



Caracterización del alambre de cobre y recubrimiento de acero por medio de electrólisis

Characterization of copper wire and steel coating by means of electrolysis

Caracterização de fios de cobre e revestimento de aço por meio de eletrólise

Eugenia Mercedes Naranjo-Vargas ^I
eugenia.naranjo@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9658-6311>

Larry Omar Méndez-Matute ^{II}
mendezlarry193@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6494-8720>

Jessica Paola Vaca-Barrionuevo ^{III}
paolavacav21@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9202-1383>

Richard Santiago Llano-Sango ^{IV}
santia-llano@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3596-2512>

Correspondencia: eugenia.naranjo@esPOCH.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

***Recibido:** 04 de enero de 2022 ***Aceptado:** 31 de enero de 2022 * **Publicado:** 21 de febrero de 2022

- I. Ingeniera Mecánica, Magíster en Diseño Mecánico, Grupo de Investigación ENAMPROD; Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Investigador independiente
- III. Investigador independiente
- IV. Investigador independiente

Resumen

El objetivo del presente proyecto fue conocer las características del alambre de acero y el metal cobre, debido a que es un metal manipulable en calor y en frío, con alta conductividad térmica y eléctrica, resistencia a la corrosión y poseer un color atractivo, lo hizo ideal para la transferencia de iones.

Mediante el proceso de electrólisis se observó la transferencia de iones entre el cobre y alambre de acero. Al finalizar el experimento se evidenció las propiedades mecánicas que se formaron luego del recubrimiento, se determinó sus beneficios al realizar electrólisis y se comprobó al aplicar diferentes tipos de cargas en el alambre recubierto.

De la misma manera se enfatizó el análisis y caracterización mediante simulaciones realizadas con el programa SolidWorks, se creó una asignación de material en el software; el cual mostró características similares al alambre trefilado de cobre para determinar tanto el límite elástico y deformación dentro de los tres diferentes tipos de esfuerzos utilizados.

Los resultados obtenidos luego de las pruebas de caracterización muestran que la aleación Acero-Cobre presenta mejores propiedades mecánicas. Para obtener recubrimiento de cobre en alambres de acero con una mayor maleabilidad, menor pérdida de volumen y resistencia a la corrosión se utilizó; 0,96 L de ácido muriático; 2,2 L de agua, a 12 voltios durante 40 minutos para 1 metro de alambre.

Palabras clave: electrólisis; cobre; propiedades mecánicas; esfuerzos; gas.

Abstract

The objective of the present project was to know the characteristics of steel wire and copper metal, because it is a hot and cold workable metal, with high thermal conductivity, high electrical conductivity, corrosion resistance and possessing an attractive color, made it ideal for ion transfer.

Through the electrolysis process, the transfer of ions between copper and steel wire was observed. At the end of the experiment, the mechanical properties that were formed after the coating were evidenced, its benefits were determined by performing electrolysis and it was verified by applying different types of loads on the coated wire.

In the same way, the analysis and characterization were emphasized through simulations carried out with the SolidWorks program, a material assignment was created in the software, which

showed similar characteristics to the drawn copper wire to determine both the elastic limit and deformation within the three different types of stresses used.

The results obtained after the characterization tests show that the steel-copper alloy has better mechanical properties. In conclusion, to obtain copper coatings on steel wires with higher malleability, lower volume loss and corrosion resistance is as follows; 0.96 L of muriatic acid, 2.2 L of water, at 12 volts for 40 minutes for 1 meter of wire.

Palabras clave: electrólisis; cobre; propiedades mecánicas; esfuerzos; aleación.

Resumo

O objetivo deste projeto foi conhecer as características do fio de aço e do metal de cobre, pois é um metal que pode ser manipulado no calor e no frio, com alta condutividade térmica e elétrica, resistência à corrosão e coloração atrativa. transferir.

Através do processo de eletrólise, observou-se a transferência de íons entre o fio de cobre e o de aço. Ao final do experimento, foram evidenciadas as propriedades mecânicas que se formaram após o revestimento, determinados seus benefícios ao realizar a eletrólise e verificados pela aplicação de diferentes tipos de cargas no fio revestido.

Da mesma forma, foi enfatizada a análise e caracterização através de simulações realizadas com o programa SolidWorks, foi criada uma atribuição de material no software; que apresentou características semelhantes ao fio de cobre trefilado para determinar tanto o limite elástico quanto a deformação dentro dos três diferentes tipos de tensões utilizadas.

Os resultados obtidos após os ensaios de caracterização mostram que a liga Aço-Cobre apresenta melhores propriedades mecânicas. Para obter revestimento de cobre em fios de aço com maior maleabilidade, menor perda de volume e resistência à corrosão, utilizou-se; 0,96 L de ácido muriático; 2,2 L de água, a 12 volts por 40 minutos para 1 metro de fio.

Palavras-chave: eletrólise; cobre; propriedades mecânicas; esforços; gás.

Introducción

El avance de la tecnología, en el sector industrial es necesario emplear materiales que se acoplen a diferentes funciones de un determinado proceso, debido al cambio tecnológico. En cuanto a la

fabricación de los materiales se espera obtener características más resistentes y de menor de costo.

En el progreso técnico se encuentra el recubrimiento de materiales metálicos, que representa una buena opción cuando el material está expuesto a factores como: corrosión, desgaste y altas temperaturas. (LÓPEZ BADILLA, 2012) describe el cobre como un material que está expuesto a procesos de laminado, forjado, soldado, templado y recocido, dentro de las aplicaciones, al utilizarse en motores, sistemas electrónicos y eléctricos, sufren problemas de desgaste los cuales pueden ser solucionados a través de un adecuado proceso de recubrimiento.

El electro-depósito de cobre metálico, tiene el objetivo de proteger las piezas de factores de corrosión. Por ejemplo, el acero revestido de cobre se da al enlazar de forma metálica con una capa de cobre para obtener un alambre con las características de resistencia del acero y la conductividad y resistencia a la corrosión del cobre, siendo así más eficiente en cables de instalaciones eléctricas.

El acero de igual manera tiene propiedades mecánicas y físicas, dependiendo al uso que se lo vaya a dar, se verá una composición adecuada, con lo cual, según (Andrade et al., 2004) si se quiere mejorar sus propiedades mecánicas y físicas, el acero nos permite ser aleado con otros materiales tales como: cobalto, cobre, molibdeno, cromo, níquel, nitrógeno, selenio, tántalo, titanio, tungsteno o vanadio.

Se debe tener en cuenta que, mientras se adicionan las resistencias del acero, su ductilidad disminuye y que al aumentar la resistencia no varía la elasticidad (UNPL, 2012). De acuerdo con (Moussa & United Nations. Economic Commission for Latin America and the Caribbean. División de Recursos Naturales e Infraestructura., 1999) el acero al ser un material de producción industrializada, las características estructurales del acero tienen poca variabilidad.

A causa de la importancia y la necesidad de comprender los compuestos en el baño electrolítico para el proceso de cobreado en el acero, en el presente proyecto se analizó el resultado de obtener propiedades mecánicas más eficientes, en cuanto a mayor ductilidad y resistencia al desgaste.

El proyecto tiene la siguiente estructura; con respecto a la metodología se explica el proceso del ensayo y simulación en el programa educativo SolidWorks, en base a la electrodeposición y diseño del alambre de cobre.

En el siguiente apartado de resultados, se representa los datos obtenidos y la caracterización mediante los procesos propuestos.

Metodología

Los alambres de acero recubiertos de cobre deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM B 227 (ICONTEC NTC 1357. Alambre de acero recubierto en cobre, trefilado.). Conforme a (CODENSA, 2011) se permitirá una variación del diámetro con respecto a la especificación ASTM B 258 $\pm 1.5\%$ y del área transversal no mayor al -2% . El porcentaje de elongación mínima debe ser del 1% , para un espécimen de 250mm.

De acuerdo con (Belkys, 2000) el cobreado es un proceso electroquímico que mediante la electrólisis, se recubre la superficie de un artículo o material con una capa de cobre. Se da en una celda electrolítica en la cual, a través del paso de corriente eléctrica directa, se disuelve un electrodo de cobre y sus iones son desplazados hasta la superficie (véase fig. 1) de la pieza o material. Así mismo (Alvarez León & Chango Lescano, 2013) manifiesta que se debe utilizar una sustancia iónica que ceda el paso de la corriente eléctrica desde el electrodo de cobre hasta el elemento que se recubrirá.



Figura 1 (electrolisis de cobreado)
Fuente Autores



Figura 2 (Alambre de acero trefilado recubierto de cobre)
Fuente Autores

Componentes en el proceso de electrólisis

Ánodo: El ánodo es la superficie en el cual pasa la reacción de oxidación, puede ser activo o en condiciones de inerte (no sufre cambios en el proceso).

Cátodo: En este componente se presenta la reducción de electrodo de trabajo.

Electrolito: Es la solución donde se encuentran los iones del metal con el cual se va a trabajar.

Corriente eléctrica: Esta corriente se puede dar directamente o pulsante. (Díaz, 2008).

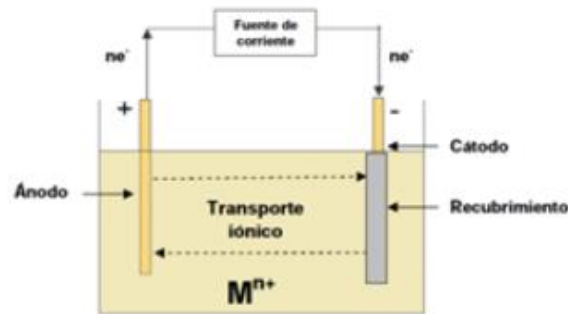


Figura 3 Esquema de los componentes básicos de electrolisis en un proceso de cobreado
Fuente: Paola, Pary. Depósito electrolítico de metales: influencia de aditivos y complejantes en el crecimiento de los cristales y en la calidad de los depósitos2018.

(Pary, 2018) explica que el flujo de la corriente eléctrica produce que el cobre se ionice al realizar su oxidación, con lo cual cada átomo de cobre pierde electrones (negativos) y se carga positivamente. Simultáneamente los cationes se disuelven en la solución electrolítica, fabrican complejos con sales previamente presentes; entonces, el cobre, fluye a el objeto en que se produce una reducción, con lo cual vuelve a ganar electrones, recuperando su estado metálico. Esto conlleva que se inserte de forma sólida sobre el objeto formando una fina película que los recubre.

Así mismo que para el diseño del alambre de cobre se utilizó el software SolidWorks el cual tiene las siguientes dimensiones, diámetro de 1 mm y una longitud de 1000mm, y un material de cobre (2,0090(Cu-DHP)).

El mismo que se enlazo para la simulación al aplicar diversos esfuerzos en la parte central del alambre entre 1,5kg, 7,5kg y 11,5 kg.

Dentro de los tres diferentes tipos de esfuerzos se analizó su límite elástico y deformación, las cuales representa las siguientes ilustraciones:

Simulación 1

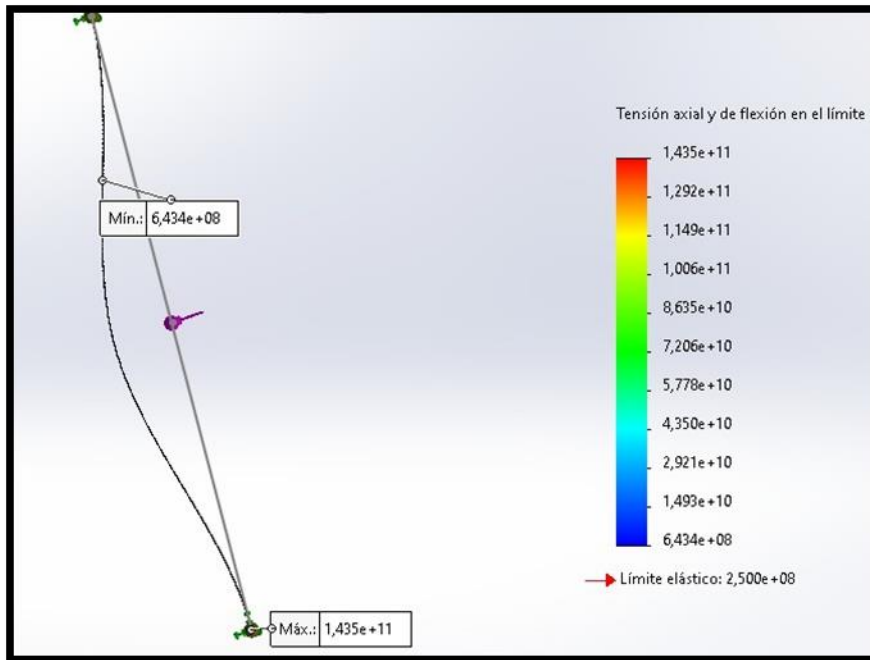


Figura 4 Fuerza aplicada de 1,5kg
Fuente SolidWorks



Figura 5 Resultado del Ensayo 1
Fuente Autores

Límite elástico	2,500e+08
Límite de fallo mínimo	1,872e+10
Límite de fallo máximo	8,393e+07
Desplazamiento	56 mm

Tabla 1 Resultados obtenidos
Fuente Autores

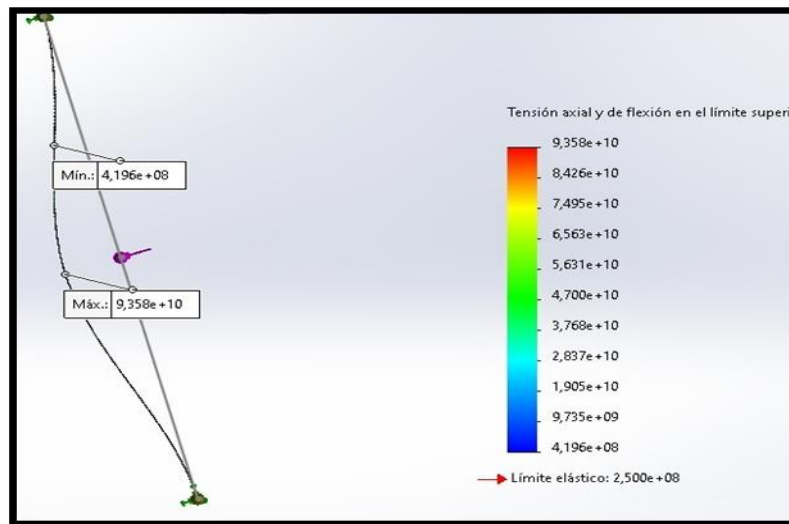


Figura 6 Fuerza aplicada de 6,5kg
Fuente SolidWorks

Simulación 2



Figura 7 Resultado del Ensayo 2
Fuente Autores

Límite elástico

Límite de fallo mínimo	4,196e+08
Límite de fallo máximo	9,358e+07
Desplazamiento	141,10 mm

Tabla 2 Resultados obtenidos

Fuente Autores

Simulación 3

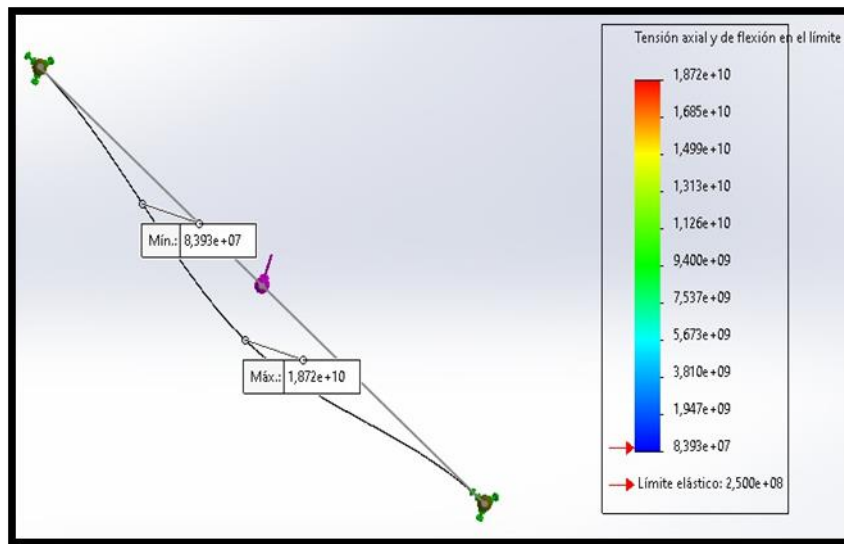


Figura 8 Fuerza aplicada de 11,5kg

Fuente SolidWorks



Figura 9 Resultado del Ensayo 3

Fuente SolidWorks

Límite elástico	2,500e+08
Límite de fallo mínimo	6,434e+08
Límite de fallo máximo	1,475e+11
Desplazamiento	162mm

*Tabla 3 Resultados obtenidos
Fuente Autores*

Resultados

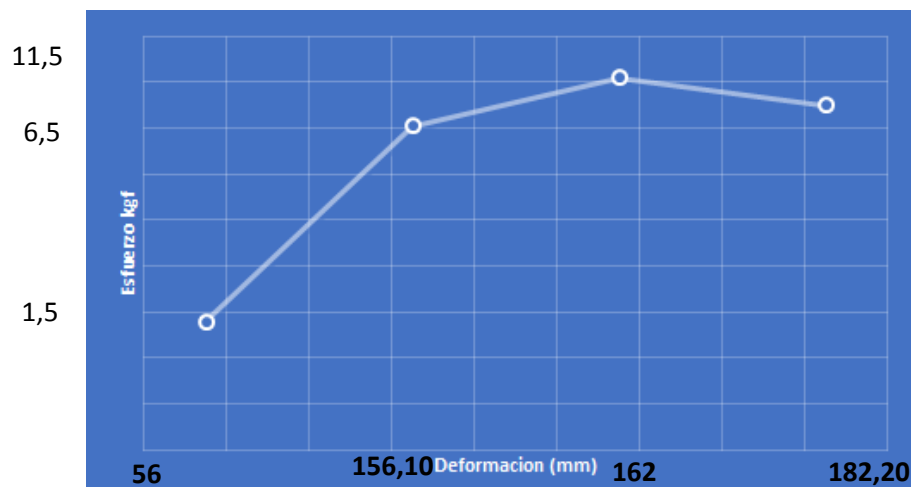
A continuación, se presenta los datos obtenidos a través de la simulación y proceso electrolítico.

Para la simulación 1; se utilizó una fuerza de 1,5kg en el centro de del alambre, en la figura 3 se puede observar el modelado en el programa y en la figura 4 se verificar el ensayo real con un desplazamiento de 56mm.

Para la simulación 2; se utilizó una fuerza de 6,5kg en el centro del alambre, en la figura 5 se puede observar el modelado en el programa y se muestra en la figura 6 el ensayo real con un desplazamiento de 141,10mm.

Para la simulación 3; se utilizó una fuerza de 11,5kg en el centro de del alambre, en la figura 7 se examina el modelado en el programa y en la figura 8 se comprueba el ensayo real con un desplazamiento de 162mm.

Al graficar los resultados de esfuerzo-deformación se obtuvo la siguiente curva con 11,5kg, se observa la carga máxima que el alambre obtuvo.



*Figura 10 Diagrama Esfuerzo – Deformación
Fuente Autores*

Se determina que, a partir de 11,5kg en adelante la probeta entro en la zona de plasticidad para empezar a descender en su resistencia.

Se pudo evidenciar que después de haber sometido el alambre de cobre a las diferentes cargas, el alambre se deformato 30 mm en toda su longitud.

Conclusiones

- La electrodeposición entre el alambre de acero y metal cobre se llevó a cabo para poder determinar y mejorar las propiedades mecánicas, físicas y químicas del alambre de acero, dando como resultado una aleación con mejor maleabilidad.
- Así mismo en los modelos del programa como en los ensayos de esfuerzo deformación, se ha comprobado; desde el primer ensayo soporta la carga establecida, con respecto al límite elástico del material utilizado, para los siguientes ensayos se determinó que supera los límites elásticos y produce fallas en el material, limitando el valor de resistencia a la deformación. Estas deformaciones están relacionadas típicamente con flexión transversal.
- A partir del análisis precedente con diferentes cargas secuenciales se constató que el alambre tuvo una elongación de 30 mm, que es un resultado mínimo de falla a diferencia de un alambre de cobre puro que llega a la zona plástica con facilidad o un alambre de acero que se fractura al instante. En función a las nuevas propiedades adquiridas que jugaran un papel fundamental en la refinación del recubrimiento, generando formulaciones de baños de deposición cada vez más específicas y dirigidas a obtener un cumulo de características para una aplicación dada en el sector industrial.
- Tras el análisis en la aplicación del revestimiento de cobre, se determinó que es recomendable utilizar este material propuesto para reducir al mínimo o evitar la corrosión en el acero al carbono que sufría graves deterioros antes del proceso experimental.
- Finalmente se concluye que al cobrear el alambre de acero se obtiene un material más resistente y maleable, soportando cargas más elevadas que un alambre de acero normal y un alambre de cobre puro, en vista que se comprobó una mejora en la resistencia y maleabilidad.

Referencias

1. Alvarez León, A. L., & Chango Lescano, G. C. (2013). *Diseño y Construcción de una Planta Piloto para Recubrimientos Metálicos*.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2498>
2. Andrade, C. A., Romir, B., Sandoval, E., Universidad, C., De Bolívar, T., De, F., & Mecánica, I. (2004). Diseño de un prototipo para un sistema de cobrizado estandarizado.
Http://Biblioteca.Utb.Edu.Co/Notas/Tesis/0026232.Pdf.
<https://repositorio.utb.edu.co/handle/20.500.12585/2649>
3. Belkys, P. M.; C. M. (2000, January). *Estudios de deposición de cobre sobre acero para la reducción electroquímica de CO₂ / Request PDF*.
https://www.researchgate.net/publication/237011572_Estudios_de_deposicion_de_cobre_sobre_acero_para_la_reduccion_electroquimica_de_CO2
4. Co. (2011). *ESPECIFICACIÓN TÉCNICA CONDUCTORES DE ACERO RECUBIERTOS DE COBRE DURO ET-122*.
5. CODENSA. (2011). *ET122 Conductores de acero recubiertos de cobre duro /*.
https://likinormas.micodensa.com/Especificacion/cables/et122_conductores_acero_recubiertos_cobre_duro
6. Díaz, F. (2008). *PRINCIPIOS DE ELECTRODEPOSICIÓN*.
http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/principios_de_electrolisis.pdf
7. Espejo, É. M. (2007). *Caracterización de modos de falla típicos en cables de transmisión mecánica*. <https://www.redalyc.org/pdf/643/64327111.pdf>
8. GRUPO epm. (n.d.). *Especificación técnica conductores de acero recubierto con cobre Versión 1.0 ESPECIFICACIÓN TÉCNICA CONDUCTORES DE ACERO RECUBIERTO CON COBRE GRUPO EPM*.
9. LÓPEZ BADILLA, G. (2012). Atmospheric corrosion in the seafood industry in the. *Científica, 16*, 67–73. <https://www.redalyc.org/journal/674/67449381006/html/>
10. Moussa, N., & United Nations. Economic Commission for Latin America and the Caribbean. División de Recursos Naturales e Infraestructura. (1999). *El desarrollo de la minería del cobre en la segunda mitad del siglo XX*. 84.
<https://repositorio.cepal.org/handle/11362/6391>

11. *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 210:2013 Primera revisión CONDUCTORES, ALAMBRES Y CABLES PARA USO ELÉCTRICO. DEFINICIONES Primera edición CONDUCTORS, WIRES AND CABLES FOR ELECTRICAL USE. DEFINITIONS First edition.* (n.d.).
12. Pary, P. (2018). *Depósito electrolítico de metales: influencia de aditivos y complejantes en el crecimiento de los cristales y en la calidad de los depósitos.* <https://doi.org/10.35537/10915/70959>
13. Rivera Procuna, A. (2018). *Física II: dinámica, hidrostática, hidrodinámica, calor y termodinámica* (4th ed.). GRUPO EDITORIAL EXODO. https://elibro.net/es/ereader/epoch/130175?as_all=origen de la estática&as_all_op=unaccent__icontains&prev=as&page=136
14. UNPL. (2012). *SOLDADURA.* <https://unlp.edu.ar/frontend/media/73/27873/03be3424af308bf57bee6ac2aa169171.pdf>