

Área Transversal de un Cable y su Calibre AWG (American Wire Gauge)

Investigación

M.I. Jorge Isaac González Torres

Centro de Investigaciones y Estudios de Posgrado, U.A.S.L.P., Dr. Manuel Nava No. 8, San Luis Potosí, S.L.P.

isaac_gtji@alumnos.uaslp.edu.mx

Dr. Jorge Horacio González Ortiz

Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media, U.A.S.L.P., Blvd Universitario Km. 4, Rioverde, S.L.P.

jorgonz@uaslp.mx

Resumen

Este artículo presenta el estudio y caracterización de la relación que existe entre el área de sección transversal de un cable y su calibre AWG, con el objetivo de simplificar los cálculos en diferentes tareas. Para llevar a cabo dicha caracterización, se hace uso de la regresión exponencial, la cual permite generar una función matemática de bajo grado de complejidad que es capaz de calcular con errores despreciables el área transversal de un conductor en base únicamente a su calibre AWG.

Palabras clave: Calibre AWG, sección transversal, conductores eléctricos, regresión exponencial.

Abstract

This paper presents the study of the relation between a gauge wire and real dimensions of electrical wire, the purpose of this study is simplify certain type of calculus in different tasks. In order to achieve this characterization, the exponential regression is so useful and the mathematical equation is simple but the results are precise, and those errors are despicable when the transversal section area is calculated based using only the American Wire Gauge size.

Key words: American Wire Gauge, cross section area, electrical wire, exponential regression.

Introducción

Dentro de la primera sección de este documento se encuentra una breve reseña de la historia y evolución de los conductores eléctricos, así como de su estandarización.

Posteriormente se observa la problemática actual que existe al realizar cálculos sobre conductores, en donde no se tiene acceso a la información de forma inmediata. Una vez establecida la problemática, se procede a describir la teoría acerca de las regresiones lineales y sus derivaciones con el objetivo de encontrar una función matemática sencilla, que permita calcular el área trasversal de un conductor basándose únicamente en su calibre estándar, dentro de las normas oficiales mexicanas.

Finalmente se muestran los resultados y se hace una comparativa entre los resultados de diferentes métodos para posteriormente realizar las conclusiones acerca de esta relación.

Los conductores eléctricos son elaborados con materiales que oponen baja resistencia al paso de la energía eléctrica, existen diversos materiales que tienen esta propiedad, entonces se fabrican en la actualidad una enorme diversidad de cables y alambres que satisfacen la necesidad de transmitir energía eléctrica en el mundo.

En el siglo XIX, las principales naciones industrializadas de Europa y América desarrollaron diferentes moldes para manufacturar alambres. Esto generó confusiones al reunir diferentes materiales provenientes de diferentes países. Por lo cual, en este mismo siglo se comenzaron a estandarizar las dimensiones de los diferentes calibres para los alambres [1].

En [2] se hace mención de diferentes estándares para calibres en alambres y/o cables, dentro de los cuales se encuentran:

- Imperial Standard Gauge.
- British Legal Gauge.
- Birmingham Wire Gauge (BWG).
- Standard Wire Gauge (SWG).
- American Wire Gauge (AWG).

Fundamentación teórica

El estándar AWG (American Wire Gauge) fue desarrollado en el año de 1855 por J. R. Brown [3].

Pero no fue hasta el año de 1857 que fue proyectado en Norteamérica y fue conocido como Brown and Sharpe Gauge (B&SG) [1]. Este estándar tiene en común con los demás estándares que el número de calibre representa las sucesivas etapas en el proceso de estirado, esto quiere decir que entre mayor sea el calibre, el diámetro del conductor es menor.

El AWG se popularizó debido a que el diámetro para los diferentes calibres, es designado mediante una relación matemática. Dicha relación consiste en una progresión geométrica, que relaciona el diámetro de dos

conductores base, mediante el número de divisiones intermedias [4].

En México se adoptó el estándar AWG debido a la estrecha relación económica con Estados Unidos de Norteamérica. Es por tal razón que actualmente en el mercado se comercializan los conductores en base a su calibre AWG, además de que las Normas Oficiales Mexicanas contemplan dentro de sus páginas el uso de este estándar [5].

Progresión geométrica

La progresión geométrica que propuso Brown [3], para el cálculo de los diferentes calibres, está en función de dos calibres base, que son: el calibre 4/0 AWG el cual tiene un diámetro de 0.46 in y el calibre 36 AWG con un diámetro de 0.005 in. Si se enumeran los calibres que existen entre las dos cotas, se encuentra que son 39. Es por tal razón que la relación matemática que relaciona un calibre con su subsecuente, se define de la siguiente manera:

$$\sqrt[39]{\frac{0.46}{0.005}} = \sqrt[39]{92} \approx 1.22932197 \quad (1)$$

Entonces, si se desea encontrar el valor del diámetro del alambre calibre 28 AWG, es necesario primeramente establecer cuantos pasos existen entre ambos calibres, para este caso son $36 - 28 = 8$. Este número de pasos indica cuantas veces tiene que ser aplicado el factor de la ecuación (1). Por lo tanto el diámetro del alambre calibre 28 AWG es igual a:

$$0.005 \left(\sqrt[39]{92} \right)^8 = 0.0126 \text{ in} = 0.32004 \text{ mm} \quad (2)$$

Con base en el ejemplo de (2) y realizando manejo de exponentes, se establece la ecuación (3). La cual, es sencilla de aplicar y permite encontrar el diámetro de un conductor sólido en base a un calibre dado, el resultado que arroja esta ecuación es conocido como diámetro nominal.

$$\phi = 0.005 \cdot 92^{\left(\frac{n-36}{39}\right)} \quad (3)$$

Donde: n es el calibre del conductor dado. Cabe mencionar que el estándar AWG maneja calibres menores al 1 AWG (1/0, 2/0, 3/0, 4/0 AWG); para los cuales n está dada por la relación $n = 1 - m$, en donde m es igual al número de ceros.

Problemática actual

En la actualidad, las cantidades de energía que demandan algunos equipos llegan a ser muy grandes; es por tal razón, que los fabricantes han ido diseñando calibres de conductores mucho mayores. Pero conforme la sección transversal de un calibre aumenta existen algunos otros problemas, como: las pérdidas por inducción, corrientes de Eddy, resistencia mecánica y problemas

de instalación. La mayoría de los problemas, eran causados debido al uso de monoconductores sólidos o alambres. La solución tecnológica fue la fabricación de multiconductores trenzados o cables.

Se puede apreciar en la **Figura 1** cómo los multiconductores, aún cuando poseen la misma área efectiva de conducción que los monoconductores, ocupan una mayor superficie debido al espacio que existe entre cada uno de los hilos del conductor. Debido a estos espacios, se tiene problemas al seleccionar la canalización mínima adecuada y el máximo volumen ocupado en los registros o cajas conectoras. Estos errores dan pie a proponer una mejor manera de calcular, de forma sencilla, el área de sección transversal real de un conductor. La relación (3) es usada para llevar a cabo cálculos pero los resultados no son del todo certeros para estos casos.

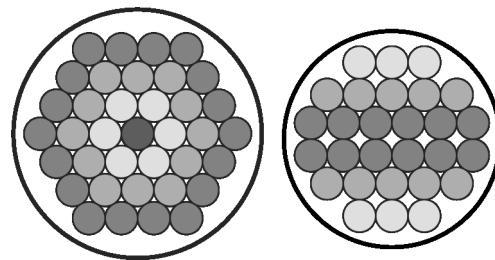


Figura 1. Trenzado de cables

Dimensiones reales

Las dimensiones del área transversal real de los conductores que se muestran en [5], además de ser las dimensiones normadas, coinciden con una gran cantidad de catálogos de fabricantes. La **Figura 1** muestra el área transversal nominal y el área real de los conductores según su calibre AWG; despreciando para este caso la capa aislante que poseen los conductores, puesto que su aumento en grosor es irregular y varía de material en material.

Las diferencias entre las áreas nominales, que son calculadas mediante la expresión (3), y las áreas reales, son debidas a diferentes fenómenos, como: trenzado de los hilos, el reacomodo natural de los conductores y por último al espesor y tipo de material aislante utilizado, el cual varía dependiendo del tipo y uso del conductor.

Materiales y métodos

Es posible calcular, de forma muy exacta, el área transversal de un conductor mediante un procedimiento conocido como cálculo completo; para llevarlo a cabo es necesario conocer una gran cantidad de datos, por ejemplo: el diámetro de los hilos, el número de hilos, la

distribución y acomodo de los mismos. Esta información no siempre es proporcionada por el fabricante, sin embargo se encuentran los datos normalizados en [5]. Una vez recopiladas las características propias de cada calibre de conductor, es necesario llevar a cabo varias operaciones para poder aproximar el área transversal por este método. Este modo de cálculo no suprime la impráctica tarea de consultar un compendio de tablas para recabar información.

Es por eso que se procede a caracterizar el aumento en el área transversal real de un conductor al variar de forma progresiva el calibre AWG.

Comportamiento de las dimensiones

La Figura 2 muestra el área de sección transversal real en mm² de los conductores, según el calibre AWG. Es notorio que presentan una trayectoria similar a una función exponencial.

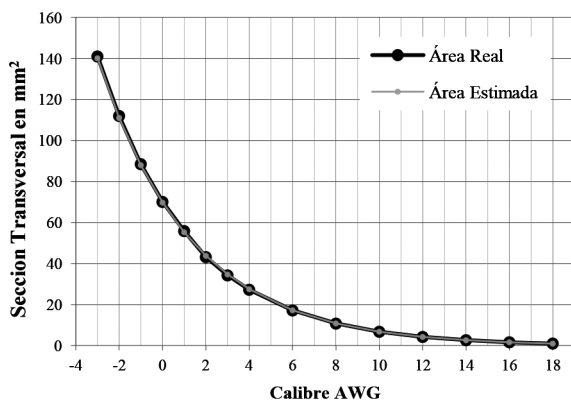


Figura 2. Sección transversal real y estimada para cables.

Relación matemática

Los pares ordenados, que se presentan en la **Tabla 1**, permiten realizar un proceso de regresión, el cual es capaz de encontrar una función matemática que tenga un comportamiento lo más cercano posible al de los puntos en la cual está basada [6, 7].

Aún cuando, la regresión permite generar una amplia variedad de modelos de funciones, como: lineal, polinomial, logarítmica, exponencial y potencial, debido a que la trayectoria de la **Figura 2** es semejante a la de una función afectada por el número de Euler, es posible suponer que la regresión que presentará una menor suma de errores cuadráticos será una regresión exponencial.

Tabla 1. Secciones transversales nominales y reales de conductores eléctricos.

Cal. AWG	A _{nom}	A _{real}	Cal. AWG	A _{nom}	A _{real}
18	0.824	1.07	3	26.7	34.3
16	1.31	1.7	2	33.6	43.2
14	2.08	2.7	1	42.4	55.9
12	3.31	4.29	1/0	53.5	70.1
10	5.26	6.82	2/0	67.4	88.5
8	8.37	10.8	3/0	85	112
6	13.3	17.2	4/0	107	141
4	21.2	27.3			

Regresión exponencial

La regresión lineal y sus variantes están ampliamente reportadas en la literatura; en [8, 9] se establece el método de mínimos cuadrados para encontrar los estimadores para un conjunto de puntos o pares ordenados. Debido a que el tipo de regresión en esta sección es exponencial, se vuelve imprescindible llevar a cabo una transformación logarítmica a los datos de la variable dependiente, con el fin de que el comportamiento que presenten al ser graficados sea lineal y no exponencial como en la **Figura 2**.

De forma condensada el método para encontrar la función matemática, que en este caso debe ser exponencial como se muestra en la ecuación (4), es encontrar los valores para $\hat{\alpha}_0$ y $\hat{\alpha}_1$ que presenten un error cuadrático total lo más pequeño posible.

$$\hat{y} = \alpha_1 e^{\alpha_0 x} \quad (4)$$

Si se lleva a cabo la transformación logarítmica de la función (4), es posible encontrar una ecuación de la recta donde estén incluidos los estimadores α_0 y α_1 . La ecuación (5) presenta la ecuación general de la regresión después de haber llevado a cabo la transformación.

$$\hat{y}_m = \beta_1 + \beta_0 x \quad (5)$$

Donde:

$$\begin{aligned} \hat{y}_m &= \ln \hat{y} \\ \beta_1 &= \ln \alpha_1 \\ \beta_0 &= \alpha_0 \end{aligned}$$

Para encontrar el valor de β_0 y β_1 en [8, 9, 10] posterior al desarrollo del problema de minimización, el cual se aborda mediante ecuaciones parciales, se obtienen las ecuaciones (6) y (7).

$$\beta_0 = \frac{\sum x y_m - \bar{y}_m \sum x}{\sum x^2 - \bar{x} \sum x} \quad (6)$$

$$\beta_1 = \bar{y}_m - (\beta_0 \cdot \bar{x}) \quad (7)$$

La **Tabla 2** muestra los datos originales (calibre-x- y área de sección transversal real -y-) y los que resultan de la transformación logarítmica (área de sección transversal real), así como las operaciones necesarias para realizar el cálculo de los estimadores. Es necesario

mencionar que se exponen cantidades redondeadas, sin embargo, los cálculos se llevaron a cabo con hasta 10 cifras significativas.

Tabla 2. Datos para la regresión exponencial.

x	y	y _m	x ²	x y _m	y _m ²	ŷ
18	1.07	0.0677	324	1.2186	0.004583	1.0631
16	1.70	0.5306	256	8.4896	0.2815	1.6924
14	2.70	0.9933	196	13.9062	0.9866	2.694
12	4.29	1.4563	144	17.4756	2.1208	4.2884
10	6.82	1.9199	100	19.199	3.686	6.8265
8	10.8	2.3795	64	19.036	5.662	10.8667
6	17.2	2.8449	36	17.0694	8.0935	17.298
4	27.3	3.3069	16	13.2276	10.9356	27.5358
3	34.3	3.5351	9	10.6053	12.4969	34.7415
2	43.2	3.7658	4	7.5316	14.1812	43.8327
1	55.9	4.0236	1	4.0236	16.1894	55.303
1/0	70.1	4.2499	0	0	18.0617	69.7749
2/0	88.5	4.483	1	-4.483	20.0973	88.0338
3/0	112	4.7185	4	-9.437	22.2642	111.0708
4/0	141	4.9488	9	-14.846	24.4906	140.1362

Donde:

- ŷ es el área de sección transversal estimada.
- y es el área de sección transversal real.
- x es el calibre del conductor.

Resultados

El resultado de la regresión lineal del tipo exponencial, entrega la ecuación (8), la cual permite encontrar la sección transversal de un multiconductor trenzado a partir únicamente de su calibre AWG. En la columna de la Tabla 2 aparecen los resultados de aplicar ecuación (8).

$$A_{mm^2} = 69.74906118e^{-0.232446779 n} \quad (8)$$

Si se lleva a cabo el mismo procedimiento de regresión cuadrática tomando en cuenta el diámetro del conductor en lugar del área de sección transversal, se obtiene una ecuación similar pero que está afectada por la relación área - diámetro del círculo.

$$\phi_{mm} = 9.41618196e^{-0.116135037 n} \quad (9)$$

La Tabla 3 muestra una comparativa entre los valores nominales y el resultado de estimarlos mediante las ecuaciones (8) y (9). Además muestra el error porcentual, lo cual es una manera puntual de observar que tan alejados están los valores estimados de los valores nominales. Así mismo la Figura 2 muestra una comparativa gráfica de cómo se apegan los datos estimados por la ecuación (8) a los datos reales de la Tabla 1.

Certeza de la relación matemática

El coeficiente de Pearson ó r es utilizado para medir el grado de asociación entre dos variables, que para este caso son el área transversal real y la que se obtiene mediante el uso de la expresión matemática obtenida

[10]. La ecuación (10) muestra el valor del coeficiente de determinación entre los datos del método de regresión y los valores reales.

$$r^2 = 0.99997534 \quad (10)$$

Esto muestra que la regresión exponencial obtenida está correctamente elegida y a la vez que únicamente el 0.0024534% de la variabilidad de los resultados está relacionado con otros factores que no son considerados en este modelo.

En [8] se establece que la suma de errores cuadráticos es un mecanismo con el cual es posible evaluar una función de regresión. Por tal razón será utilizado para comparar los diferentes procedimientos: cálculo nominal, completo y mediante la regresión de propuesta en (8).

En [6, 8] se muestra a detalle el cálculo de la sumatoria del error cuadrático. La expresión general, que permite llevarlo a cabo, es como sigue:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 \quad (11)$$

En la expresión (11) se presenta el cálculo del SSE para los datos obtenido mediante la ecuación (7).

$$SSE_{regresión} = \sum_{i=4/0}^{18} (A_{regi} - A_{reali})^2 \quad (12)$$

$$SSE_{regresión} = 2.95401195 \quad (13)$$

La sumatoria de error cuadrático para los otros dos métodos está dada por los siguientes valores.

$$SSE_{completo} = 2.65944548 \quad (14)$$

$$SSE_{nom} = 3000.256 \quad (15)$$

Tabla 3. Comparación entre los valores nominales y los valores estimados por las ecuaciones (8) y (9).

Cal. AWG	D _{nom}	A _{nom}	D _{est}	A _{est}	%e _D	%e _A
18	1.17	1.07	1.1642	1.0631	0.4992	0.6406
16	1.47	1.70	1.4685	1.6924	0.0993	0.4492
14	1.85	2.70	1.8525	2.694	-0.1354	0.223
12	2.34	4.29	2.3369	4.2884	0.1341	0.0374
10	2.95	6.82	2.9479	6.8265	0.0726	-0.0948
8	3.71	10.8	3.7186	10.8667	-0.232	-0.6173
6	4.67	17.2	4.6909	17.298	-0.447	-0.5701
4	5.89	27.3	5.9174	27.5358	-0.4644	-0.8638
3	6.60	34.3	6.6461	34.7415	-0.6979	-1.2871
2	7.42	43.2	7.4645	43.8327	-0.5998	-1.4647
1	8.43	55.9	8.3837	55.303	0.5487	1.0679
1/0	9.45	70.1	9.4162	69.7749	0.3579	0.4638
2/0	10.6	88.5	10.5758	88.0338	0.2287	0.5267
3/0	11.9	112	11.8781	111.0708	0.1837	0.8296
4/0	13.4	141	13.3409	140.1362	0.441	0.6126

Discusión

Dentro de la caracterización de un conductor eléctrico existen un sin fin de elementos ambientales y de fabricación y/o diseño que modifican, en diferentes grados las características físicas de un cable. En este

artículo de investigación se mencionó que no se considera el material aislante; dicha consideración se hace por la sencilla razón de que agregaría una variable más a considerar dentro de la aproximación; además de que sería necesario caracterizar su engrosamiento, al aumentar el calibre del conductor. Sin dejar de lado la necesidad de proporcionar una ecuación característica para cada material aislante en específico, lo cual restaría practicidad a la propuesta.

Otro aspecto que se consideró como estándar, fue el acomodo y grosor de los alambres dentro del cable, ya que existe una gran diversidad de soluciones en conductores eléctricos, tan es así que se pueden encontrar en el mercado cables que son suaves, duros y semiduros. Este último caso es el que estudia este artículo, puesto que es el tipo de conductor más usado.

Pese a que la investigación dejó de darle peso a diferentes factores dentro de la caracterización, la función que se presenta en este artículo logró el objetivo principal de plantear una expresión funcional, sencilla de aplicar y recordar y con un alto grado de exactitud.

Conclusiones

La expresión obtenida a partir de la regresión exponencial y mostrada por la ecuación (8), presenta un coeficiente r^2 muy cercano a la unidad. Además, de que la SSE es alrededor de un millar de veces más pequeña que la que presenta el cálculo nominal y tan solo es tres décimas mayor al SSE obtenido mediante el cálculo completo.

Una ventaja más para el cálculo del área transversal mediante el método desarrollado en este artículo, es que se suprime la necesidad de consultar cualquier tipo de especificaciones, tablas o normas y evita el recopilar gran cantidad de información necesaria para el cálculo completo, como: la cantidad de hilos que conforman, el diámetro de cada uno de los hilos y el arreglo que tienen; para posteriormente realizar una serie de operaciones cuyo resultado es tan solo un poco más exacto.

Entonces es posible decir que la expresión matemática encontrada es lo suficientemente acertada y sencilla de utilizar para llevar a cabo cálculos prácticos para actividades en campo. En www.gtji.mex.tl se encuentra una aplicación web que utiliza la ecuación (8) para llevar a cabo un cálculo rápido, la aplicación web es exportable a diferentes sistemas operativos y dispositivos.

Referencias

- [1] D. G. Fink, H. W. Beaty, and J. M. Carroll. (1981), *Satandard Handbook for Electrical Engineers*, MacGraw-Hill, United States of America.
- [2] R. Astley. (2009), *Classic British Car Electrical System*,. Essential Series, Veloce Publishing, United Kindom.
- [3] H. W. International. (2012), "Awgnema / iec metric standard size chart," <http://www.hmwire.com/wirediminsions.html>.
- [4] M. E. Brumbach. (2009), *Industrial Electricity*. Cengage Learning, United States of America.
- [5] Norma Oficial Mexicana. (29 Noviembre 2012), *NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (utilización)*. Diario Oficial, México.
- [6] G. A. F. Seber and A. J. Lee. (2012), *Linear Regression Analysis*. Wiley Series in Probability and Statistics, Wiley, United States of America and Canada.
- [7] S. Weisberg. (2005), *Applied Linear Regression*, vol. 528 of Wiley Series in Probability and Statistics. Wiley-Interscience, United States of America.
- [8] D. R. Anderson, D. J. Sweeney and T. A. Williams. (2008), *Statics for Business and Economy*, Thomson/Southwestern, United States of America.
- [9] R. Á. Cáceres. (2007), *Estadística aplicada a las ciencias de la salud*. Díaz de Santos, España.
- [10] A. V. Sabadías. (1996), *Estadística Descriptiva e Inferencial*, vol. 8 de Colección Ciencia, España.

Recibido: 9 de octubre de 2012

Aceptado: 24 de septiembre de 2013