estrechamente relacionadas) se desnaturaliza fácilmente al agitar la clara. Además es la proteína de mayor valor biológico ya que tiene muchos de los nueve aminoácidos esenciales. Es llamada fosfoglucoproteína integrada por tres fracciones, A1, A2 y A3, en una proporción de 85:12:3, respectivamente, que se diferencian por su contenido en fósforo. Es rica en cisteína y metionina y presenta grupos sulfhidrilos (es la única de las proteínas de huevo que posee esta característica) y se puede decir que la presencia de estos grupos sulfhidrilos hacen una gran contribución aparte del sabor, textura y aroma característicos del huevo. [11]

2.5.1.1 Cisteína

La cisteína (abreviada como Cys o C) es un α -aminoácido con la fórmula química HS-CH₂-CHNH₂-COOH. Se trata de un aminoácido no esencial, lo que significa que puede ser sintetizado por los humanos. Los codones que codifican a la cisteína son UGU y UGC. La parte de la cadena donde se encuentra la cisteína es el tiol que es no polar y por esto la cisteína se clasifica normalmente como un aminoácido hidrofílico. La parte tiol de la cadena suele participar en reacciones enzimáticas, actuando como nucleófilo. El tiol es susceptible a la oxidación para dar lugar a puentes disulfuros derivados de las cisteína que tienen un importante papel estructural en muchas proteínas. La cisteína también es llamada cistina,

pero esta última se trata de un dímero de dos cisteínas a través de un puente disulfuro. [17]

Figura 2. Formula estructural de la Cisteína.

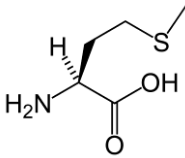


Fuente: Paul M. Dewick (2009). *Medicinal natural products: a biosynthetic approach*. John Wiley and Sons

2.5.1.2 Metionina

La metionina (abreviada como Met o M) es un aminoácido con la fórmula química HO₂CCH(NH₂)CH₂CH₂SCH₃. Este aminoácido esencial está clasificado como no polar. [23]

Figura 3. Formula estructural de la Metionina.

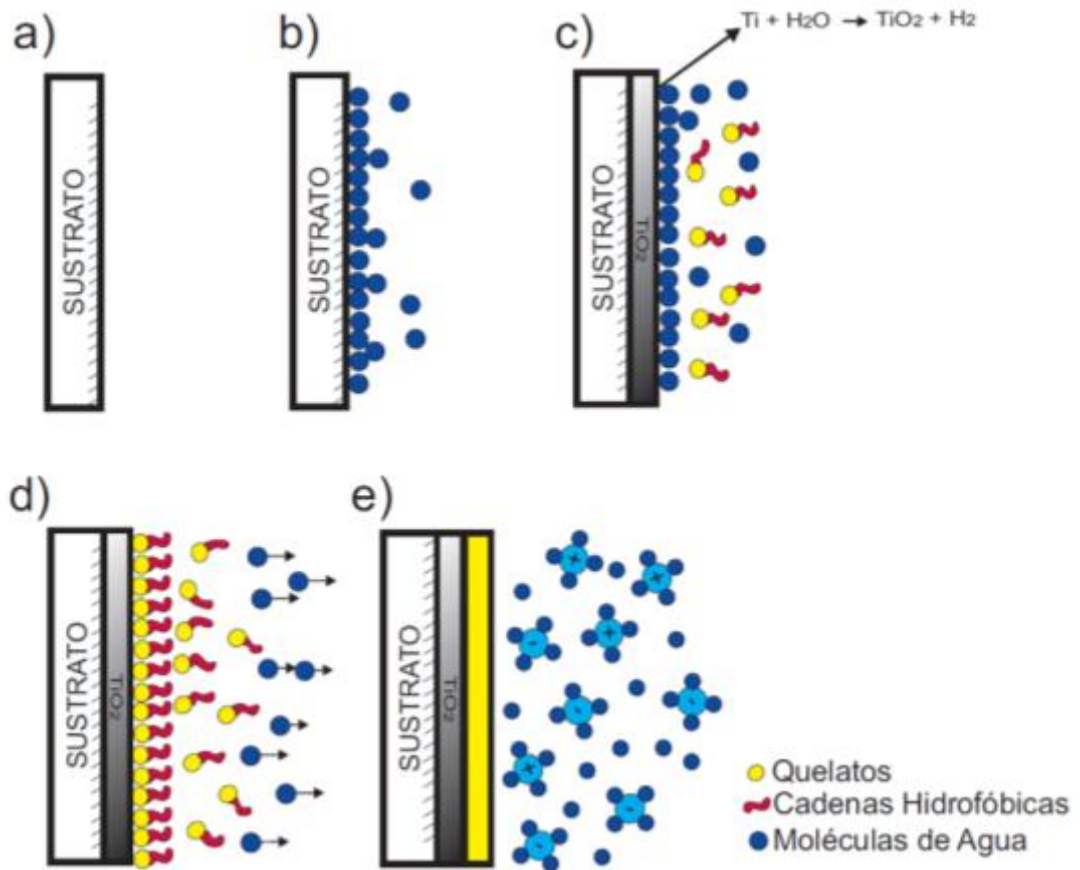


Fuente: Paul M. Dewick (2009). *Medicinal natural products: a biosynthetic approach*. John Wiley and Sons

2.6 MECANISMO DE ACCIÓN DEL INHIBIDOR

El proceso de inhibición del compuesto, ha sido resumido en la figura 4, en una serie de eventos que ocurren al colocar el sustrato metálico en un medio fisiológico simulado con cierta concentración de albumina de huevo.

Figura 4. Representación de los fenómenos de adsorción que controlan el mecanismo de inhibición de la albumina de huevo sobre el sustrato



Fuente: Autores.

En la figura 4 se observa la siguiente secuencia de eventos:

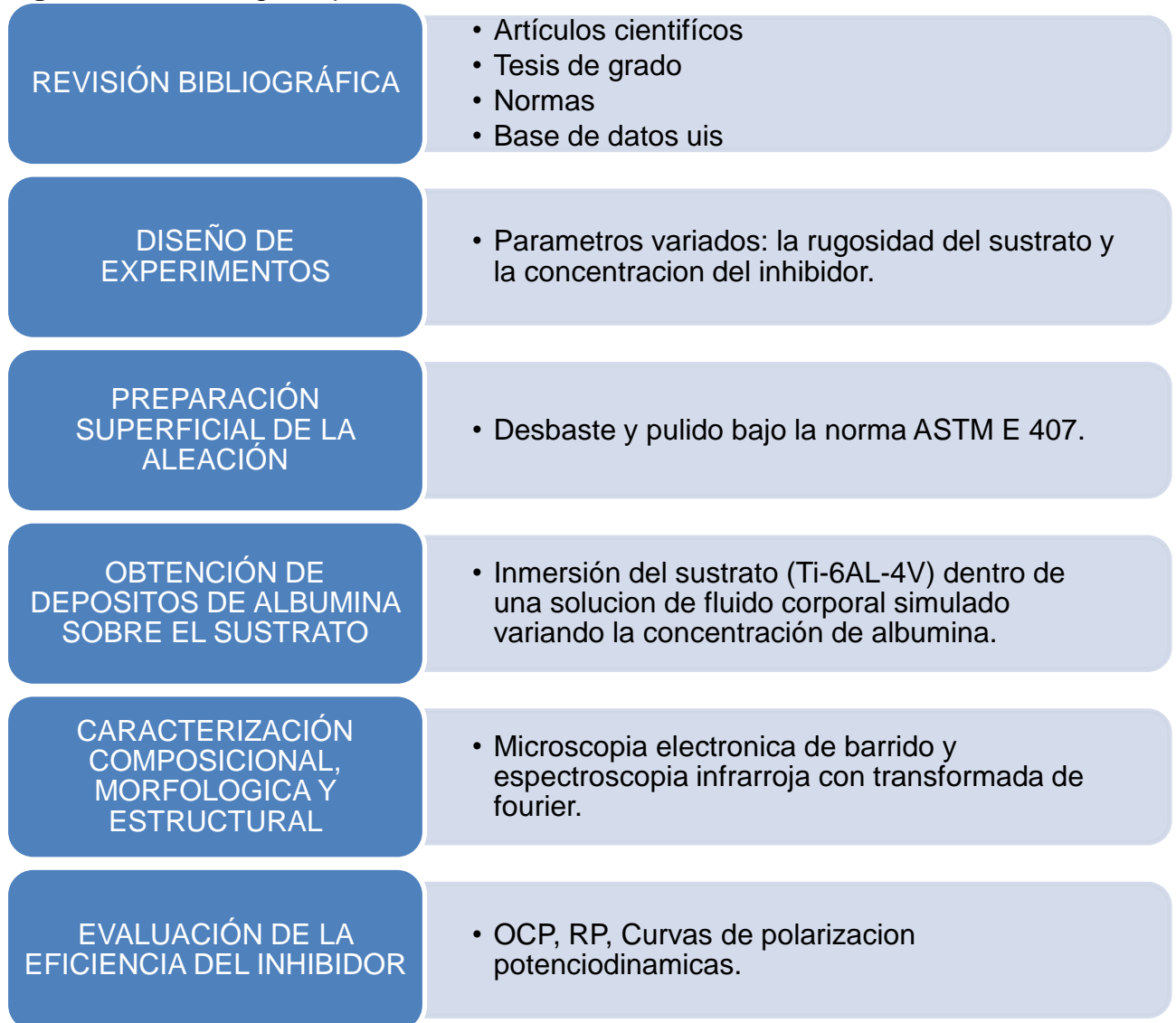
- Sustrato sin inmersión.
- Una vez inmerso, las primeras biomoléculas que alcanzan la superficie son las moléculas de agua, lo cual ocurre en nanosegundos.

- (c) Posteriormente, se forma sobre la superficie del sustrato una capa de óxido de titanio, debido a la interacción del agua con la superficie de la aleación.
- (d) Un poco tiempo después los grupos quelates se acercan a la superficie donde se adsorben, siguiendo la concentración relativa de albumina de huevo en la solución y la rugosidad del sustrato. Por otra parte la cadena hidrocarbonada (cadena hidrofóbica) desplazan hacia el medio circundante las moléculas de agua que se encuentran adheridas sobre la superficie de la capa de óxido de titanio.
- (e) Por último se forma una capa de albumina de huevo sobre la superficie del sustrato, la cual me impide el contacto del medio circundante con la superficie metálica.

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La ejecución del presente proyecto se realizó de acuerdo a la siguiente secuencia de pasos, los cuales son descritos en la figura.

Figura 5. Metodología experimental



Fuente: Autores.

3.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se hizo una búsqueda de información con respecto a la implementación de inhibidores orgánicos y el efecto que tiene la rugosidad sobre la deposición de estos, en una superficie metálica (sobre todo en la aleación de Ti-6Al-4V).

La investigación se realizó en tesis de grado, artículos científicos, libros, normas y haciendo uso de la base de datos de la UIS. Estos se pueden consultar en la bibliografía expuesta al final de este trabajo.

3.2 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Tabla 2. Diseño de experimentos.

Prueba	Rugosidad (Papel de carburo de silicio y paños)	Concentración de albumina de huevo (%v/v)
P1	1200	0
P2	1200	0,60
P3	1200	1
P4	1500	0
P5	1500	0,60
P6	1500	1
P7	Paños (alúmina de 3 μ m)	0
P8	Paños (alúmina de 3 μ m)	0,60
P9	Paños (alúmina de 3 μ m)	1
P10	1500	0
P11	1500	0,60
P12	1500	1

Fuente: Autores.

Los parámetros que se variaron en este trabajo fueron la rugosidad del sustrato (Ti-6Al-4V) y la concentración de albúmina de huevo en un medio fisiológico simulado. Se desarrolló un diseño de experimentos basado en la revisión bibliográfica y se analizaron dos variables y tres parámetros, como se puede observar en la tabla 2.

3.3 PREPARACIÓN SUPERFICIAL DE LA ALEACIÓN

Se utilizaron probetas de 3 mm de espesor y 14 mm de diámetro (cortadas y maquinadas). Se realizó un desbaste con papel de carburo de silicio (SiC) No 220, 320, 360, 400, 600, 1000 y 1200 para las respectivas probetas con esta rugosidad. Bajo las mismas condiciones anteriores se realizó el mismo procedimiento, pero en comparación con la condición anterior, se llegó hasta el papel de carburo de silicio No. 1500 para las muestras con esta rugosidad, y por último a diferencia de las dos procedimientos anteriores, las respectivas probetas se desbastaron hasta el papel de carburo de silicio No 1500 y luego se pulieron con alúmina de 3 μm hasta conseguir una superficie espejo, para las probetas con rugosidad inducida hasta paños.

Con el fin de revelar la microestructura de la aleación Ti-6Al-4V, se le realizó el respectivo desbaste y pulido a una de las muestras, la cual fue atacada con una solución Kroll y observada por medio de un Microscopio Óptico OLYMPUS GX71 del Laboratorio de Metalografía de la UIS. Los procedimientos anteriores se realizaron bajo las especificaciones de la norma ASTM E407. Como último paso, se le realizó un baño ultrasónico de 10 minutos con etanol, a cada probeta a ensayar con el fin de eliminar posibles contaminantes.

3.4 OBTENCIÓN DE DEPOSITOS DE ALBÚMINA SOBRE EL SUSTRATO

El proceso de deposición fue realizado mediante el mecanismo de inmersión, el cual se realizó de la siguiente forma:

- Inmersión: las muestras de Ti-6Al-4V se introdujeron dentro de la solución de albúmina de huevo (soluto) con fluido corporal simulado (solvente).
- Tiempo: el sustrato permaneció en la solución por un lapso de tiempo de 2 horas.
- Deposición: capas delgadas de albumina de huevo se depositaron en las muestras inmersas en soluciones de 0.60% v/v, mientras que capas más gruesas del inhibidor se depositaron en las muestras inmersas en soluciones de 1% v/v.
- Drenado: el exceso de líquido se hace drenar de la superficie.
- Evaporación: el solvente (fluido corporal simulado) se evapora, y se formaron las respectivas capas de albumina en la superficie de las muestras.

3.5 CARACTERIZACIÓN COMPOSICIONAL, MORFOLÓGICA Y ESTRUCTURAL.

Se llevó a cabo el análisis de las muestras con y sin inhibidor, mediante microscopia electrónica de barrido, con el fin de conocer la morfología y la composición elemental de la capa de albúmina formada en la superficie. También se realizó un análisis mediante la técnica de Espectroscopia Infrarroja por transformada de Fourier para verificar los compuestos formados en la película de albúmina. Los detalles de cada uno de los equipos se encuentran en el anexo B.

3.6 EVALUACION DE LA EFICIENCIA DEL INHIBIDOR

Para dicha evaluación se realizaron pruebas electroquímicas. Se midió en cada muestra el potencial a circuito abierto, la resistencia a la polarización y por último se trazaron curvas de polarización potenciodinámicas en ellas. Dichas mediciones se ejecutaron con la ayuda del Potenciostato Galvanostato marca Gamry 600.

Con el fin de efectuar cada una de las pruebas mencionadas anteriormente, se empleó una celda plana, compuesta de tres electrodos: un electrodo de trabajo

(muestra Ti-6Al-4V), un contraelectrodo de grafito y un electrodo de referencia de plata cloruro de plata (Ag/AgCl). El área de exposición de la muestra fue de 0,7854 cm² y la temperatura fue aproximadamente de 37 °C. El respectivo montaje se muestra en la figura 6

Figura 6: Celda utilizada para la realización de pruebas electroquímicas.



Fuente: autores

Las condiciones experimentales empleadas se describen en la tabla 3.

Tabla 3. Técnicas electroquímicas con las características de medición.

Prueba electroquímica	Características
OCP	Se traza la curva de OCP estableciendo un tiempo de 3600 s para que se establezca el potencial.
Resistencia a la polarización	Se traza la curva de resistencia a la polarización barriendo el potencial del electrodo a una velocidad de 0.166 mV/s en un intervalo de potencial comprendido entre -0.03 V hasta 0.03 V
Polarización potenciodinámica	Se traza la curva de polarización potenciodinámica barriendo el potencial de electrodo a una velocidad de 1mV/s, en el intervalo de potencial comprendido entre -1V vs OCP hasta 2V vs OCP.

Fuente: Autores

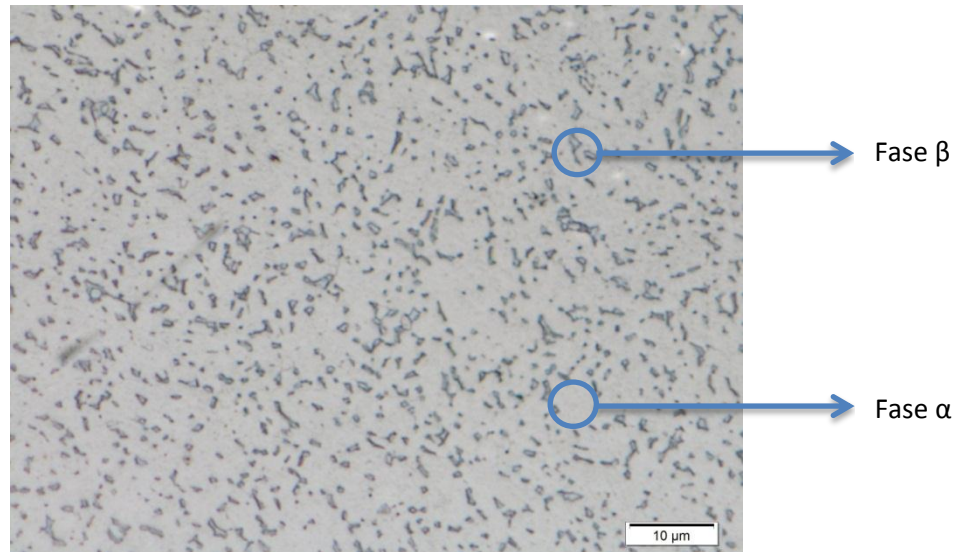
De estos ensayos se obtuvieron los parámetros electroquímicos más importantes, tales como resistencia a la polarización (R_p), velocidad de corrosión (V_{corr}) y densidad de corriente de corrosión (I_{corr}).

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS

La figura 7 muestra la microestructura de la aleación Ti-6Al-4V. En ella se observa la fase beta (color oscuro) que es rica en Vanadio, contenida en una matriz de fase alfa (color claro) que es rica en Aluminio. Esta estructura bifásica es la que le proporciona buenas propiedades mecánicas a la aleación, que le permite ser utilizada como biomaterial [10].

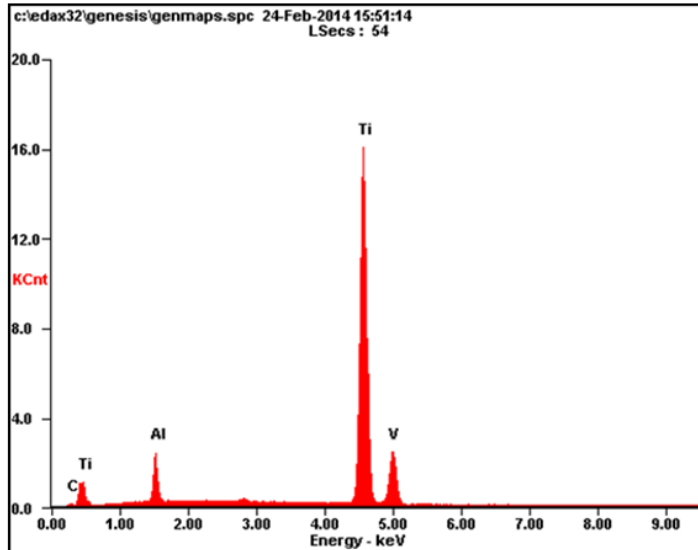
Figura 7. Micrografía de la aleación Ti6Al4V a 2000X.



FUENTE: Autores

Se realizó conjuntamente un análisis de Espectroscopia de Energía Dispersa (EDS) con el cual se pudo identificar y cuantificar la composición elemental de la aleación Ti-6Al-4V.

Figura 8. Espectro EDS de la aleación Ti-6Al-4V



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	00.85	03.14
<i>AlK</i>	07.52	12.33
<i>TiK</i>	89.67	82.83
<i>VK</i>	01.96	01.70
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

Fuente: Universidad Industrial de Santander, laboratorio de SEM, equipo Microscopio Electrónico de Barrido Quanta FEG 650

4.2 DEPOSICIÓN DEL INHIBIDOR

4.2.1 Caracterización morfológica, composicional y estructural.

Como se mencionó en el ítem 3.4 la deposición de albúmina, se realizó mediante un mecanismo de inmersión. Se efectuó un análisis composicional, morfológico y estructural de las capas formadas, las cuales presentaban una coloración amarillenta. Dicho análisis se hizo mediante la técnica de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) y Espectroscopia infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR), las cuales se describe a continuación.

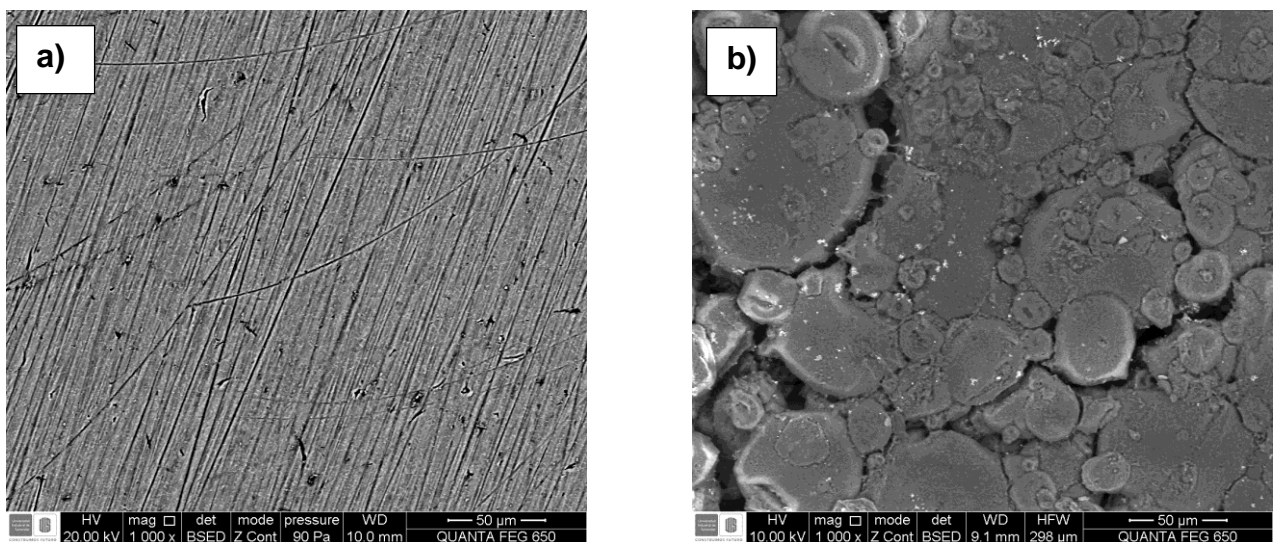
4.2.1.1. Microscopía electrónica de barrido y espectroscopia de energía dispersa.

En la figura 9 se muestran las micrografías obtenidas mediante la técnica de microscopía electrónica de barrido del sustrato con y sin inhibidor, para 1000x aumentos, en la cual se puede apreciar la morfología de la película de albumina adherida al sustrato con rugosidad de 1500.

Es posible observar en la figura 6a, que antes de agregar la albúmina al sustrato la superficie de esta presentaba líneas con hendiduras paralelas a lo largo de la superficie. Estas ranuras, se deben al desbaste metalográfico realizado. La profundidad de dichas hendiduras es de suma importancia para la deposición del inhibidor orgánico sobre la aleación.

Con la deposición del inhibidor en la superficie se puede apreciar aglomerados equiaxiales de albumina.

Figura 9. Microscopia electrónica de barrido del sistema con rugosidad inducida hasta el papel de carburo de silicio número 1500 con (a) 0%v/v de albumina de huevo y (b) 1% v/v de albumina de huevo.



Fuente: Universidad Industrial de Santander, laboratorio de SEM, equipo Microscopio Electrónico de Barrido Quanta FEG 650.

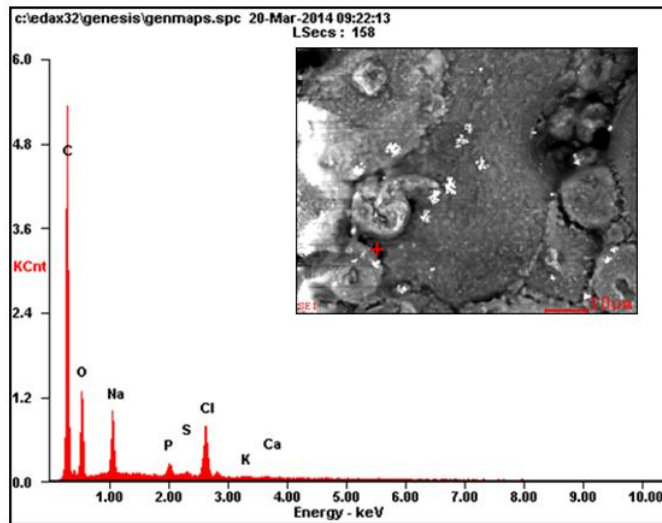
En la figura 6b, se puede observar la capa de albúmina de huevo sobre el sustrato. Al observar dicha figura, se aprecia una superficie parcialmente recubierta debido a la generación de grietas en la película de albúmina.

Adicionalmente se realizó un análisis puntual en el espacio generado por una de las tantas grietas, encontradas en la superficie del inhibidor y en dicha ubicación el análisis por EDS arrojó la presencia de elementos tales como C, O y S los cuales están presentes en la composición química de los aminoácidos constituyentes de

la ovoalbúmina (figura 10a). Otro análisis puntual se realizó sobre uno los pequeños puntos de color blanco que se observan sobre la superficie del inhibidor. El análisis por EDS en esta zona nos muestra elementos tales como el Ca, K, Cl, P y Na (figura 10b), los cuales provienen del precipitado generado por el fluido fisiológico simulado cuya composición se puede apreciar en el anexo C. Por último se realizó, otro análisis puntual en la superficie homogénea del inhibidor, indicando la presencia de elementos tales como C, N, O y S (figura 10c) los cuales hacen parte de la composición química de la cisteína y metionina (principales aminoácidos de la ovoalbúmina)

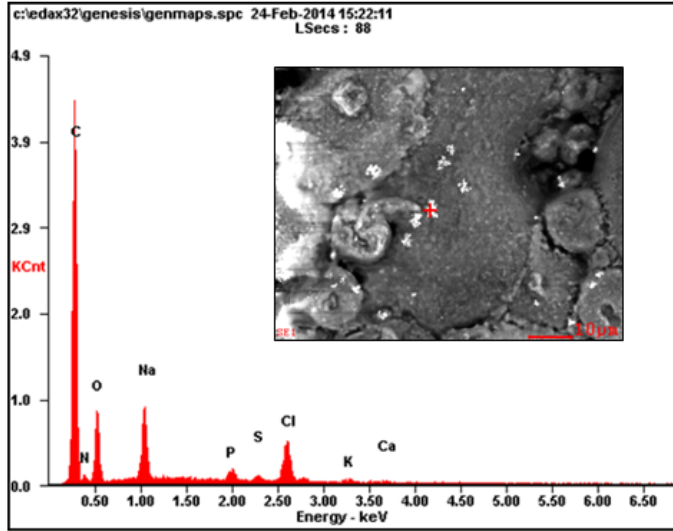
Figura 10. Espectro EDS de la capa con concentración de 1% v/v de albumina de huevo sobre el sustrato con rugosidad de 1500 en: a) El espacio generado por una de las tantas grietas encontradas en la superficie. b) Uno de los pequeños puntos encontrados sobre la superficie. c) la zona homogénea de la capa de albumina.

a)



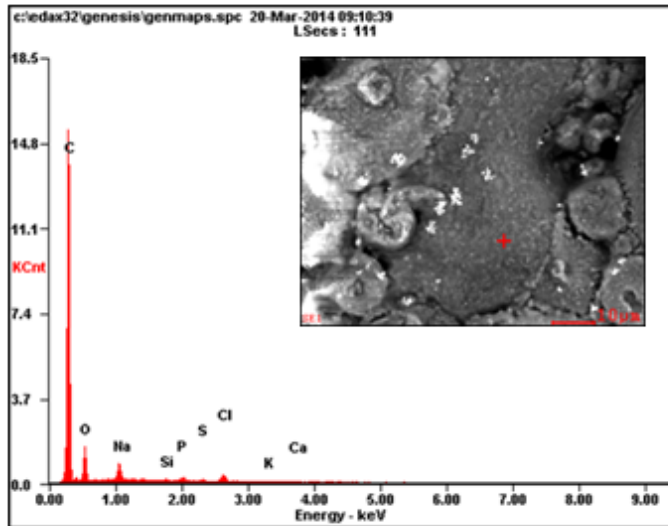
<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	61.94	75.17
<i>OK</i>	15.21	13.86
<i>NaK</i>	06.66	04.22
<i>PK</i>	02.01	00.94
<i>SK</i>	00.73	00.33
<i>ClK</i>	12.08	04.97
<i>KK</i>	00.65	00.24
<i>CaK</i>	00.73	00.27
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

b)



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	61.03	73.53
<i>NK</i>	03.53	03.65
<i>OK</i>	13.42	12.14
<i>NaK</i>	07.40	04.66
<i>PK</i>	01.75	00.82
<i>SK</i>	00.87	00.39
<i>ClK</i>	10.00	04.08
<i>KK</i>	01.34	00.49
<i>CaK</i>	00.65	00.24
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

c)



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	77.35	85.03
<i>OK</i>	12.71	10.49
<i>NaK</i>	03.45	01.98
<i>SiK</i>	00.32	00.15
<i>PK</i>	01.19	00.51
<i>SK</i>	00.58	00.24
<i>ClK</i>	03.38	01.26
<i>KK</i>	00.58	00.19
<i>CaK</i>	00.43	00.14
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

Fuente: Universidad Industrial de Santander, laboratorio de SEM, equipo Microscopio Electrónico de Barrido Quanta FEG 650

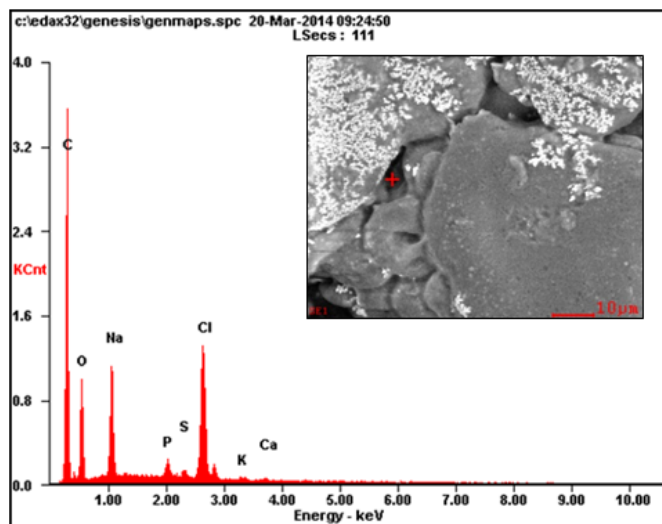
En los espectros mostrados en la figura 10, no se notó la presencia de los elementos constituyentes del sustrato (Ti, Al y V), por lo tanto la capa de albúmina depositada en la superficie de la aleación, posee un espesor que no permite la detección de dichos elementos.

El alto contenido de carbono y oxígeno en cada uno de los espectros, se debe a los grupos carbonilos (-CO) e hidroxilos (OH). En la figura 10b se muestra un pequeño pico de nitrógeno el cual puede ser atribuido al grupo funcional amino (-NH₂).

Por otra parte se realizó el análisis puntual por espectroscopia de energía dispersa a la muestras con rugosidades inducidas hasta el papel de carburo de silicio número 1200 (figura 11). Las zonas analizadas fueron las mismas en comparación a la muestra anterior.

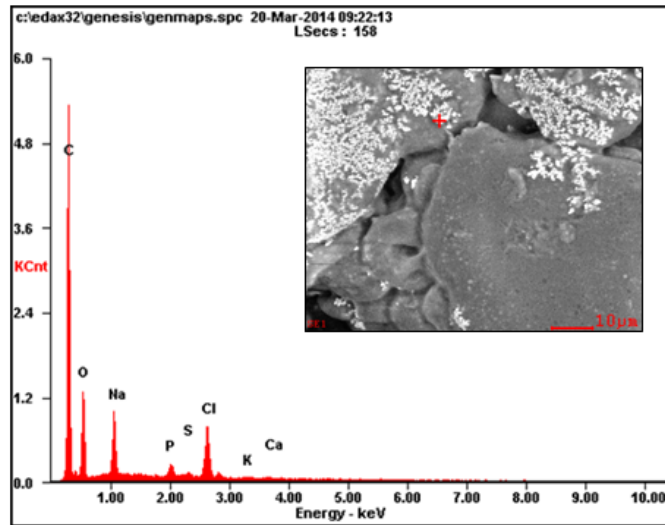
Figura 11. Espectro EDS de la capa formada sobre el sustrato con rugosidad de 1200 y concentración de 1% v/v de albumina de huevo en: a) El espacio generado por una de las tantas grietas encontradas en la superficie. b) Uno de los pequeños puntos encontrados sobre la superficie. c) La zona homogénea de la capa de albúmina.

a)



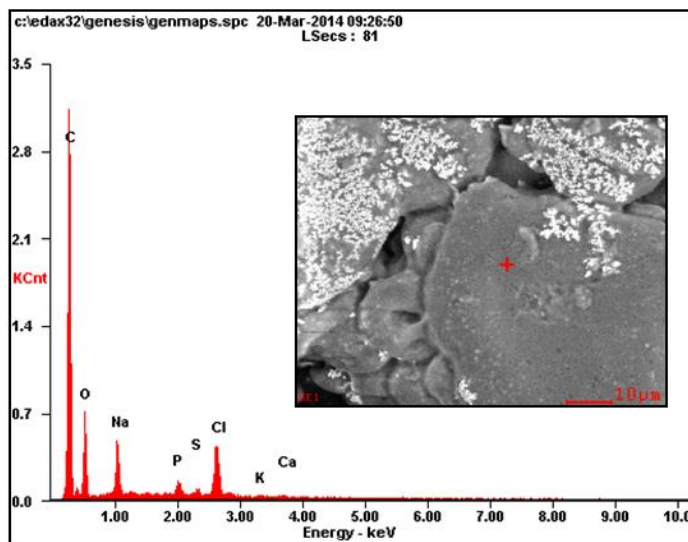
<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	61.94	75.17
<i>OK</i>	15.21	13.86
<i>NaK</i>	06.66	04.22
<i>PK</i>	02.01	00.94
<i>SK</i>	00.73	00.33
<i>ClK</i>	12.08	04.97
<i>KK</i>	00.65	00.24
<i>CaK</i>	00.73	00.27
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

b)



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	55.90	72.76
<i>OK</i>	11.06	10.81
<i>NaK</i>	07.43	05.05
<i>PK</i>	01.79	00.90
<i>SK</i>	01.07	00.52
<i>ClK</i>	21.08	09.30
<i>KK</i>	00.80	00.32
<i>CaK</i>	00.88	00.34
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

c)



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	63.70	76.78
<i>OK</i>	15.42	13.04
<i>NaK</i>	05.10	03.21
<i>PK</i>	02.29	01.07
<i>SK</i>	01.12	00.50
<i>ClK</i>	11.76	04.80
<i>KK</i>	00.71	00.26
<i>CaK</i>	00.91	00.33
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

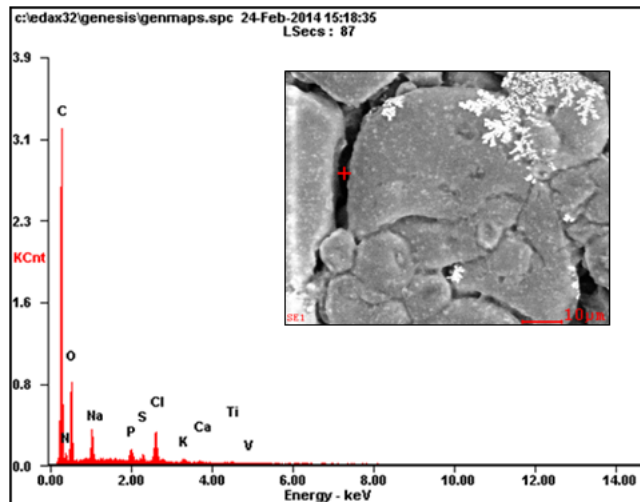
Fuente: Universidad Industrial de Santander, laboratorio de SEM, equipo Microscopio Electrónico de Barrido Quanta FEG 650

En cada uno de los espectros mostrados en la figura 11, no se observa la presencia de elementos como Ti, el Al y el V al igual que en los espectros de la figura 10, lo cual se debe al espesor de la capa de albumina, como se explicó anteriormente.

En la figura 11a dentro de la composición elemental arrojada por el espectro en ese punto, se aprecia la presencia de elementos tales como C, O y S presentes en la formula estructural de la cisteína y metionina. Para la figura 11b, el análisis puntual se hizo en uno de los pequeños puntos blancos, los cuales juntos, poseen una morfología dendrítica. Estos puntos como se dijo anteriormente corresponden a precipitados de los compuestos del medio fisiológico simulado, ya que elementos como el Na, Cl y Ca son presenciados. En la figura 11c al igual que la figura 11a, elementos como el carbono, azufre y oxígeno fueron determinados, pero en mayores cantidades, lo cual es razonable, ya que la zona analizada corresponde a la superficie homogénea de la película del inhibidor, mientras que el análisis en la figura 11a se realizó en una de las grietas presentes en la capa del inhibidor. Por último se realizó un análisis puntual por EDS a la muestras con rugosidades inducidas hasta paños, inmersas en un medio fisiológico simulado con concentraciones de 1% v/v de inhibidor (figura 12).

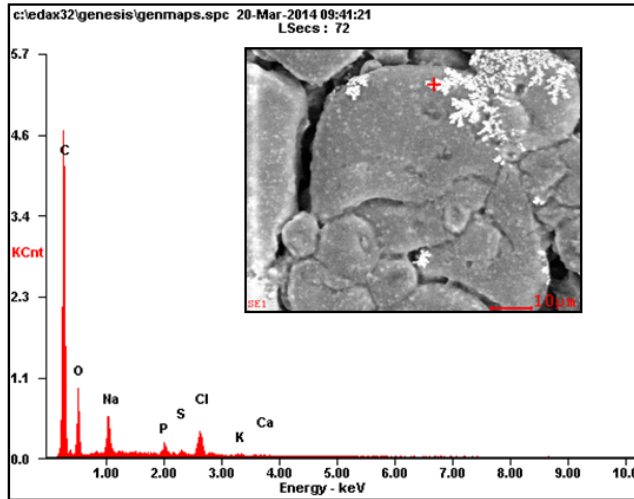
Figura 12. Espectro EDS de la capa formada sobre el sustrato con rugosidad inducida hasta paños (alúmina de 3µm) y concentración de 1%v/v de albumina de huevo en: a) El espacio generado por una de las tantas grietas encontradas en la superficie. b) Uno de los pequeños puntos encontrados sobre la superficie. c) La zona homogénea de la capa de albumina.

a)



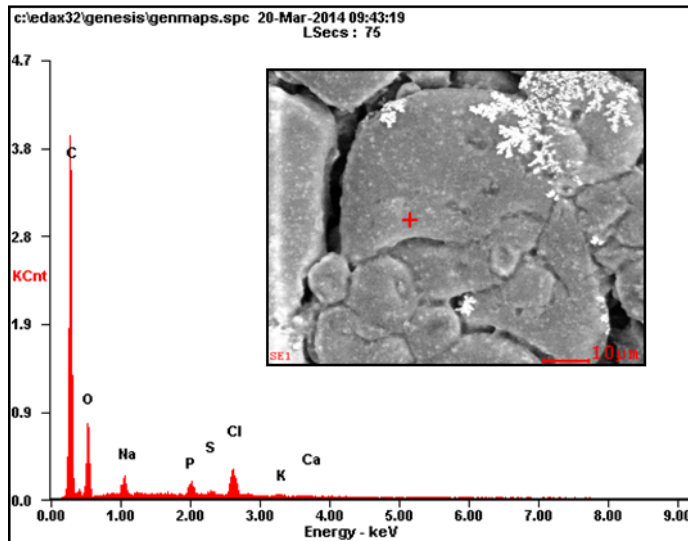
<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	59.52	71.47
<i>NK</i>	04.47	04.60
<i>OK</i>	17.53	15.81
<i>NaK</i>	03.45	02.17
<i>PK</i>	02.13	00.99
<i>SK</i>	01.00	00.45
<i>ClK</i>	07.80	03.17
<i>KK</i>	01.18	00.43
<i>CaK</i>	00.84	00.30
<i>TiK</i>	01.01	00.31
<i>VK</i>	01.06	00.30
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

b)



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	66.43	78.00
<i>OK</i>	15.10	13.31
<i>NaK</i>	05.77	03.54
<i>PK</i>	02.14	00.97
<i>SK</i>	00.93	00.41
<i>ClK</i>	08.03	03.19
<i>KK</i>	00.93	00.34
<i>CaK</i>	00.67	00.23
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

c)



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	67.51	78.81
<i>OK</i>	15.93	13.96
<i>NaK</i>	02.53	01.54
<i>PK</i>	02.70	01.22
<i>SK</i>	01.12	00.49
<i>ClK</i>	08.56	03.39
<i>KK</i>	00.82	00.29
<i>CaK</i>	00.82	00.29
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

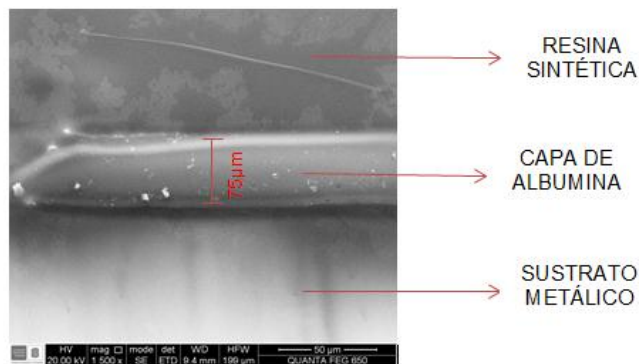
Fuente: Universidad Industrial de Santander, laboratorio de SEM, equipo Microscopio Electrónico de Barrido Quanta FEG 650.

Para el espectro mostrado en la figura 12a se puede observar la presencia de Ti y V. Esto se debe posiblemente a la degradación de la capa de albumina en ese punto, el cual está situado en una grieta. También, probablemente en dicho punto el inhibidor no tuvo la suficiente coordinación con el metal por lo que en esta zona

hay una interacción de la aleación con el medio circundante, lo que puede generar un proceso de corrosión del tipo localizada.

La vista de la sección longitudinal mostrada en la figura 13, revela claramente la presencia de una capa homogénea de albúmina de huevo sobre el sustrato.

Figura 13. Microscopia Electrónica de Barrido de la sección longitudinal del sustrato desbastado hasta el papel de carburo de silicio No 1500 e inmerso en un medio fisiológico simulado con 1% v/v de albumina de huevo.

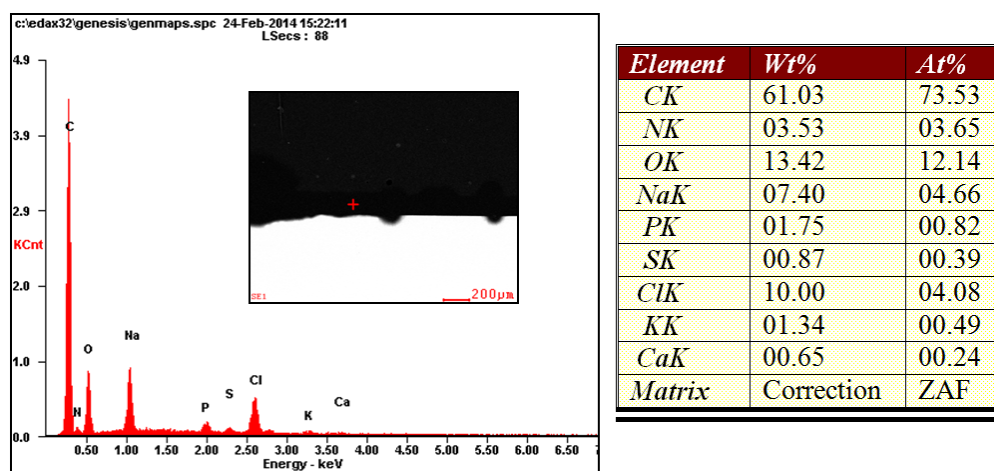


Fuente: Autores.

Se observan pequeños puntos blancos, los cuales probablemente corresponden a precipitados de iones solvatados de los compuestos que conforman el medio fisiológico simulado. En la capa superior, se puede apreciar, la presencia de pequeños parches oscuros en una matriz blanca. Dicha capa corresponde a la resina sintética utilizada para realizar un mejor desbaste y pulido de la sección longitudinal de la muestra, la cual corresponde, a aquella que presenta una rugosidad inducida con papel de carburo de silicio 1500 y una concentración de 1% v/v de albumina de huevo. En la parte inferior se observa el sustrato que corresponde a la aleación de Ti6Al4V. El espesor de la capa de albúmina es de aproximadamente 75 μm , lo cual genera una película bastante apreciable para alterar la cinética de los procesos catódicos y anódicos del sustrato. Un análisis por espectroscopia de energía dispersa, revela la presencia de los elementos

como el N, O, S y C, los cuales hacen parte de composición química de la ovoalbúmina. Este espectro es mostrado en la figura 14.

Figura 14. Espectro EDS en la sección longitudinal de la capa formada sobre el sustrato con rugosidad de 1500 y concentración de 1% v/v de albumina de huevo.

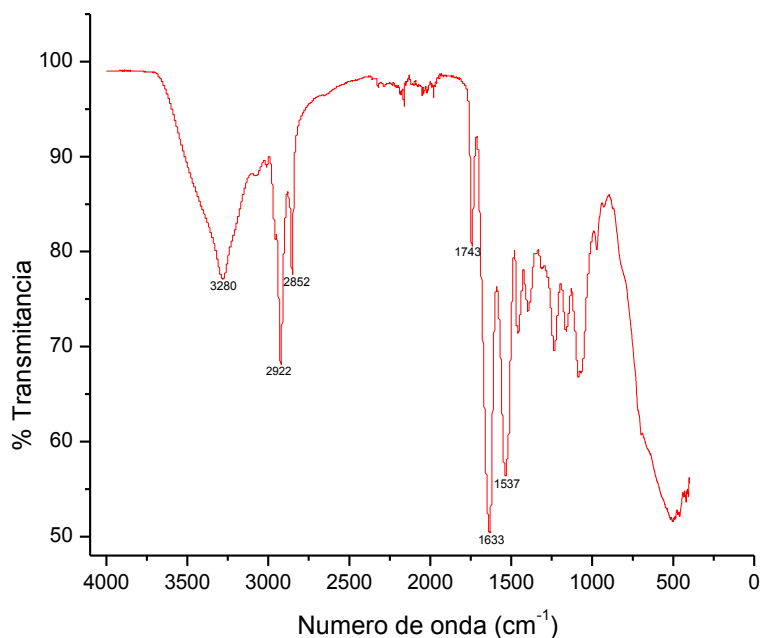


4.2.1.2 Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier

En la figura 15 se presenta el espectro obtenido, donde se muestran las diferentes bandas de absorción del espectro infrarrojo de la albumina de huevo.

La banda correspondiente a la frecuencia de 3280 cm^{-1} , se origina por la vibración de tensión simétrica de los grupos aminos secundarios (NH_2), los cuales sirven como unión, de las cadenas de aminoácidos que constituyen la ovoalbúmina. El hecho de que sea solamente una banda y no dos como en el caso de la metionina (ver anexo E), quiere decir que la amina correspondiente a esa frecuencia, pertenece a una amina secundaria y no a una primaria como en el caso de esta última. La forma ancha de la banda quiere decir que en esa misma frecuencia, se encuentra solapado otro pico, el cual es el correspondiente a las vibraciones de tensión simétrica de los grupos hidroxilos (OH). Por otra parte la banda ubicada en la frecuencia 1633 cm^{-1} es generada por las vibraciones de tensión asimétrica del grupo carbonilo ($\text{C}=\text{O}$), el cual es uno de los principales constituyentes de las moléculas proteicas.

Figura 15. Espectro FT-IR de la albumina de huevo con concentración 1%v/v depositada sobre el sustrato.



Fuente: Autores.

Las bandas ubicadas con frecuencias de 2922 cm^{-1} y 2852.71 cm^{-1} , pertenecen a las vibraciones de tensión asimétricas y simétricas de los grupos metilos (CH_3) y metileno (CH_2) respectivamente. Estos grupos constituyen las largas cadenas de los distintos aminoácidos que componen la molécula.

En la frecuencia de 1537 cm^{-1} se ubica la banda generada por las vibraciones de flexión asimétricas de las aminas secundarias las cuales permiten la unión de las moléculas de aminoácidos. El pico ubicado en la frecuencia de 1743.18 cm^{-1} se origina por las vibraciones de tensión simétricas de los grupos carbonilos hidroxilados, característicos de la metionina y la cisteína.

El rango de bandas comprendido entre las frecuencias de 2000 cm^{-1} y 2200 cm^{-1} , pertenecen a las vibraciones de los anillos aromáticos que se encuentran dentro

de la molécula proteica. Por la forma de estas bandas, se puede decir que estos anillos son ortosustituidos y parasustituidos. A esta zona del espectro, se le denomina sobretonos.

4.3 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL INHIBIDOR

En esta sección se muestran los resultados de la evaluación de la eficiencia de inhibición, para el sistema, en ausencia y presencia del compuesto orgánico.

Con el fin de realizar un estudio de la corrosión superficial de la aleación (Ti6Al4V), con depósitos de albúmina de huevo sobre esta, mediante un mecanismo de inmersión, se llevaron a cabo pruebas electroquímicas, tales como: Potencial a Circuito Abierto (OCP), Resistencia a la Polarización (Rp) y medidas de Polarización Potenciodinámicas. Las pruebas se realizaron en un Potenciostato Galvanostato de marca GAMRY 600, el cual se encuentra ubicado en el grupo de investigación de corrosión (GIC), en el parque tecnológico de Guatiguará (sede la UIS). Para la preparación del fluido corporal simulado, se contó con la ayuda de un artículo científico propuesto por Kokubo, el cual es expuesto en el anexo c. Por medio de este fluido fisiológico simulado se prepararon soluciones con concentraciones de albúmina de huevo de 0%, 0.60% v/v y 1% v/v.

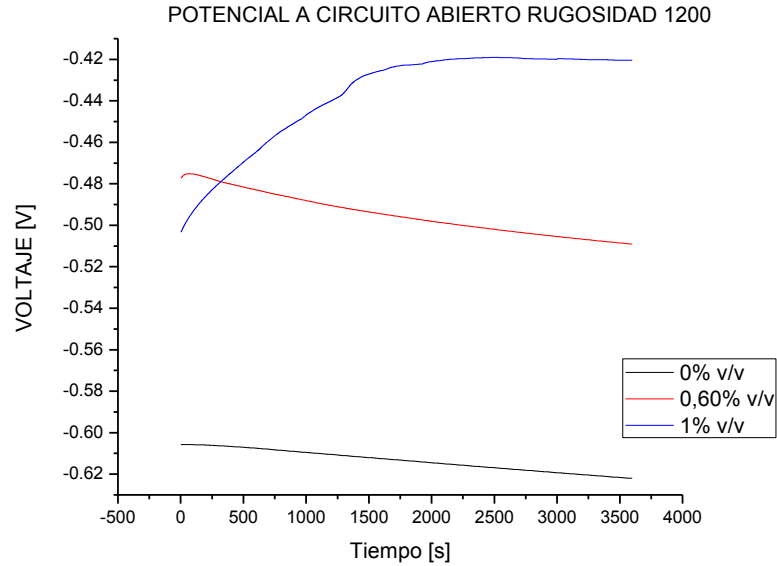
4.3.1 Potencial a circuito abierto

La figura 16, muestra el potencial de circuito abierto para el sistema con rugosidad inducida hasta el papel de carburo de silicio número 1200. La inspección de estas curvas muestra que hay una tendencia general del potencial a circuito abierto hacia valores más nobles indicando el efecto benéfico que tiene la realización de la modificación superficial por parte del inhibidor sobre el sustrato.

Cada potencial medido (tabla 4) se ubicó en diagrama de Pourbaix a 37° (ver anexo D) y gracias al pH del medio fisiológico con y sin inhibidor (7.42 y 8.4

respectivamente) se comprobó la presencia de la capa pasiva compuesta de TiO_2 en cada uno de los sustratos.

Figuras 16. Potencial de a circuito abierto de la aleación de Ti-6Al-4V con desbaste del sustrato hasta el papel de carburo de silicio No 1200.



Fuente: Autores.

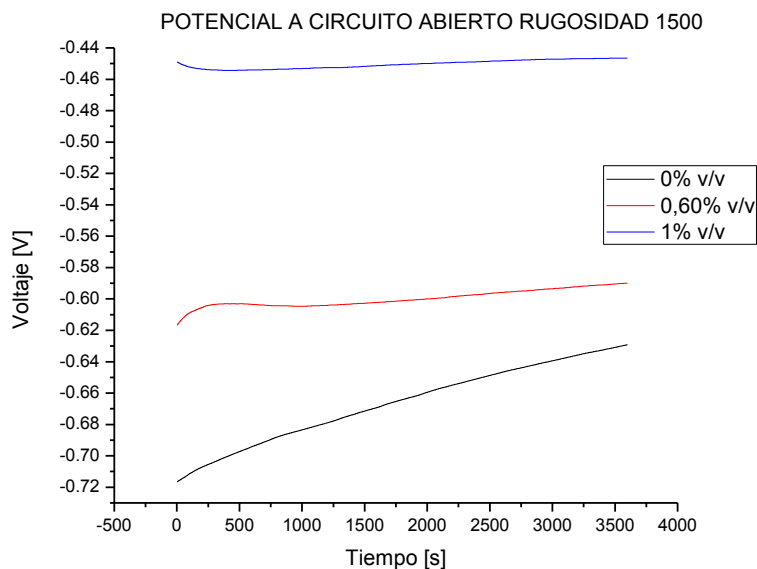
Tabla 4. Valores de potencial de circuito abierto para el sustrato con rugosidad inducida hasta el papel de carburo de silicio número 1200.

Sustrato	Concentración del inhibidor	E_{CA} [V] vs Ag/AgCl	E_{CA} [V] vs EEH
1200	0% v/v	-0.62	-0.83
	0.60% v/v	-0.51	-0.72
	1% v/v	-0.42	-0.63

Fuente: Autores

Para la figura 17 al igual que el sistema con rugosidad de 1200, se observa un efecto global de inhibición por parte de la albúmina. En la tabla 5 se muestran los potenciales a circuito abierto para el sistema con rugosidad de 1500. Desde el punto de vista termodinámico el sistema tiende a estabilizarse en la zona de óxidos del diagrama de Pourbaix a 37°C; dicho diagrama revela, que la capa de óxido es estable para un amplio rango de potenciales.

Figuras 17. Potencial de a circuito abierto de la aleación de Ti-6Al-4V con desbaste del sustrato hasta el papel de carburo de silicio No 1500.



Fuente: Autores.

Tabla 5. Valores de potencial de circuito abierto para el sustrato con rugosidad inducida hasta el papel de carburo de silicio número 1500.

Sustrato	Concentración del inhibidor	E_{CA} [V] vs Ag/AgCl	E_{CA} [V] vs EEH
1500	0% v/v	-0.63	-0.84

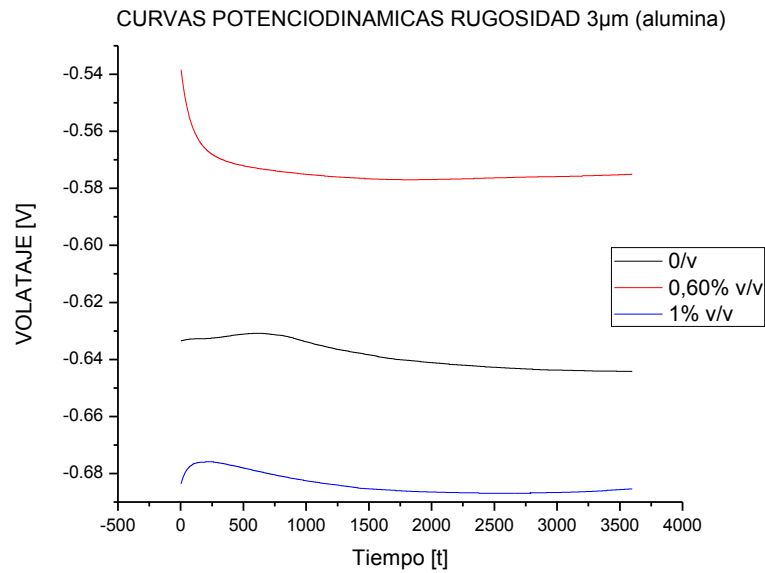
	0.60% v/v	-0.59	-0.80
	1% v/v	-0.45	-0.66

Fuente: Autores

Por ultimo tenemos la figura 18, la cual muestra las curvas de potencial a circuito para el sistema con rugosidad inducida hasta paños (alúmina de 3 μ m). Como en los demás sistemas, se estableció un blanco como patrón de comparación.

Al observar la figura 18, es posible notar que los valores de potencial a circuito abierto de las muestras estudiadas se estabilizan conforme transcurre el tiempo. Sin embargo este sistema no sigue la tendencia general de inhibición presentada por los sistemas anteriormente estudiados ya que la muestra con 1% de albúmina de huevo, posee un potencial a circuito abierto mucho menor en comparación con las demás. Este comportamiento se debe probablemente a que el sustrato no posee la suficiente rugosidad, la cual es indispensable, para que se establezca una buena deposición de albúmina sobre este. En la tabla 6 se establecen los potenciales a circuito abierto de cada una de las muestras estudiadas en este sistema.

Figura 18. Desbaste del sustrato hasta el papel número 1500 y luego pulida en paños con alúmina de 3 μ m.



Fuente: Autores.

Tabla 6. Valores de potencial de circuito abierto para el sustrato con rugosidad inducida hasta paños (alúmina de 3 μ m).

Sustrato	Concentración del inhibidor	E _{CA} [V] vs Ag/AgCl	E _{CA} [V] vs EEH
Alúmina de 3 μ m	0% v/v	-0.64	-0.85
	0.60% v/v	-0.58	-0.79
	1% v/v	-0.69	-0.90

Fuente: Autores

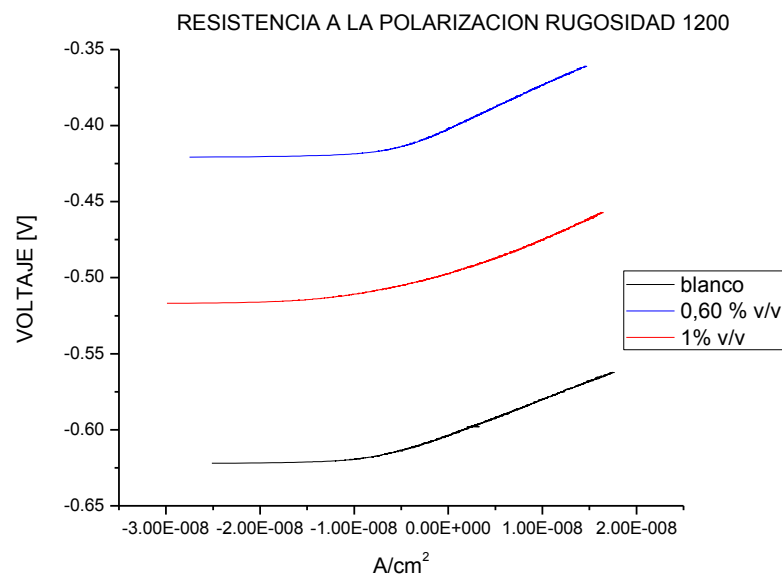
4.3.2 Resistencia a la polarización

Las curvas de resistencia a la polarización (R_p) para el sistema con rugosidad inducida hasta el papel de carburo de silicio numero 1200 (figura 10), mostraron de forma general que los sustratos en presencia del inhibidor, presentaba mayores

valores de OCP, en comparación a la aleación desnuda (blanco), es decir, se desplazaron hacia potenciales más nobles, indicando que hay un carácter protector por parte de la película de albúmina frente a la corrosión del metal.

Se observa que las curvas con mayor pendiente corresponden, a las probetas con albúmina, evidenciándose mayores valores de resistencia a la polarización (R_p) con respecto a la aleación desnuda, es decir dichas películas hacen que la aleación presente menores valores de velocidades de corrosión, al ser una propiedad inversa al R_p .

Figuras 19. Curvas de resistencia a la polarización de la aleación de Ti-6Al-4V con desbaste del sustrato hasta el papel de carburo de silicio número 1200.



Fuente: Autores.

Con el fin de hacer un análisis cuantitativo, se efectuó el cálculo de la pendiente de la línea tangente a la curva en el punto donde la densidad de corriente es igual a cero. Para dicho cálculo fue necesario ajustar cada curva, a una ecuación polinómica de segundo grado y hallar su derivada donde $I_{corr} = 0 A/cm^2$.

Tabla 7. Valores de resistencia a la polarización (Rp) para el sistema con rugosidad inducida hasta el papel de carburo de silicio No. 1200.

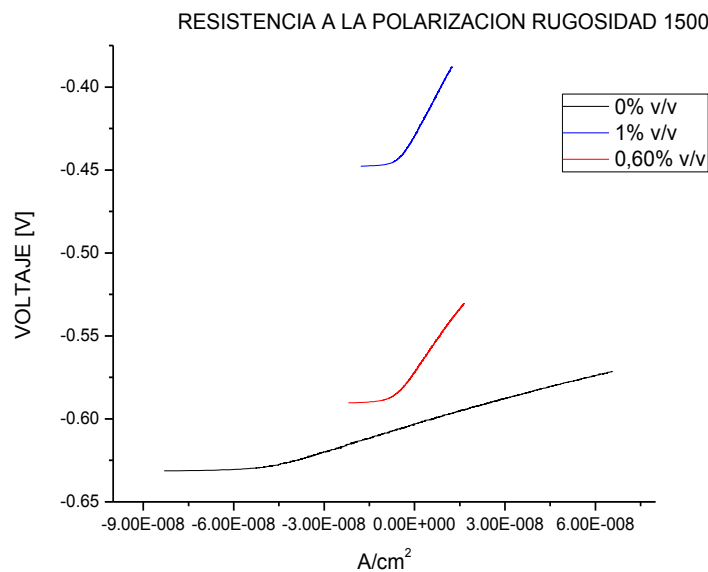
Muestra con rugosidad inducida hasta 1200	Ecuación polinómica de segundo grado	Resistencia a la polarización (Rp) [Ω/cm^2]
0% v/v	$V=(3 \times 10^{13})I^2+(2 \times 10^6)I-0.6$	2E+06
0.60% v/v	$V=(5 \times 10^{13})I^2+(2506444)I-0.4$	2506444
1% v/v	$V=(4 \times 10^{13})I^2+(3608000)I-0.5$	3608000

Fuente: Autores

Como se puede apreciar en la tabla, el valor de Rp va aumentando, a medida que aumenta la concentración de albúmina en el sistema, lo cual demuestra cierta eficiencia del inhibidor en el sustrato con esta rugosidad.

Para el sistema con rugosidad inducida hasta el papel de carburo de silicio número 1500 y bajo las mismas condiciones de concentración que el sistema anterior (figura 11), se observa una tendencia de inhibición del compuesto orgánico conforme aumenta la concentración pero a diferencia del anterior sistema, las pendientes con 0.60% y 1% v/v poseen un mayor grado de inclinación en comparación con las del sustrato con desbaste hasta 1200.

Figura 20. Curvas de resistencia a la polarización de la aleación de Ti-6Al-4V con desbaste del sustrato hasta el papel de carburo de silicio No 1500.



Fuente: Autores.

Esto es debido a que la afinidad de los grupos funcionales hacia la coordinación del metal es más alta para este sistema, lo cual se debe posiblemente a la rugosidad superficial del sustrato, la cual fue inducida hasta el papel de carburo de silicio número 1500. Los valores de dichas pendientes se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Valores de resistencia a la polarización (R_p) para el sistema con rugosidad inducida hasta el papel de carburo de silicio No. 1500.

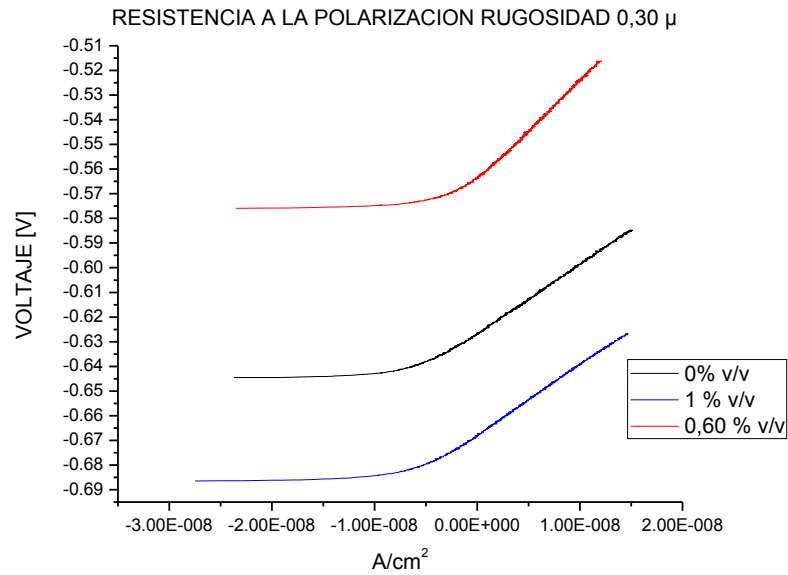
Muestra con rugosidad inducida hasta 1500	Ecuación de la recta	Resistencia a la polarización(R_p) [Ω/cm^2]
0% v/v	$V=(2E+06)I-0.3716$	2E+06
0.60% v/v	$V=(3E+06)I-0.2185$	3E+06
1%v/v	$V=(5E+06)I-0.20$	5+E06

Fuente: Autores

Para calcular el valor de la resistencia a la polarización fue necesario determinar la ecuación para cada curva que se ajusta a la parte recta de las mismas. En dicha tabla se puede observar que el mayor valor de R_p lo posee el sistema con 1%v/v de albumina de huevo, por lo tanto para esta concentración y rugosidad (1500) el sistema demuestra una gran eficiencia de inhibición.

Por último, tenemos el sistema con una rugosidad inducida hasta paños, inmerso en un medio fisiológico simulado con concentraciones de albumina de 0%, 0.60% y 1% v/v de inhibidor. Como se observa en la figura 21, para el sustrato con concentraciones de 1% v/v de albúmina, el potencial de circuito abierto es menor en comparación a las demás curvas. Además la inclinación de la pendiente de la parte recta es prácticamente igual al sistema con 0% v/v de albumina (blanco), lo cual se debe, a que el inhibidor ya no ejerce su labor como protector contra la corrosión.

Figura 21. Curvas de resistencia a la polarización de la aleación de Ti-6Al-4V con desbaste del sustrato hasta paños (alúmina de $3\mu\text{m}$).



Fuente: Autores.

En la tabla 9 podemos observar los valores de resistencia a la polarización conforme aumenta la concentración del compuesto orgánico.

Tablas 9. Valores de resistencia a la polarización (R_p) para el sistema con rugosidad inducida hasta paños (alúmina de $3\mu\text{m}$).

Muestra con rugosidad inducida hasta paños	Ecuación de la recta	Resistencia a la polarización (R_p) [Ω/cm^2]
0% v/v	$V=(3E+05)I-0.5038$	$3E+05$
0.60% v/v	$V=(3E+06)I-0.1752$	$3E+06$
1% v/v	$V=(3E+05)I-0.4239$	$3E+05$

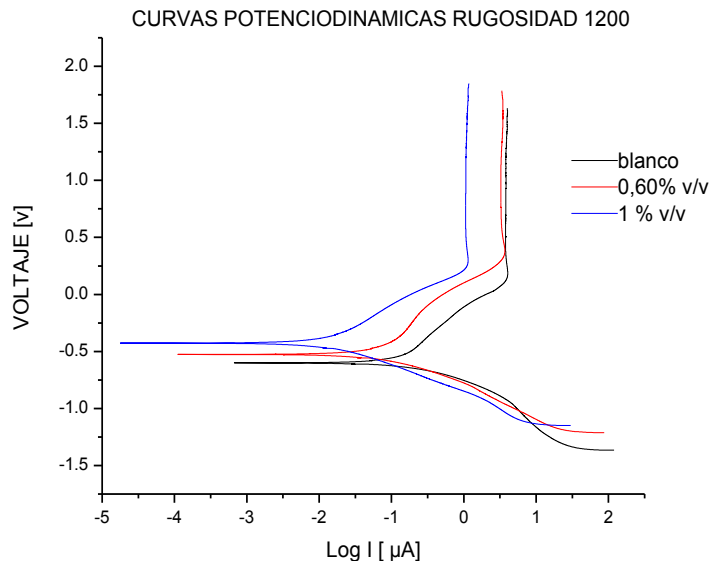
Fuente: Autores

4.3.3 Curvas de polarización potenciodinámicas

En la figura 22 se muestran las curvas de polarización potenciodinámicas para el sustrato con una rugosidad inducida hasta el papel de carburo de silicio número 1200 y con diferentes grados de concentración del inhibidor, el cual fue disuelto en una solución fisiológica simulada.

Se puede observar el desplazamiento de las curvas hacia valores de densidad de corriente menores y sobrepotenciales cada vez más anódicos, a medida que aumenta la concentración del inhibidor. En la zona anódica, se observa que la curva que presenta mayor disminución de las corrientes de oxidación corresponde a aquella que posee una concentración del compuesto de albúmina de huevo de 1% v/v. Sin embargo para cada curva, se observa que a partir de sobrepotenciales mayores a 0.09, 0.37 y 0.25 V con concentraciones de 0%, 0.60% y 1% v/v del inhibidor respectivamente, existe una tendencia de pasivación para cada una de ellas. Esto es debido a la formación de una película pasiva del óxido de titanio para el blanco y la actuación de los grupos funcionales (para los sustratos con 0.60% y 1% v/v), propios para cada aminoácido presente en la albúmina de huevo. Dichos grupos funcionales se aprecian en el espectro FTIR mostrado en la sección 4.2.1.2 de este trabajo de grado. Por otro lado se observa un aumento en los potenciales de corrosión, hacia zonas más anódicas conforme aumenta la concentración del inhibidor y una disminución de las corrientes catódicas (zona catódica), obteniendo de esta forma un efecto global de inhibición del sistema.

Figuras 22. Curvas de polarización potenciodinámicas de la aleación de Ti-6Al-4V con desbaste del sustrato hasta el papel de carburo de silicio No 1200.



Fuente: Autores.

Con el fin de hacer el análisis más cuantitativo, se obtuvieron los parámetros de corrientes de corrosión, velocidades de corrosión y porcentajes de eficiencia (I_{corr} , V_{corr} y %E), para el sistema en presencia y ausencia de albúmina de huevo. Dichos parámetros se pueden observar en la tabla 10.

Tabla 10. Parámetros electroquímicos calculados para el sistema con rugosidad inducida hasta el papel de carburo de silicio número 1200.

Sustrato	Concentración del inhibidor	Ecuación		I_{corr} [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]	V_{corr} [mpy]	%E
1200	0% v/v	Anódica	$V=0.4366\log I-0.1103$	0.1050	0.0336	0
		Catódica	$V=-0.2209\log I-0.753$			
	0.60% v/v	Anódica	$V=0.676\log I+0.2491$	0.0675	0.0216	35.71
		Catódica	$V=-0.1822\log I-0.755$			
	1% v/v	Anódica	$V=0.3226\log I+0.2004$	0.0106	0.0034	89.91
		Catódica	$V=-0.1655\log I-0.763$			

Fuente: Autores

Con estos cálculos se corrobora lo dicho anteriormente en el análisis de las respectivas curvas. Cuando se calcula la corriente de corrosión, tomando en

cuenta las pendientes de Tafel, se tiene una disminución de esta, conforme aumenta la concentración del inhibidor en el sistema.

Ahora, si se observa el porcentaje de eficiencia, se puede apreciar que el sustrato con 1% v/v de inhibidor, es el único que tiene arriba del 80 % de eficiencia, debido a que la concentración de los depósitos de albúmina sobre la superficie de la aleación son mayores en comparación con las demás concentraciones y el sustrato posee el patrón de rugosidad suficiente para la coordinación de los grupos funcionales con el respectivo metal.

La velocidad de corrosión se puede calcular a partir de las pendientes anódicas y catódicas de la figura 11, mediante la siguiente ecuación:

$$V_{corr} = \frac{0.13 * i_{corr} * EW}{D}$$

Dónde:

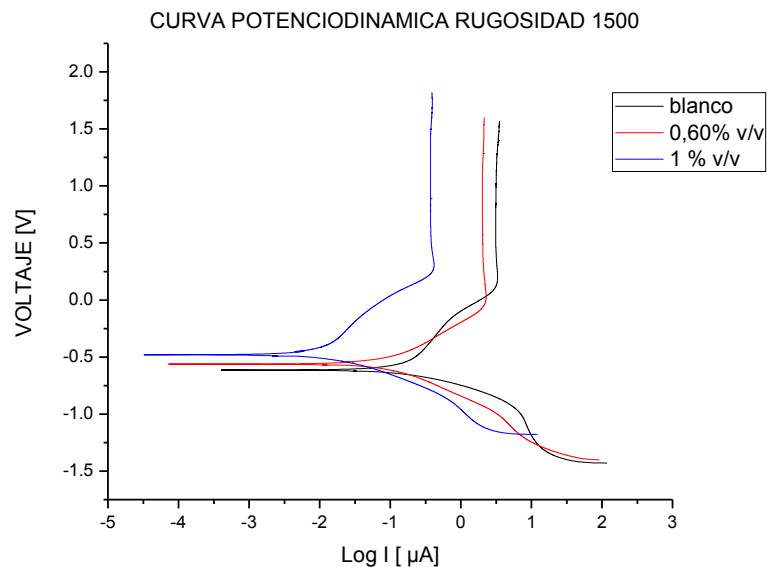
- i_{corr} es la densidad de corriente de corrosión
- EW es el peso equivalente de la aleación (10.88 g)
- D es la densidad de la aleación (4.42 g/cm³)
- V_{corr} es la velocidad de corrosión de la muestra

Las pendientes anódicas y catódicas fueron halladas mediante regresión lineal ubicando un punto a 50 mV por encima y uno por debajo del potencial a circuito abierto (potencial de corrosión), estas se han resaltado en las ecuaciones obtenidas en la tabla 10.

Para el sistema con rugosidad inducida hasta el papel de carburo de silicio No 1500, mostrado en la figura 23, se puede apreciar un comportamiento similar en comparación al sistema anterior, es decir a medida que aumenta la concentración del inhibidor, el sistema tiende a desplazarse hacia valores de densidades de corriente menores y hacia mayores sobrepotenciales. Sin embargo, se observa

que en la zona anódica del sistema, y en especial la curva con 0.60% v/v de albúmina (curva roja), para sobrepotenciales mayores a -0.33 V , las corrientes anódicas son mayores que las del blanco, pero una vez se alcanza un sobrepotencial de 0.01 V , comienza a aparecer conforme aumenta dicho sobrepotencial, la zona de pasivación, la cual es ligeramente menor a la zona establecida por el blanco. Este comportamiento se debe probablemente a que la capa de albúmina no es estable en este rango (-0.33 V a 0.01 V), lo cual causa una degradación de esta y expone la superficie de la aleación, dando lugar al proceso de pasivación del sustrato.

Figura 23. Curvas de polarización potenciodinámicas de la aleación de Ti-6Al-4V con desbaste del sustrato hasta el papel de carburo de silicio No 1500.



Fuente: Autores.

Para el cálculo de los parámetros de corrosión, se llevaron a cabo los mismos procedimientos efectuados para el sistema con rugosidad inducida hasta el papel de carburo de silicio número 1200. Dichos cálculos se pueden observar en la tabla 11.

Tabla 11. Parámetros electroquímicos calculados para el sistema con rugosidad inducida hasta el papel de carburo de silicio número 1500.

Sustrato	Concentración del inhibidor	Ecuación		I_{corr} [$\mu A/cm^2$]	V_{corr} [mpy]	%E
1500	0% v/v	Anódica	$V=0.6932\log I-0.0696$	0.1493	0.0478	0
		Catódica	$V=-0.1078\log I-0.731$			
	0.60% v/v	Anódica	$V=0.2179\log I-0.2848$	0.0526	0.0168	64.78
		Catódica	$V=-0.1659\log I-0.775$			
	1% v/v	Anódica	$V=0.6603\log I+0.8063$	0.0105	0.0034	92.97
		Catódica	$V=-0.1208\log I-0.739$			

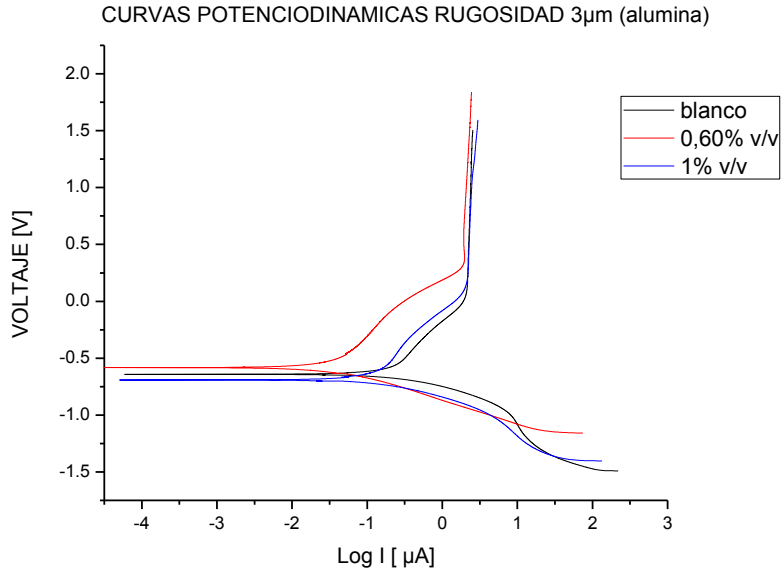
Fuente: Autores.

El valor mínimo de velocidad de corrosión (el cual está en función de la corriente de corrosión) lo posee el sustrato con concentración de albúmina de 1% v/v. De esta forma, se establece nuevamente la eficiencia del inhibidor conforme aumenta la concentración de este mismo. Además, el mayor porcentaje de eficiencia hasta ahora lo presenta este sistema, lo cual se debe, posiblemente a que el perfil de rugosidad establecido para este sustrato es el más adecuado para generar una asociación covalente entre los grupos funcionales (iones con carga negativa) y el metal.

Por ultimo se tiene el sistema con rugosidad inducida hasta paños (alúmina de $3\mu m$) y bajo las mismas condiciones de concentración del inhibidor de los sistemas anteriores. En la figura 24 se aprecian las curvas para este sistema, en las cuales se puede observar que la tendencia de inhibición conforme aumenta la concentración, no es la misma descrita para los sistemas con rugosidades inducidas de 1200 y 1500. Al apreciar detalladamente las curvas de polarización, vemos que la menores corrientes anódicas (zona anódica) y catódicas (zona catódica) junto con el mayor valor de potencial de corrosión lo presenta el sistema con concentraciones de albumina de huevo de 0.60 % v/v y no de 1 % v/v como lo demostraban los anteriores sistemas. Además se puede observar que hay una mínima variación en las zonas de pasivación de cada curva. Este comportamiento se debe principalmente a que la superficie generada tras el pulido metalográfico

con paños, no presenta el suficiente perfil de anclaje para generar una adecuada deposición del inhibidor sobre el sustrato.

Figura 24. Desbaste del sustrato hasta el papel No 1500 y luego pulida en paños con alúmina de 3 μm .



Fuente: Autores.

En la tabla 12 se presentan los valores de los parámetros de corrosión para este sistema.

Tabla 12. Parámetros electroquímicos calculados para el sistema con rugosidad inducida hasta paños (alúmina de 3 μm).

Sustrato	Concentración del inhibidor	Ecuación		I_{corr} [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]	V_{corr} [mpy]	%E
		Anódica	Catódica			
Alúmina de 3 μm	0% v/v	Anódica	$V=0.697\log I-0.1459$	0.1838	0.0588	0
		Catódica	$V=-0.1127\log I-0.741$			
	0.60% v/v	Anódica	$V=0.70\log I+0.3972$	0.0369	0.0118	79.92
		Catódica	$V=-0.1466\log I-0.820$			
	1% v/v	Anódica	$V=0.0949\log I+0.8075$	0.1096	0.0351	40.37
		Catódica	$V=-0.1208\log I-0.739$			

Fuente: Autores.

Como se observa en la tabla, hay una disminución de la corriente de corrosión para el sistema con 0.60% v/v con respecto al blanco, pero si se hace una comparación respecto al sistema con concentraciones de 1 % v/v vemos que hay

un efecto adverso al presentado en los anteriores sistemas, (rugosidades inducidas de 1200 y 1500) rompiendo de esta forma la tendencia que se venía presentado. Al observar los valores de porcentaje de eficiencia, vemos que el sustrato con 0.60% v/v presenta el mayor valor para este sistema.

5. RECOMENDACIONES

- Inducir agitación al sistema con rugosidad de 1500 inmerso en un medio fisiológico simulado con concentración de albúmina de huevo al 1% v/v. Esto con el fin de observar por medio de la técnica de microscopía electrónica de barrido, si hay desprendimiento de la capa de albúmina del sustrato. En otras palabras, es recomendable probar el sistema en condiciones hidrodinámicas.

6. CONCLUSIONES

- Para cada sistema establecido, fue posible obtener depósitos de albúmina de huevo sobre la superficie de cada sustrato. La película de albúmina presentó una morfología con aglomerados equiaxiales del compuesto; la cual se analizó mediante SEM, así como su composición elemental mediante la técnica de espectroscopia de energía dispersa, para cada condición estudiada.
- Los resultados obtenidos con las diferentes espectroscopias y microscopias aquí presentadas aportaron información química y superficial que da sustento a la caracterización del mecanismo de inhibición del compuesto orgánico de albumina de huevo sobre la aleación de Ti6Al4V en presencia de un medio fisiológico simulado.
- Se determinó que la aleación de Ti6Al4V con rugosidad inducida con papel de carburo de silicio número 1500 y puesta en contacto en una solución de fluido corporal simulado con albumina de huevo, a una concentración de 1% v/v de esta última, presenta el mejor efecto de inhibición a la corrosión en comparación a los otros sistemas.
- La alta coordinación con la aleación que presentó el compuesto de acuerdo a su estructura química, no es un factor suficiente para que se pueda considerar buen inhibidor de corrosión en ambientes fisiológicos. Lo anterior se confirmó al observar que a pesar de poseer afinidad por el metal, no todos los ensayos tuvieron eficiencias superiores al 50%.
- Con este trabajo, se ha demostrado que las concentraciones de albúmina en la sangre (3.4 a 5.4 g/dl), posiblemente favorecen la pasivación superficial de implantes elaborados con base a la aleación de Ti6Al4V, debido a que las concentraciones estudiadas (0.60% y 1% v/v) solo son

una pequeña fracción en comparación con las concentraciones en la sangre; además estas no afectan las funciones principales de la albúmina, la cual es transportar y almacenar una amplia variedad de sustancias de bajo peso molecular como bilirrubina, cortisol, hormonas sexuales, ácidos grasos libres y algunos medicamentos.

BIBLIOGRAFÍA

[1] ANCA CONSTANTINA PARU, SIMONA ZAMFIR, RALUCA IOANA ZAMFIR, GABRIEL COLEASA. Comparative studies on the corrosion resistance of Ti6Al4V y NiCr alloys in artificial saliva.

[2] CARLOS EDUARDO QUINTERO QUIROZ, JENNY PAOLA DAZA CUADROS “Obtención de recubrimientos de hidroxiapatita por el método sol-gel sobre Ti-6Al-4V patronadas mediante ablación laser” Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería metalúrgica. Bucaramanga, 2013. Pág. 21.

[3] Chikara Ohtsuki. How to prepare the simulated body fluid (SBF) and its related solutions, proposed by Kokubo and his colleagues [En línea]. [Consulta: 31 de mayo de 2013]. Disponible en: <<http://www.apchem.nagoya-u.ac.jp/ketsu5/SBF/index.html>>

[4] DOMINGUEZ, J.A: Introducción a la corrosión y a la protección de metales Editorial MES. 1987.

[5] Dr. IGNACIO GONZÁLEZ M. Influencia de los inhibidores fílmicos en el mecanismo de corrosión del acero al carbono 1018, en presencia del medio amargo alcalino. Trabajo de grado de la Universidad Autónoma Metropolitana. Diciembre del 2007.

[6] GIL, F.J., Y PLANELL, J.A Aplicaciones biomédicas del titanio y sus aleaciones. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. España.

[7] GIL MUR, F. J., APARICIO BADENA, C., MANERO PLANELLA, J. M., RODRÍGUEZ RIUS, D., DOMENECH, A.A., ARANDES SALVADO, P.M.,

PLANELL ESTANY, J. A., Aleaciones ligeras. En: capítulo 2 (Titanio). Primera edición. Edicions UPC. 2001. P. 59-86.

[8] GODINES, L.A. MEAS, Y. ORTEGA Y BORGES. Inhibidores de corrosión. Rev. Metal. Madrid. Febrero de 2003.

[9] HAMID REZA ASGARI BIDHENDI MAJID POURAVARI. Corrosion study of metallic biomaterials in simulated body fluid. Materials and Metallurgical Engineering Department, Dezflu Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran.

[24] HAMID REZA ASGARI BIDHENDI, MAJID POURANVARI. Corrosion Study of Metallic Biomaterials in Simulated Body Fluid.

[10] HEILBRONN J, WILSON J, BERGER BJ. Tyrosine aminotransferase catalyzes the final step of methionine recycling in *Klebsiella pneumoniae*. 1999.

[11] IGE. O.O, UMORU, L.E, ADEOYE, M.O, ADETUNJI, A. R Olorunniwo, O.E and AKOMOLAFE. Monitoring, Control and Prevention Practices of Biomaterials Corrosion An Overview. 2009.

[12] JONATHAN W. WRAY, ROBERT H. ABELES . The Methionine Salvage Pathway in *Klebsiella pneumoniae*. 1995.

[13] JOSÉ OMAR ALVARADO CORTÉS. Selección electroquímica de compuestos orgánicos como inhibidores de corrosión en medio ácido. Universidad autónoma del estado hidalgo 2006.

[14] LILIAM JOHANA REYES JAIMES, HUGO ALEXANDER GONZALEZ ROMERO. Evaluación del efecto del Ph del sbf en la formación de apatitas y la

degradación de superficies de Ti6Al4V recubiertas mediante electrodeposición catódica. 2014.

[15] LUIS FERNANDO RAMIREZ MONTAÑEZ, JULIO ISMAEL XIQUES SOLANO *“Evaluación del desempeño de un nuevo inhibidor de corrosión en líneas de flujo multifásico en los campos petroleros de Colombia”*. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería metalúrgica. Bucaramanga, 2007. Pág. 32.

[16] PAUL M. DEWICK, JOHN WILEY AND SONS. Medicinal natural products: a biosynthetic approach. 2009.

[17] SATENDRA KUMAR, T.S.N. SANKARA NARAYANAN, S.GANESH SUNDARA RAMAN, S.K.SESHADRI. Thermal oxidation of Ti6Al4V alloy: Microstructural and electrochemical characterization. Elsevier materials chemistry and physics.

[18] SÉRGIO LUIZ DE ASSIS, STEPHAN WOLYNE, ISOLDA COSTA. Corrosion characterization of titanium alloys by electrochemical techniques. Material and technology, centre, institute for energy and nuclear research. 2005.

[19] S. TAMILSELVI, V.RAMAN, N. RAJEANDRAN. Corrosion behavior of Ti6Al7Nb and Ti6Al4V ELI alloys in the simulated body fluid solution by electrochemical impedance spectroscopy. Science direct Elsevier. 2006.

[20] RAFAEL ANTONIO ROMERO BOHORQUEZ, JUAN MANUEL RODRÍGUEZ AGREDO *“Evaluación del efecto de la temperatura de anodizado sobre la respuesta tribológica de recubrimientos anódicos sobre la aleación Ti-6Al-4V”*.

Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería metalúrgica. Bucaramanga, 2012. Pág. 22.

[21] RODRIGUEZ RIUS, Daniel. Obtención de capas de nitruro de titanio mediante tratamientos termoquímicos en titanio y Ti-6Al4V y caracterización de sus propiedades para aplicaciones biomédicas. Tesis de doctorado en ingeniería. [6]

[22] YOLANDE A. CHAN, ANGELA M. PODEVELS, BRIAN M. KEVANYA, MICHAEL G. THOMAS. Biosynthesis of polyketide synthase extender units. Natural Product Reports 26: pp. 103. 2009.

[23] W.B. NOWAK, E.X.SUM. Electrochemical characteristics of Ti6Al4V alloy in 0.2 N NaCl solution. Department of Mechanical, Industrial and Manufacturing Engineering, Northeastern University, 360, Huntington Avenue, Boston, MA 02115, USA. 2000.

ANEXOS
ANEXO A. REACTIVOS UTILIZADOS.

REACTIVO	FÓRMULA	ESPECIFICACIONES
Ácido fluorhídrico	HF	Panreac, 40% pureza
Agua destilada	H ₂ O	Ninguna
Acetona	CH ₃ COCH ₂ COCH ₃	Merck, 99.8% pureza
Cloruro de sodio	NaCl	Carlo Erba
Bicarbonato de sodio	NaHCO ₃	Merck, 99.7% pureza
Cloruro de potasio	KCl	Merck, 99.5% pureza
Di-potasio hidrógeno fosfato trihidratado	K ₂ HPO ₄ ·3H ₂ O	Panreac, 98.1% pureza
Cloruro de magnesio hexa-hidratado	MgCl ₂ ·6H ₂ O	Mallinckrodt, 99.7% pureza
Cloruro de calcio	CaCl ₂	Anala R
Sulfato de sodio	Na ₂ SO ₄	Merck, 90% pureza
Tris (hidroximetil) aminometano	H ₂ NC(CH ₂ OH) ₃	Merck
Albumina de huevo	Ninguna	Michael Foods, 90% pureza

ANEXO B. EQUIPOS UTILIZADOS

EQUIPO	APLICACIÓN
Equipo de metalografía	Desbaste y pulido de muestras.
Microscopio óptico Olympus GX71.	Caracterización microestructural de la aleación Ti6Al4V
Balanza-Sanorius TE2145.	Peso de cantidades de albumina de huevo y reactivos para la preparación de SBF.
Plancha de calentamiento y agitación magnética y Termocupla SCHOTT W5791 NN-HT	Calentamiento del agua desionizada Para la preparación de SBF.
Potenciostato Galvanostato GAMRY 600	Ejecución de pruebas electroquímicas
Microscopio Electrónico de Barrido QUANTA FEG 650	Análisis morfológico y elemental de la capa de albumina formada sobre el sustrato.
Espectrometro FT-IR Tensor 27	Análisis composicional del inhibidor

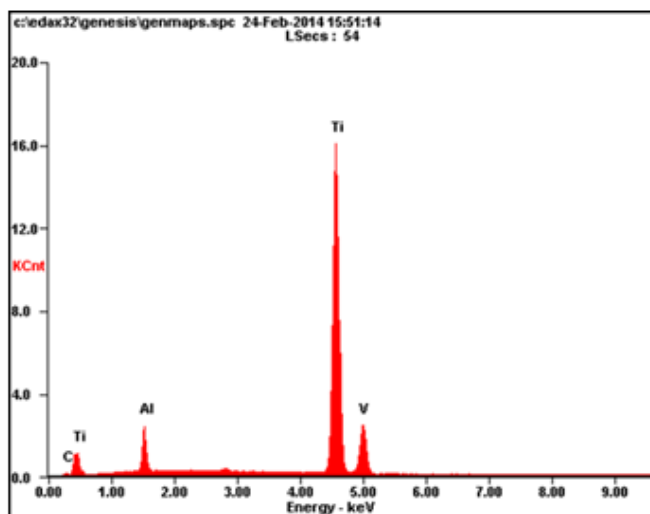
ANEXO C: Orden de reactivos para la preparación de SBF, propuesto por Kokubo [15]

Se utilizaron 700 ml de agua desionizada en un recipiente plástico, se llevó hasta una temperatura de 37°C bajo agitación rigurosa. Se agregaron los reactivos en el orden descrito por la siguiente tabla.

Orden	Reactivo	Cantidad
1	NaCl	8.035 g
2	NaHCO ₃	0.335 g
3	KCl	0.225 g
4	K ₂ HPO ₄ ·3H ₂ O	0.231 g
5	MgCl ₂ ·6H ₂ O	0.311 g
6	1.0 M · HCl	39 ml
7	CaCl ₂	0.292 g
8	Na ₂ SO ₄	0.072 g
9	Tris	6.118 g
10	1.0 M · HCl	0-5 ml

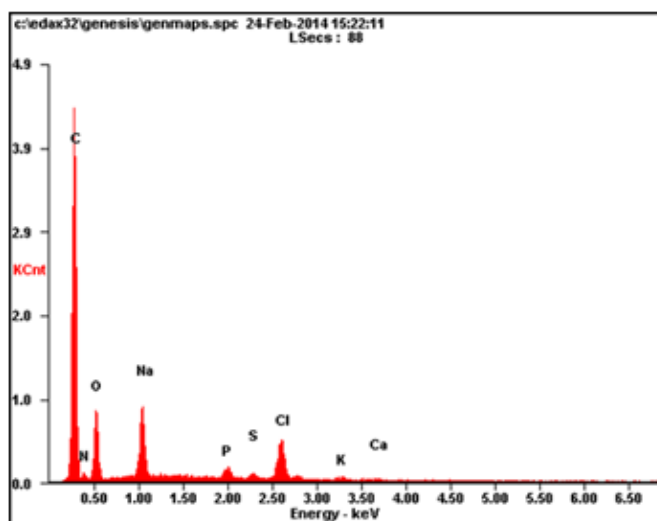
ANEXO D: Espectro y composición elemental por EDS (a) sin albumina de huevo y (b) con albumina de huevo con concentración de 1% v/v

a)



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	00.85	03.14
<i>AlK</i>	07.52	12.33
<i>TiK</i>	89.67	82.83
<i>VK</i>	01.96	01.70
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

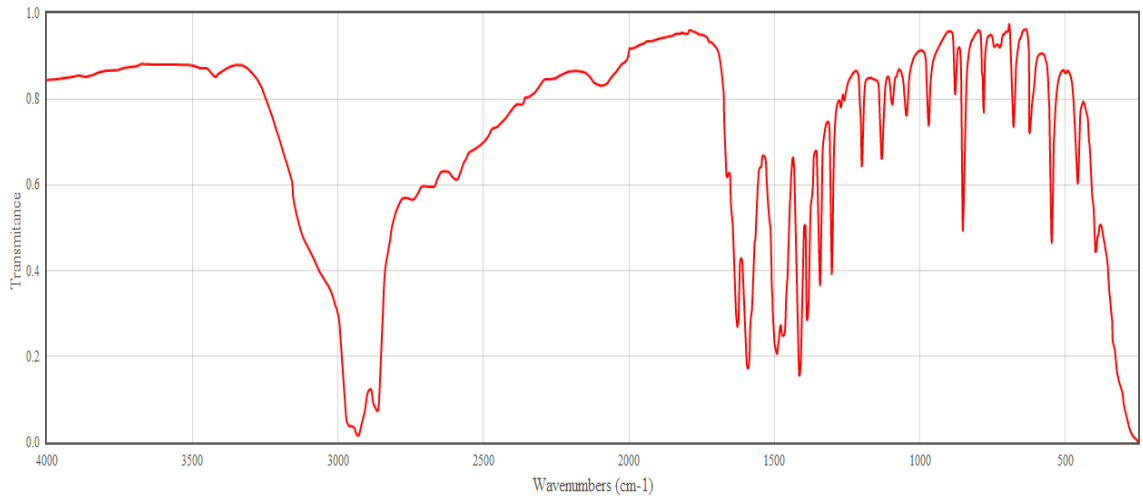
b)



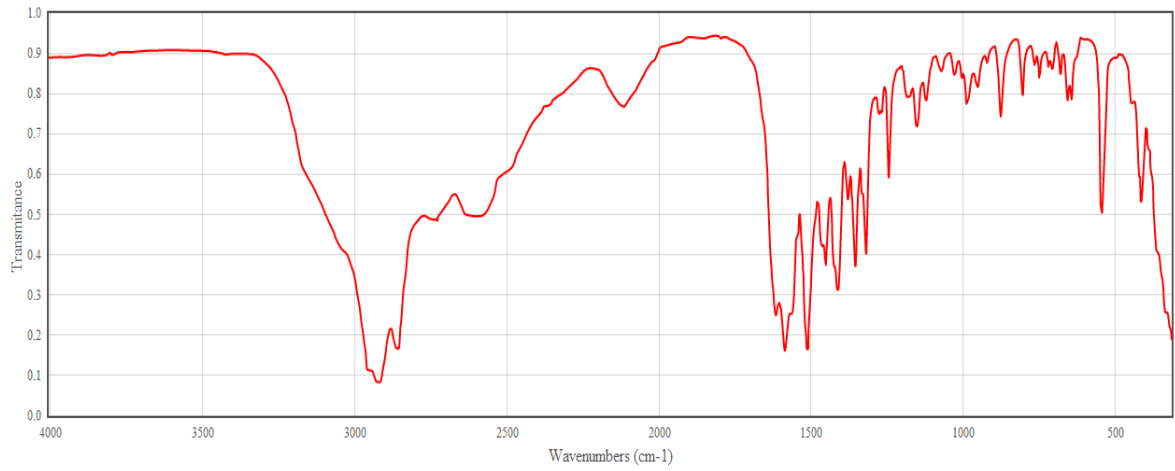
<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	61.03	73.53
<i>NK</i>	03.53	03.65
<i>OK</i>	13.42	12.14
<i>NaK</i>	07.40	04.66
<i>PK</i>	01.75	00.82
<i>SK</i>	00.87	00.39
<i>ClK</i>	10.00	04.08
<i>KK</i>	01.34	00.49
<i>CaK</i>	00.65	00.24
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

ANEXO E: FT-IR de la cisteína y metionina.

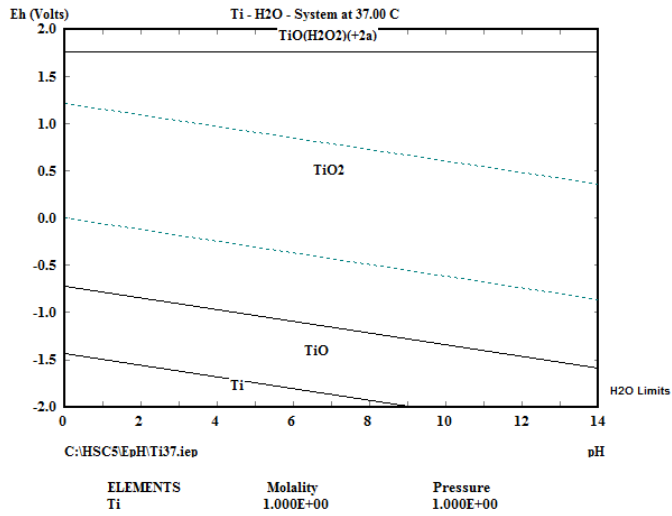
Cisteína



Metionina



ANEXO D. Diagrama de Pourbaix del titanio a 37°C.



ANEXO E: Potenciostato Galvanostato GAMRY 600 e incubadora.



ANEXO F: Ficha técnica de la albumina de huevo.

**MICHAEL
FOODS** INC.

Crystal Farm RDC
Farm Fresh Foods
M.G. Waldbaum

Inovatech Egg Products
Northern Star
Papetti's of Iowa
Papetti's Hygrade Egg

M.G. Waldbaum – Wakefield
105 North Main Street
Wakefield NE 68784

CERTIFICATE OF ANALYSIS

HUEVO ENTERO POLVO

Phone Number:
Fax Number:
Certificate Recipient:
Purchase Order Number:

Material Number: 46026-4100300
Description: 1/40 Lb Bag, Dried Plain Whole, WKF

Production Date: 22/04/2013
Expiration Date: 22/04/2016
Lot#: 1322048

<u>Analysis</u>	<u>Result</u>	<u>Method</u>
pH	8.4	AOAC 973.41 & USDA Lab Methods 1993
Fat (%)	41	AOAC 925.32
Protein	48	AOAC 989.03
Moisture (%)	3.2	AOAC 930.15
SPC (cfu/g)	20	AOAC 990.12
Coliform (cfu/g)	<10	AOAC 991.14
E.coli (cfu/g)	<10	AOAC 991.14
Staph cp (cfu/g)	<10	AOAC 2003.07
Salmonella (375g)	Neg.	AOAC 2001.09

Laboratory testing was done at M.G. Waldbaum – Wakefield NE US facility

QA Contact information:
Connie Kazovich Quality Assurance Manager
Phone: (402) 287-2211
E-Mail: MGW-WakefieldQA@MichaelFoods.com
Fax: (402) 287-5120