

ANÁLISIS DE CORROSIÓN EN UN MATERIAL COMPUESTO DE RESINA POLIÉSTER Y FIBRA DE COCO

CORROSION ANALYSIS IN A COMPOSITE MATERIAL OF POLYESTER RESIN AND COCONUT FIBER

Ever Alejandro Palacios Acosta

Gabriel Antonio Troya Zamora

Ivo Humberto Estupiñán Arias

Instituto Tecnológico Superior Luis Tello

epalacios@institutos.gob.ec

Resumen

En el presente trabajo se analiza la utilización de nuevos materiales para la construcción y reparación de botes pesqueros artesanales, basándose en el análisis de la velocidad de corrosión que presenta el material de matriz de resina poliéster reforzado con fibra de coco. En dicho estudio se realizó primero un análisis de las propiedades obtenidas de la fibra de coco como refuerzo de una matriz polimérica, con esto se decidió el método de fabricación, proporciones y configuraciones de la fibra para llevar a cabo la experimentación, para el proceso de pruebas se fabricaron 10 probetas basadas en las normas estipuladas por la Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión (NACE), las cuales fueron colocadas por un lapso de 30 días en los botes pesqueros, con el fin de obtener datos de la velocidad de corrosión. Los resultados obtenidos indicaron que la velocidad de corrosión medidas en milésimas de pulgada por año es baja y esta dentro de los rangos establecidos por la norma propuesta. Con esto se pudo constatar que el material compuesto fabricado puede ser expuesto a la salinidad del mar y por este motivo se puede usar en la construcción de los botes pesqueros.

Palabras clave: fibra de coco, corrosión, material compuesto, NACE, matriz polimérica

Abstract

This paper analyzes the use of new materials for the construction and repair of artisanal fishing boats, based on the analysis of the corrosion rate of the polyester resin matrix material reinforced with coconut fiber. In this study, an analysis of the properties obtained from coconut fiber as reinforcement of a polymeric matrix was first carried out, with this the manufacturing method, proportions and configurations of the fiber were decided to carry out the experimentation, for the process of Tests 10 specimens were manufactured based on the standards stipulated by the National Association of Corrosion Engineers (NACE), which were placed for a period of 30 days in fishing boats, in order to obtain data on the corrosion rate. The results obtained indicated that the corrosion rate measured in thousandths of an inch per year is low and is within the ranges established by the proposed standard. With this it was found that the manufactured composite material can be exposed to the salinity of the sea and for this reason it can be used in the construction of fishing boats.

Keywords: coconut fiber, corrosion, composite material, NACE, polymer matrix

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se basa en el estudio de un material compuesto con fibra natural de coco para la fabricación y mantenimiento de botes, el material compuesto se lo realizó con una matriz de resina poliéster y se reforzó con la fibra de coco sin tejer; hay que considerar que la fibra natural con la que se trabaja ya ha sido estudiada en investigaciones donde indica los esfuerzos de la misma, pero en este trabajo se da un enfoque a su resistencia a la corrosión frente al agua salada del mar.

La característica principal de esta investigación es reducir el uso de fibras sintéticas que impactan de manera negativa en el ambiente y pueden llegar a ser costosas para las personas que se dedican a la fabricación artesanal de los botes. El impacto que ocasionan las fibras sintéticas viene desde su fabricación y/u obtención (Neves, Sánchez, Duarte, & Guenther, 2008).

Para analizar esta problemática primero se tiene que recalcar que la fibra de coco existe en gran abundancia en la zona costera del Ecuador y por ende en Esmeraldas al ser uno de los cantones del país donde más se consume coco, en esta ciudad la fibra es desechada como basura, llegando a causar molestias para las personas que se dedican a la recolección y transporte de los desechos en dicha ciudad, por tal motivo y se le quiere dar un enfoque de productividad positivo con este mal llamado desecho (Macias & Valdes, 2018).

El principal interés de esta investigación es demostrar que un material sintético puede ser reemplazado por un material natural, que puede llegar

a ser menos contaminante y de menor precio que las fibras ya conocidas, además de demostrar a la población que la cascara del coco no es un desecho, que simplemente causa molestias, sino más bien que esta puede llegar a generar emprendimientos, ya que no solo se puede producir materiales compuestos como los de esta investigación, sino también puede fabricarse diferentes artesanías, tejidos, y hasta con un proceso adecuado ser un producto medicinal.

Para llevar a cabo esta investigación se desarrolló una exploración bibliográfica que permitió verificar las características físicas, químicas y mecánicas de las fibras de coco y los diferentes materiales que ya han sido estudiadas en base a esta fibra, para luego proceder al diseño y construcción de las probetas, basándose en la normativa existente para la elaboración de probetas para pruebas de corrosión, y con esto proceder a la fabricación de un número representativo de probetas, que permitirán verificar cuales son los niveles de corrosión del material ante los factores que afectan a un material en la naturaleza (Salazar, 2015). En este proceso se ubicaron las probetas en un balsa por un lapso de un mes, pero cabe recalcar que antes de ser ubicadas las mismas fueron pesadas y medidas, para al finalizar el tiempo volver a realizar estas medidas y corroborar cual fue el grado de corrosión en las mismas, por último con los resultados de corrosión se procedió a indagar en las personas dedicadas a esta actividad de fabricación de balsas, si estaban dispuestos a usar este material y cuál sería el impacto hacia su economía y el impacto al ambiente, obteniendo los resultados de esta investigación.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se la realizó enfocada a tres fases, para dar cumplimiento al objetivo general de la misma, por lo que en la figura 1 se describe las mismas.

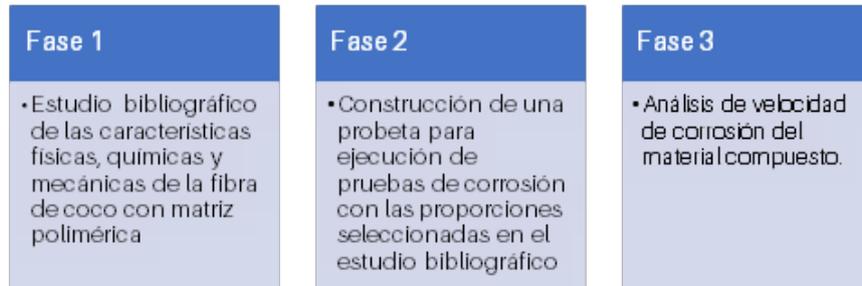


Figura 1: Fases de elaboración de la investigación.

Fuente: El Autor

FASE UNO

En esta fase se realiza una revisión bibliográfica de libros, artículos científicos y tesis con la finalidad de conocer las propiedades de la fibra de coco, las mismas que son físicas, químicas y mecánicas, además se estudia los tipos de matrices y fibras y los métodos de fabricación de los materiales compuestos, con el fin de seleccionar la mejor opción para obtener las características adecuadas para el material a elaborar; estableciendo el ámbito del proyecto y las variables a utilizar, los tiempos de pruebas y los tipos y formas de probetas a usar, obteniendo las pautas necesarias para continuar con la investigación.

Fibra de coco

El cocotero es una palmera perteneciente a la familia Arecaceae, su origen se halla en la India, aunque también se afirma que este se encuentra en el Caribe. En la actualidad su producción a mayor escala se da en la India, Sri Lanka y Tailandia. La fibra se obtiene de la corteza de su fruto, el cual es el objeto principal de su cultivo gracias al agua que contiene y a su pulpa comestible. Por tanto, la fibra es un subproducto que la mayoría de veces es tratada como desecho, (Mazón, 2017).

Tabla 1: Propiedades mecánicas de la fibra de coco.

Fibra	Densidad (g/cm ³)	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Elongación Fractura (%)	Absorción de humedad (%)
Coco	1.2	175-220	4-6	15-30	10

Fuente: Mazón, 2017

En la tabla 1 se muestra las propiedades mecánicas de la fibra de coco, estudiada sin aditivos ni matrices.

Tabla 2: Propiedades físicas de la fibra coco.

Fibra	Contenido de humedad (%)	Contenido de ceniza (%)	Contenido de carbono (%)	Absorción de agua (%)	Diámetro promedio (%)
	27.1	5.1	51.5	169	397

Fuente: Mazón, 2017

En la tabla 2 se muestra las propiedades físicas, que son importantes para el presente estudio, ya que esto permitirá identificar propiedades importantes que forman parte del proceso de corrosión.

Procesos de fabricación del material compuesto

En la tabla 3 se muestra un resumen con los diferentes métodos de fabricación de materiales compuestos.

Tabla 3: Resumen de los métodos de obtención de materiales compuestos.

MÉTODO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Estratificación manual	Sirve para fabricar piezas de diversos tamaños y se puede utilizar con una amplia gama de materias primas.	Es difícil controlar el espesor de la pieza y solo se consigue un buen acabado en una de sus caras.
Estratificación de pre impregnados	Buena resistencia mecánica y química.	Altas presiones y temperaturas requeridas para su procesamiento
Moldeo por aspersión	La aplicación del material es más rápida que en otros métodos	Difícil de controlar la fracción volumétrica del refuerzo y espesor de la pieza
Moldeo por compresión	Es una herramienta útil para la investigación y desarrollo de materiales compuestos	Solo se pueden elaborar piezas simples como placas de espesor constante, no es posible realizar diseños complejos
Extrusión	Se puede obtener una buena mezcla entre matriz y refuerzo	Solo sirve para realizar piezas de sección transversal, y para materiales termoplásticos.
Inyección	Bajos costos de producción y grandes volúmenes de producción	Alta inversión de capital al adquirir máquinas.
Moldeo por transferencia de resina (RTM)	Bajo costo de la máquina a diferencia de la de inyección	Requiere experimentación de prueba y error o simulación de flujo para asegurar una buena impregnación de los refuerzos.
Moldeo por pultrusión	Permite la producción de piezas de cualquier longitud	Permite hacer solo piezas de sección transversal constante.

Fuente: Palacios, 2017

- Probetas para corrosión de materiales compuestos

Las metodologías para prevenir y controlar la corrosión según la norma de la Asociación Nacional de Ingenieros de corrosión (NACE INTERNACIONAL), están clasificadas en mecanismos intrusivos y no intrusivos y directos e indirectos, en la tabla 4 se muestra la clasificación de los métodos (Nava, Salas, Romero, & Moya, 2014).

Según Neves, Sánchez, Duarte, & Guenther, 2008, el método más adecuado para medir la corrosión de materiales dentro de un sistema o estructura es un método directo, conocido como cupones de corrosión tipo lámina.

Cupones de corrosión

Los cupones de corrosión sirven para medir la corrosión dentro de un sistema o estructura, la principal ventaja de este método de monitoreo es su bajo costo de instalación y su efectividad para monitorear la corrosión, en la Figura 2 se muestra un modelo de cupón de corrosión y es el que será usado para este estudio (NACE International, 2005)

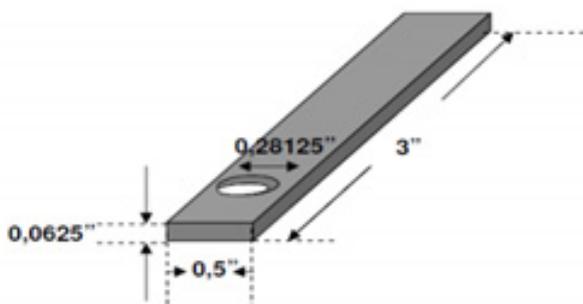


Figura 2: Modelo de cupón de corrosión

Fuente: NACE International, 2005

Los análisis realizados con los cupones de corrosión permitirán un monitoreo en línea, a que son colocados directamente en el ambiente y retirados conforme indica la norma.

Se estable un número de 10 cupones los cuales serán expuestos a la salinidad del mar direc-

tamente, es decir se ubicarán dos cupones en 5 botes pesqueros, para en el transcurso de un mes retirarlos y verificar la velocidad de corrosión del material.

Variables para medición de velocidad de corrosión

Según la norma ASTM -G1-90 "la velocidad a la que se da la corrosión en un material se debe calcular con la ecuación 1, tomando a consideración las variables descritas en la misma"

$$CR = \frac{W \cdot K}{A \cdot T \cdot D} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Fuente: ASTM G-90, 1999.

Donde:

- CR = Velocidad de corrosión promedio, milésimas de pulgada por año (mpy)
- W = Pérdida de peso, en gramos (g)
- A = Área del cupón expuesta, pulgadas (pulg²)
- T = Tiempo de exposición, días (d)
- D = Densidad del cupón metálico, gramos por centímetro cúbico (g/cm³)
- k = factor (534 mpy)

Con estas variables se va a obtener la velocidad de corrosión del material compuesto expuesto a la salinidad del océano y con esto verificar que dicho material sirva para la construcción de botes.

Procedimiento de verificación

Realizar las probetas de material compuesto

- Limar las probetas para obtener un material regular y que no afecte en la toma de pesos.
- Pesar la probeta (el peso debe ser inscrito en una bitácora, será tomado en gramos)

- Ubicar las probetas en los botes pesqueros sujetados con un material resistente a la corrosión, estas deben estar expuestas de manera que estén en contacto directo con el agua del océano.
- Después de 30 días retirar las probetas y volver a pesar.
- Realizar una comparativa con los pesos iniciales y calcular la velocidad de corrosión.

FASE DOS

Se detalla el proceso de diseño, construcción o fabricación de las probetas, también, se indican las variables con las que se va a trabajar y los tiempos de pruebas de cada probeta, además en esta sección se establece el proceso de elaboración del material, el tiempo de curado y el proceso de verificación de la existencia o no de corrosión.

Diseño de la probeta

Para el diseño de la probeta se basó el estudio en la norma NACE internacional 2005, donde se establece las medidas y la forma de la probeta o en este caso se le conoce como cupones de corrosión, según lo establecido en la sección 5.9.1. en la figura 6, se elabora el diseño de la probeta en el software SolidWorks, obteniendo sus dimensiones y por ende sus planos que se encuentran en la sección de anexos. En la figura 4 se muestra el cupón de corrosión realizado en el software especificado.

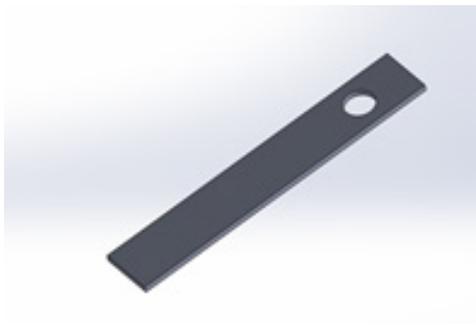


Figura 3: Diseño de cupón de corrosión en SolidWorks.
Fuente: El Autor

Diseño de moldes

Los moldes se diseñaron de igual manera en SolidWorks con la herramienta adecuada, luego del diseño CAD se procedió a la impresión de los mismos en polvo cerámico, el cual permite obtener una pieza con mejor acabado. En la figura 4. Se muestra el diseño CAD del molde.



Figura 4: Diseño CAD de los moldes.
Fuente: El Autor

Una vez diseñado se procede a la impresión de los modelos de moldes en polvo cerámico para obtener un mejor acabado del material final. En la figura 5 se muestra el proceso de impresión de moldes.



Figura 5: Proceso de impresión en polvo cerámico.
Fuente: El Autor

Fabricación de probetas

Una vez obtenido los moldes se procede a la elaboración de las probetas usando el proceso de moldeo por compresión y de curado en un horno de alta temperatura para curado de material con el

fin de secar el material de manera más rápida. En la figura 6 se muestra el proceso de fabricación de probetas por compresión.



Figura 6: Fabricación de probetas.

Fuente: El Autor

- En este proceso primero se realiza la mezcla de la resina poliéster con el catalizador en una proporción 1:0.05, es decir por cada gramo de resina se utilizarán 0,05 gramos de catalizador, según la masa de la pieza a construir.
- Se procede a impregnar a la matriz de resina poliéster la fibra de coco, en tres capas para obtener el espesor adecuado, esto haciendo tipo sándwich, capa de poliéster, capa de fibra, capa de poliéster.



Figura 7: Proceso de impregnación de materiales.

Fuente: El Autor

- Se procede a la compresión del material haciendo uso de los moldes.
- Se procede al curado de las fibras obteniendo las probetas finales.

Pruebas de campo

Una vez obtenido las probetas se procede a las pruebas de campo, en la cual se procede de la siguiente manera (ASTM G1-90, 1999):

- a. Pesar las probetas antes de ubicar en los botes.
- b. Ubicación de las probetas en botes pesqueros, en este caso se ubican en la parte inferior para que se encuentren en contacto directo con el agua del mar.
- c. Dejar por 30 días las probetas, en los botes para observar el nivel de corrosión de las mismas.
- d. Sustraer las probetas de los botes y pesar para encontrar el nivel de corrosión con la fórmula establecida en la sección 5.9.

RESULTADOS

En la tabla 4 se presenta una variación del peso inicial con respecto al peso final (después de las pruebas de 30 días en campo).

Tabla 4: Variación de pesos de probetas

Probeta	Peso inicial	Peso final	Variación
1	25,08	25,05	0,03
2	24,92	24,91	0,01
3	24,73	24,7	0,03
4	23,98	23,95	0,03
5	24,54	24,45	0,09
6	25,08	25,01	0,07
7	25,12	25,08	0,04
8	25,11	25,02	0,09
9	24,99	24,95	0,04
10	25,31	25,27	0,04

Fuente: El Autor

En la tabla 4, se pueden mostrar los datos obtenidos de las pruebas de campo, en los cuales se tiene el peso inicial de la probeta antes de ser expuesta, el peso final de la probeta después de la exposición y por último la diferencia de pesos, es decir la variación entre el peso inicial y el peso final, esto nos permite analizar el nivel de corrosión existentes en las probetas.

En la figura 8 se muestra la gráfica de dispersión donde indica las variaciones de peso.

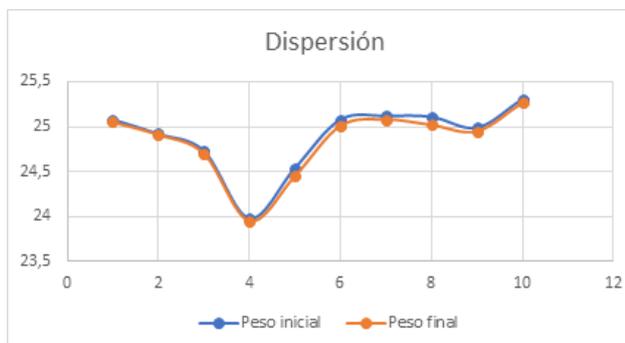


Figura 8: Dispersión de pesos inicial vs final.

Fuente: El Autor

Como se puede observar en la gráfica de dispersión las variaciones son mínimas con un promedio de 0,047 g, por lo que se puede apreciar que está en un buen nivel de soporte de corrosión.

En cuanto a las medidas se pudo observar que la mayor corrosión del material se da en los bordes de la probeta dando la mayor variación por razones de contacto directo con el agua.

En este contexto se procede a calcular con el promedio de pérdida de peso la velocidad de corrosión para por ende verificar que tan bueno puede llegar a ser el material contra corrosión, por lo que se aplica la ecuación 1.

- Pérdida de peso en gramos: 0.047 g
- El volumen promedio de las probetas es: 121.82 cm³
- Por lo tanto, la densidad será: 0.14 g/cm³
- Área expuesta: 1.5 pulg²
- Tiempo en días: 30 días
- K= 534

$$CR = (W * K) / (A * T * D) \quad \text{Ecuación 1}$$

$$CR = (0.047g * 534) / (1.5 \text{ pulg}^2 * 30 * 0.25 \text{ g/cm}^3)$$

$$CR = 3.98 \text{ mpy (milésimas de pulgada por año)}$$

En este caso se realizó el cálculo de la velocidad de corrosión en milésimas de pulgada por año obteniendo un valor de 3.98.

DISCUSIÓN

En la tabla 4 se puede analizar que las pérdidas de peso en cada una de las probetas son aparentemente despreciables ya al realizar un análisis de desviación estándar se obtuvo el valor de 0.027, ya que claramente se puede observar que la variación de pesos es casi idéntica en cada probeta, tomando en cuenta que cada probeta fue realizada tratando de obtener las mismas características, usando las mismas proporciones y tiempos de curado, en este contexto se procede a la verificación

de la velocidad de corrosión del material.

Al realizar el cálculo con la ecuación uno se obtuvo un valor de velocidad de corrosión de 3.98 milésimas de pulgada por año (mpy), que considerando el tipo de exposición directa con el agua salada y en relación a trabajos realizados en aire libre donde se obtienen valores de 6,69 mpy (Nava, Salas, Romero, & Moya, 2014).

CONCLUSIONES

La búsqueda bibliográfica ayudó para llevar a cabo la investigación de manera que nos permita direccionar el trabajo desde el principio en cuanto a elaboración, diseño, proporciones de materiales y el tipo de fabricación, además permitió verificar cual es el impacto ambiental que ocasionan las fibras sintéticas al ambiente, para con esto darle un enfoque de revisión de parámetros ambientales.

El material se fabricó tomando en cuenta el proceso más efectivo para el tipo de pieza a construir, además se logró diseñar las 10 probetas para realizar las pruebas de campo, las probetas se ubicaron de manera que se encuentren en contacto directo con el agua salada del mar y poder corroborar que el material en verdad tuvo la exposición necesaria para medir la corrosión que fue mínima en cuanto a la situación ambiental en la que se ubicó las probetas.

REFERENCIAS

ASTM G1-90. (1999). Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluation Corrosion Test Specimens.

Espinoza, G., & Hidalgo, J. (2016). *Caracterización de materiales compuestos para la aplicación en la carrocería del vehículo monoplaza tipo formula SAE*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.

Guerrero y otros. (2015). *Nuevos materiales aplicaciones estructurales e industriales* (Primera ed.). Quito: imprefepp. doi: 978-9978-383-20-9

Macias, N., & Valdes, P. (2018). La producción cocotera y su diversificación como una de las formas de la economía política en Ecuador. *Revista*

Caribeña de Ciencias Sociales, 1-11. doi:2254-7630

Manjarres, Y. (2016). *Fibras y sus efectos en el ambiente*. Obtenido de Textiles y ecodiseño: <http://tex-eco-sost.blogspot.com/2006/09/fibras-y-sus-efectos-en-el-ambiente.html>

Mazón, G. (2017). Caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster con fibra de coco para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales. Ambato.

Moral, A., & Noriega, M. (2017). Materiales de última generación y materiales compuestos. *ET-SAG*.

NACE International. (2005). Preparation, Installation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations. doi:NACE Standard RP0775-2005

Nava, A., Salas, O., Romero, N., & Moya, D. (2014). Evaluación de la resistencia a la corrosión del recubrimiento termorociado dual Zn/Al sobre acero galvanizado envejecido. *Centro de estudios de corrosión*.

Neves, S., Sánchez, R., Duarte, F., & Guenther, B. (2008). Efeito Da Incorporação De Fibras De Coco No Comportamento Dinâmico-Mecânico De Compósitos Com Matriz Poliéster. *Tecnologia em Metalurgia e Materiais*, V(2), 111-115. doi: 10.4322/tmm.00502009

Palacios, E. (marzo de 2017). Construcción de una estructura de soporte para una aeronave no tripulada aplicando ingeniería inversa, utilizando material de matriz de resina poliéster reforzado con fibra natural de coco o cabuya. Ibarra.

Salazar, J. (2015). Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales. *Tecnología en Marcha*, 28(3), 128-136.

Ureña, A., Otero, E., Utrilla, M., & Rodrigo, P. (2014). Mecanismos de corrosión en materiales compuestos de matriz de aluminio con refuerzo de SiC. *Boletín de la sociedad Española "Cerámica y Vidrio"*, 233-236.